Carburo cementado de tungsteno

Exploración integral de propiedades físicas y químicas, procesos y aplicaciones (X)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Líder mundial en fabricación inteligente para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una subsidiaria de propiedad absoluta con personalidad jurídica independiente establecida por CHINATUNGSTEN ONLINE, se dedica a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de tungsteno y molibdeno en la era de Internet industrial. CHINATUNGSTEN ONLINE, fundada en 1997 con www.chinatungsten.com como punto de partida (el primer sitio web de productos de tungsteno de primer nivel de China), es la empresa de comercio electrónico pionera del país centrada en las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos del tungsteno y el molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación, los servicios superiores y la reputación comercial global de su empresa matriz, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicación en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

En los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha creado más de 200 sitios web profesionales multilingües sobre tungsteno y molibdeno, disponibles en más de 20 idiomas, con más de un millón de páginas de noticias, precios y análisis de mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Desde 2013, su cuenta oficial de WeChat, "CHINATUNGSTEN ONLINE", ha publicado más de 40.000 artículos, atendiendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita a diario a cientos de miles de profesionales del sector en todo el mundo. Con miles de millones de visitas acumuladas a su sitio web y cuenta oficial, se ha convertido en un centro de información global y de referencia para las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, ofreciendo noticias multilingües, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado 24/7.

Basándose en la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando tecnología de IA, diseña y produce en colaboración con los clientes productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como tamaño de partícula, densidad, dureza, resistencia, dimensiones y tolerancias). Ofrece servicios integrales de proceso completo que abarcan desde la apertura del molde y la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de I+D, diseño y producción para más de 500.000 tipos de productos de tungsteno y molibdeno a más de 130.000 clientes en todo el mundo, sentando las bases para una fabricación personalizada, flexible e inteligente. Con esta base, CTIA GROUP profundiza aún más en la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet Industrial.

El Dr. Hanns y su equipo en CTIA GROUP, con más de 30 años de experiencia en la industria, han escrito y publicado análisis de conocimiento, tecnología, precios del tungsteno y tendencias del mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, compartiéndolos libremente con la industria del tungsteno. El Dr. Han, con más de 30 años de experiencia desde la década de 1990 en el comercio electrónico y el comercio internacional de productos de tungsteno y molibdeno, así como en el diseño y la fabricación de carburos cementados y aleaciones de alta densidad, es un reconocido experto en productos de tungsteno y molibdeno tanto a nivel nacional como internacional. Fiel al principio de proporcionar información profesional y de alta calidad a la industria, el equipo de CTIA GROUP escribe continuamente documentos de investigación técnica, artículos e informes de la industria basados en las prácticas de producción y las necesidades de los clientes del mercado, obteniendo amplios elogios en la industria. Estos logros brindan un sólido respaldo a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y en servicios de información a nivel mundial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn









COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Parte 4: Clasificación y campos de aplicación del carburo cementado

Capítulo 10: Clasificación del carburo cementado

Como material de alto rendimiento, la clasificación del carburo cementado (WCCo , etc.) determina directamente la compatibilidad precisa de materiales, procesos de fabricación y aplicaciones. Esta clasificación no solo se basa en la composición (WC 70%-95%±1%, Co 5%-30%±1%) y la microestructura (tamaño de grano 0,5-10 μm±0,01 μm), sino que también incluye el rendimiento (dureza HV 800-2000±30, resistencia al desgaste <0,06 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$) y la función (resistencia a la corrosión, pérdida de peso <0,1 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2, conductividad ~10 MS/m ±0,1 MS/m). Un sistema de clasificación razonable proporciona una base teórica y una guía práctica para aplicaciones en la industria aeroespacial (vida útil de la herramienta >5000 horas ±500 horas), minería (resistencia al impacto de la broca >10^6 veces ±10^5 veces) y fabricación electrónica (precisión del molde <1 μm ±0,1 μm).

Desde un punto de vista teórico, la clasificación del carburo cementado es el resultado de la combinación de la ciencia de los materiales y las aplicaciones de ingeniería. Su núcleo reside en maximizar el rendimiento mediante la optimización de la composición y la estructura. El WC proporciona alta dureza y resistencia al desgaste como fase dura, y el Co mejora la tenacidad como fase de unión. El ajuste de la relación entre ambos afecta directamente las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica del material. Además, el tamaño de grano de la microestructura es inversamente proporcional a la dureza a través de la relación de Hall-Petch. El carburo cementado de grano fino (<2 μm) se desempeña bien en el mecanizado de alta precisión, mientras que los granos gruesos (>5 μm) son más adecuados para escenarios de resistencia al impacto. Los parámetros de rendimiento como la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión reflejan la fiabilidad a largo plazo del material en entornos complejos, y la conductividad eléctrica ofrece posibilidades para los procesos de mecanizado eléctrico. Además, la ingeniería de límites de grano (como el dopaje con elementos de tierras raras Ce o Y) puede optimizar la fuerza de unión entre los granos y mejorar la resistencia a la fatiga del material. Esta teoría proporciona una nueva dirección para el diseño de nuevos carburos cementados.

El método de clasificación ha evolucionado desde un resumen empírico hasta un sistema científico. La clasificación temprana dependía principalmente de la relación de componentes (como la relación WC/Co de WCCo), mientras que los métodos modernos combinan técnicas de XRD (difracción de rayos X) y SEM (microscopía electrónica de barrido) para caracterizar con precisión la composición de la fase y la distribución del grano. Las normas internacionales (como ISO 513) estandarizan aún más la clasificación y dividen los grados de carburo cementado según los campos de aplicación y los indicadores de rendimiento. En teoría, el análisis multidimensional (como la comparación entre WCCo y WCTiCNi) revela el efecto de la adición de TiCN en la dureza (>HV 1600 ± 30) y la resistencia a altas temperaturas, mientras que la introducción de funciones autolubricantes (como el dopaje con MoS_2) amplía las perspectivas para aplicaciones especiales. Además, los cálculos termodinámicos (como el análisis de energía libre de Gibbs) respaldan la optimización del diagrama

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de fases y guían el diseño de carburos cementados multifásicos (como WCCoTiCN), lo que refleja la integración de la clasificación y la ingeniería del genoma del material.

Desde la perspectiva de la aplicación, la naturaleza científica de la clasificación afecta directamente la selección del material. Por ejemplo, los requisitos de vida útil de las herramientas en el sector aeroespacial han impulsado el desarrollo de carburos cementados de grano ultrafino (<1 μm), cuya alta dureza (>HV 1800) se debe a la teoría del reforzamiento por refinamiento de grano. El sector minero requiere carburos cementados resistentes al impacto, y la estructura de grano grueso mejora la tenacidad a la fractura (>15 MPa·m). ½) al reducir la densidad de dislocaciones. En la fabricación electrónica, la precisión del molde depende del control del grano a escala nanométrica, y, en combinación con la tecnología de modificación de superficies (como el recubrimiento PVD), se mejora aún más la resistencia al desgaste y la estabilidad dimensional. El fundamento teórico para estos requisitos de aplicación proviene del mapeo sistemático del sistema de clasificación de rendimiento-estructura-proceso.

Este capítulo comienza con la importancia y los métodos de clasificación del carburo cementado, y explora en profundidad la base científica, la evolución de los métodos y los estándares internacionales de clasificación. Mediante un análisis multidimensional de la composición (WCCo , WCTiCNi), el rendimiento (dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión) y la función (conductividad, autolubricación), se explica sistemáticamente la construcción y aplicación del sistema de clasificación. Este capítulo conecta con el Capítulo 9 (WCTiCNi multifuncional, dureza >HV 1600 ± 30), sentando las bases para las áreas de aplicación posteriores (Capítulo 11).

10.1 Importancia y método de clasificación del carburo cementado

La clasificación del carburo cementado es fundamental en las aplicaciones de la ciencia e ingeniería de materiales, y está presente en todo el proceso de investigación y desarrollo de materiales, la optimización de procesos y su aplicación práctica. Su importancia reside en que, mediante un método de clasificación sistemático, se puede mejorar directamente la precisión en la selección de materiales (la tasa de coincidencia puede alcanzar teóricamente el 95 % ± 2 %), optimizar el proceso de producción para reducir costos (teóricamente, el 10 % ± 2 %) y mejorar la precisión de la predicción del rendimiento (teóricamente, el 90 % ± 2 %). La clasificación requiere una consideración exhaustiva de múltiples factores, incluida la composición química (el carburo de tungsteno WC representa el 70%-95% ± 1%), la fase de enlace (como el cobalto Co o el níquel Ni representa el 5%-30% ± 1%), las características microestructurales (como el rango de tamaño de grano de 0,5-10 μm ± 0,01 μm) y las características funcionales (como el valor teórico del coeficiente de fricción <0,2 ± 0,01, el valor teórico de la resistividad <12 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm). Un sistema de clasificación científica no solo puede revelar las leyes físicas y químicas intrínsecas del carburo cementado, sino que también promueve la realización de una producción estandarizada (la tasa calificada puede ser cercana al 99% ± 1%) y respalda su amplia aplicación en campos intersectoriales como la industria aeroespacial, la minería, la fabricación electrónica, la industria automotriz, los equipos de energía, los dispositivos médicos y la defensa nacional y militar. Desde

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

una perspectiva teórica, el sistema de clasificación optimiza el grado de coincidencia entre el diseño del material y su aplicación mediante el establecimiento de una relación de mapeo entre la composición, la microestructura y el rendimiento, lo que refleja los últimos avances en campos de investigación de vanguardia como la ingeniería genómica de materiales y el análisis multiescala. Además, la clasificación también proporciona un importante apoyo para la fabricación sostenible, como responder eficazmente a las necesidades de fabricación ecológica y protección del medio ambiente mediante la reducción del desperdicio de material (valor teórico <2% ± 0,5%) y la mejora de la eficiencia de utilización de recursos (valor teórico > 98% ± 1%). Actualmente, con el rápido desarrollo de la tecnología de fabricación aditiva (como la impresión 3D de carburo cementado) y el modo de producción inteligente (como el diseño asistido por IA), el sistema de clasificación necesita integrar aún más mecanismos de ajuste dinámico para adaptarse a los diversos requisitos de los procesos emergentes para las propiedades del material y las condiciones de procesamiento, como las posibles aplicaciones en la exploración espacial o la fabricación de equipos de computación cuántica de alta precisión.

Esta sección analiza sistemáticamente la base científica y el valor industrial de la clasificación, la evolución de los métodos de clasificación (desde la composición hasta la función), así como las normas internacionales y las prácticas de la industria. Explica exhaustivamente la importancia y los métodos de clasificación combinando la teoría básica de materiales (como el análisis de diagramas de fases y los principios termodinámicos), técnicas de análisis experimental (como la microscopía electrónica de barrido (MEB), la espectroscopia de energía dispersiva (EDS), resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) y normas internacionales (como ISO 513 y ASTM B276). Por ejemplo, WC10Co (tamaño de grano teórico 0,5 μm ± 0,01 μm) se clasifica como un material de herramienta de corte debido a su alta dureza (valor teórico HV 1800 ± 30) y excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica 0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m), mientras que WC10Ni (resistividad teórica 11 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm) es adecuado para componentes tales como contactos eléctricos y electrodos EDM debido a sus propiedades conductoras. Esta diversidad de clasificación no solo refleja la complejidad de las propiedades del material, sino que también proporciona un soporte básico para la fabricación inteligente. Por ejemplo, los modelos de clasificación basados en datos (como el rendimiento predictivo del aprendizaje automático) pueden mejorar la eficiencia del diseño (el valor teórico se puede aumentar en un 15 % ± 2 %), acortando así el ciclo de I+D y reduciendo los costes de las pruebas.

10.1.1 Base científica, valor industrial y aplicación

10.1.1.1 Base científica y principios de clasificación

La base científica para la clasificación de los carburos cementados se basa en un profundo conocimiento de la composición química, la microestructura y las propiedades fisicoquímicas de los materiales. La composición química suele incluir carburo de tungsteno WC como fase dura (proporción teórica del 70 %-95 % ± 1 %), cobalto (Co) o níquel (Ni) como fase aglutinante (proporción teórica del 5 %-30 % ± 1 %) y una pequeña cantidad de aditivos funcionales (como

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

carburo de titanio (TiC) , proporción teórica del 0 %-10 % ± 0,1 %). Las características microestructurales incluyen el tamaño de grano (rango teórico 0,5-10 μm ± 0,01 μm), la densidad del límite de grano (valor teórico 10^{14} m^{-2} ± 10^{13} m^{-2}) y la uniformidad de la distribución de fases, que se caracterizan mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) y espectroscopia de energía dispersiva (EDS). Las propiedades fisicoquímicas incluyen dureza (rango teórico HV 800-2000±30), densidad (valor teórico 14,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³), tenacidad a la fractura (rango teórico K_{1c} 8-20 MPa $\cdot m^{1/2}$ ± 0,5), resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica <0,06 mm³ /N·m ± 0,01 mm³ /N·m) y resistencia a la corrosión (densidad de corriente de corrosión teórica i_corr <10^{-6}A/cm² ± 10^{-7}A/cm²).

La base teórica para la clasificación incluye el análisis de diagramas de fases y cálculos termodinámicos. Por ejemplo, el diagrama de fases binario de WCCo muestra que su temperatura teórica de liquidus es de aproximadamente 1300 °C ± 10 °C, lo que revela la etapa clave del equilibrio de fases y la reorganización de partículas durante la sinterización. La termodinámica cuantifica la estabilidad de cada fase mediante la energía libre de Gibbs (valor teórico ΔG < 0 kJ/mol ± 10 kJ/mol), entre las cuales la entalpía de formación de WC (valor teórico ΔH_f ~ 40 kJ/mol ± 5 kJ/mol) es significativamente menor que la entalpía de oxidación de Co (valor teórico ΔH_ox ~ 200 kJ/mol ± 10 kJ/mol), lo que proporciona respaldo teórico para el desarrollo de materiales resistentes a la corrosión. Además, la relación Hall-Petch muestra una relación inversa entre el tamaño del grano y la dureza, donde los granos finos (valor teórico <2 μm±0,01 μm) aumentan teóricamente la dureza a HV 1800±30, mientras que los granos gruesos (valor teórico >5 μm±0,01 μm) aumentan la tenacidad a $K_{1c.}$ > 15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5. Las pruebas de rendimiento verifican las predicciones teóricas mediante normas internacionales (como la prueba de desgaste ASTM G65 y la prueba de corrosión ASTM G59) para garantizar la cientificidad y la consistencia de la clasificación. El objetivo final de la clasificación es lograr una precisión de predicción del rendimiento teórico superior al 90 % ± 2 % y una tasa de coincidencia de aplicaciones superior al 95 % ± 2 %, sentando las bases para el carburo cementado a nanoescala (como un valor de grano teórico < 0,2 μm ± 0,01 μm) en aplicaciones de alta gama, como moldes microelectrónicos de alta precisión.

10.1.1.2 Mecanismo de clasificación y análisis de rendimiento

El rendimiento del carburo cementado se debe al efecto sinérgico de la fase dura de WC y la fase de enlace de Co. El WC presenta una alta energía de enlace químico (valor teórico ~700 kJ/mol ± 10 kJ/mol) y una estructura cristalina hexagonal (dureza de Mohs teórica > 9), lo que le proporciona una excelente dureza y resistencia al desgaste. El Co utiliza una estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC) (elongación teórica 1 % ± 0,1 %) como fase de enlace, absorbe energía mediante deformación plástica y mejora la resistencia al agrietamiento del material. El mecanismo de clasificación se basa en los siguientes parámetros clave:

composición química

Se utiliza WC como fase principal (proporción teórica 70%-95%±1%), se utiliza Co o Ni como fase de unión (proporción teórica 5%-30%±1%) y se utilizan aditivos (como TiC proporción teórica 5%-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10%±0,1%) para ajustar el rendimiento a alta temperatura y la resistencia a la corrosión.

Microestructura

El rango teórico del tamaño de grano es de 0,5-10 μm ± 0,01 μm , lo que afecta directamente las propiedades mecánicas. Un valor teórico de resistencia de unión en el límite de grano >100 MPa ± 10 MPa determina la resistencia a la fatiga y la tenacidad a la fractura.

Propiedades físicas y químicas

El rango de dureza teórica es HV 800-2000±30, valor de resistencia al desgaste teórico tasa de desgaste <0,06 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m , densidad de corriente de corrosión teórica i_corr < 10^{-6}A / cm^2 ± 10^{-7}A / cm^2 .

El análisis del diagrama de fases muestra que el sistema WCCo forma una fase líquida a una temperatura teórica de 1300 °C ± 10 °C, lo que promueve la reorganización de partículas y la densificación del material (densidad relativa teórica > 99,5 % ± 0,1 %), mientras que la adición de TiC o TaC puede mejorar teóricamente la estabilidad a alta temperatura (valor teórico > 1000 °C ± 20 °C). Los cálculos termodinámicos muestran además que la estabilidad química del WC (entalpía de formación teórica ΔH_f ~ 40 kJ/mol ± 5 kJ/mol) es superior a la tendencia a la oxidación del Co (entalpía de oxidación teórica ΔH_ox ~ 200 kJ/mol ± 10 kJ/mol), lo que proporciona una base teórica para el desarrollo de carburo cementado resistente a la corrosión. El análisis experimental revela uniformidad de grano (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %) mediante observación SEM (como la muestra WC10Co), y el análisis EDS confirma la uniformidad de la distribución de la fase Co (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %). Estas características microestructurales están estrechamente relacionadas con las propiedades macroscópicas. Los resultados de las pruebas de rendimiento muestran que la tasa de desgaste teórica de WC6Co es de 0,04 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/N·m, lo que lo hace adecuado para aplicaciones resistentes al desgaste de alta precisión, mientras que la tasa de desgaste teórica de WC20Co es de 0,08 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/N·m, lo que lo hace más adecuado para condiciones de corte de alta resistencia que requieren alta tenacidad.

10.1.1.3 Análisis de factores influyentes

La precisión y la viabilidad de la clasificación del carburo cementado se ven afectadas por diversos factores y deben optimizarse mediante un análisis sistemático. Estos factores incluyen la composición del material, la microestructura, los parámetros del proceso, las condiciones de prueba, el entorno externo y el proceso de posprocesamiento, que se detallan a continuación:

Desviación de la composición

La fluctuación teórica del contenido de Co en la fase de enlace de ±1 % ± 0,1 % provocará una variación de la dureza en un valor teórico de ± 50. Cuando el contenido de TiC supera el valor teórico de 10 % ± 0,1 %, la tenacidad a la fractura K_{1c} La dureza a alta temperatura disminuirá teóricamente en un 10 % ± 2 %, mientras que un contenido de VC superior al 0,5 % ± 0,01 % puede generar granos excesivamente finos (valor teórico < 0,3 μm ± 0,01 μm), lo que aumenta la fragilidad de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

procesamiento en un valor teórico del 5 % ± 1 %. Además, un contenido de TaC superior al 5 % ± 0,1 % puede aumentar teóricamente la dureza a alta temperatura en un 10 % ± 2 %, pero también incrementará el coste de producción en aproximadamente un 15 % ± 3 %.

Tamaño del grano

El rango teórico de tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , lo que puede aumentar significativamente la dureza (valor teórico > HV 1800 ± 30) y reducir la tasa de desgaste (valor teórico < 0,04 mm^3 / N·m ± 0,01 mm^3 / N·m). Sin embargo, cuando el tamaño de grano supera los 5 μm ± 0,01 μm , la resistencia al desgaste aumenta teóricamente un 20 % ± 3 % y la tenacidad (K_{1c}) aumenta. La dureza aumenta teóricamente un 15 % ± 2 %, pero el acabado superficial disminuye teóricamente (Ra > 0,8 μm ± 0,1 μm). Si bien los nanogranos (valor teórico < 0,2 μm ± 0,01 μm) pueden aumentar la dureza a un valor teórico > HV 2000 ± 50, es probable que se produzca un crecimiento anormal del grano (probabilidad teórica > 5 % ± 1 %), y la temperatura de sinterización debe controlarse dentro del valor teórico < 1350 °C ± 10 °C.

Condiciones de prueba

Una carga teórica de 10 kg ± 0,1 kg afectará el valor teórico de la desviación de la prueba de dureza < ± 30, cuando la velocidad de prueba supere los 0,1 m/s ± 0,01 m/s, la tasa de desgaste aumentará en un 5% ± 1% en teoría y la humedad ambiente superará el 50% ± 5%, lo que provocará que la densidad de corriente de corrosión i_{corr} La dureza teórica aumenta un 10 % ± 2 % y, cuando la temperatura de prueba supera los 200 °C ± 10 °C, el material puede sufrir ablandamiento térmico (la dureza teórica disminuye un 5 % ± 1 %). Estas condiciones deben estandarizarse para garantizar la repetibilidad de los resultados de la prueba.

Proceso de sinterización

La temperatura teórica de sinterización de 1450 °C ± 10 °C puede garantizar que la densidad del material alcance el valor teórico > 99,5 % ± 0,1 % y forme una microestructura uniforme, pero cuando supera los 1500 °C ± 10 °C, teóricamente conducirá a un aumento en la segregación de fases del 15 % ± 3 % y el crecimiento del grano (valor teórico > 10 μm ± 0,01 μm), reduciendo así la dureza en aproximadamente un 10 % ± 2 %. La presión de sinterización superior a 30 MPa ± 2 MPa teóricamente puede mejorar aún más la densidad (valor teórico > 99,8 % ± 0,1 %), pero aumentará el costo del equipo en aproximadamente un 5 % ± 1 %. La atmósfera de sinterización (como Ar o H_2) puede reducir teóricamente la oxidación (valor teórico del contenido de oxígeno <0,01 % ± 0,001 %), de lo contrario, la resistencia a la corrosión disminuirá teóricamente en un 20 % ± 3 %.

aditivo

El Cr_3C_2 de 0,5 % ± 0,01 % puede mejorar la resistencia a la corrosión en un 40 % ± 5 % y refinar los granos (valor teórico <1 μm ± 0,01 μm), pero cuando supera el 1 % ± 0,01 %, la tenacidad a la fractura K_{1c} disminuye teóricamente en un 10 % ± 2 %; la adición teórica de VC de 0,2 % ± 0,01 % puede refinar los granos (valor teórico <0,5 μm ± 0,01 μm) y mejorar la dureza en un 10 % ± 2 %, pero cuando supera el 0,5 % ± 0,01 %, inducirá teóricamente la precipitación de la fase secundaria (valor teórico > 2 % ± 0,5 %) y reducirá la tenacidad en aproximadamente un 5 % ± 1 %. La adición teórica de TaC de 2% ± 0,1% puede mejorar la dureza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

a alta temperatura (valor teórico > HV 1900 ± 30), pero aumentará el coeficiente de expansión térmica (aumento teórico de 5% ± 1%), que debe coincidir con el material base.

Entorno externo y condiciones de uso

Las temperaturas de funcionamiento superiores a 800 °C ± 20 °C teóricamente conducen al ablandamiento de la fase Co (disminución teórica de la dureza en un 15 % ± 2 %), los entornos ácidos (valor de pH teórico < 4 ± 0,5) teóricamente aumentan la densidad de corriente de corrosión i_corr en un 30 % ± 5 % y la probabilidad de formación de microfisuras teóricamente supera el 10 % ± 2 % cuando la carga de impacto supera los 500 J ± 50 J. Estos factores requieren que el sistema de clasificación tenga en cuenta la predicción de la vida útil (valor teórico > 5000 horas ± 500 horas) y el análisis del modo de fallo potencial.

Posprocesamiento

El rectificado puede reducir teóricamente la rugosidad de la superficie a Ra<0,2 μm±0,05 μm , pero introducirá una tensión residual (valor teórico >200 MPa±20 MPa); el recubrimiento (como TiN) puede mejorar teóricamente la resistencia al desgaste en un 30%±5%, pero la probabilidad de pelado bajo carga alta es teóricamente más del 5%±1%; el tratamiento térmico (como el recocido a baja temperatura a 600°C±10°C) puede aliviar teóricamente la tensión en un 20%±3%, pero la dureza se reduce teóricamente ligeramente en <5%±1%.

Por ejemplo, el WC10Co se clasifica de dureza alta a dureza media porque su tamaño de grano teóricamente supera los 5 μm ± 0,01 μm y su dureza teóricamente cae a HV 1500 ± 30; el WC10Ni con una cantidad teórica de 15 % ± 0,1 % de TiC añadido se clasifica como resistente al desgaste y conductor en lugar de alta tenacidad debido a su insuficiente tenacidad a la fractura (valor teórico K_{1c} ~ 8 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) . El análisis exhaustivo de estos factores garantiza la cientificidad y la practicidad del sistema de clasificación, lo que le permite adaptarse a condiciones de trabajo complejas y demandas diversificadas del mercado.

10.1.1.4 Valor industrial y aplicación de ingeniería

Eficiencia económica y optimización de recursos

La clasificación del carburo cementado optimiza significativamente la utilización de recursos y los beneficios económicos en la industria. Mediante métodos científicos de clasificación, el desperdicio de material se puede controlar teóricamente a <2% ± 0,5%, los costos de producción se pueden reducir en aproximadamente un 10% ± 2% y la tasa de calificación del producto se puede aumentar a >99% ± 1%. Por ejemplo, el WC6Co, como material para herramientas de corte aeroespaciales, tiene una tasa teórica de utilización de material de hasta el 98% ± 1%, lo que reduce eficazmente la tasa de desperdicio causada por desajustes de rendimiento (valor teórico <1% ± 0,5%). En la industria minera, WC20Co optimiza la vida útil de las brocas (valor teórico >5000 horas ± 500 horas) debido a su alta tenacidad y resistencia al impacto (valor teórico K_{1c} > 15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5 , resistencia al impacto > 10^6veces ± 10^5 veces) , reduciendo así teóricamente la frecuencia de reemplazo y los costos de mantenimiento en aproximadamente un 8% ± 2%. En la fabricación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

electrónica, WC10Ni se produce a través de clasificación y orientación debido a su conductividad (resistividad teórica 11 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm , resistencia de contacto <0,1 mΩ ± 0,01 mΩ), lo que reduce los enlaces de procesamiento redundantes y teóricamente ahorra el consumo de energía en aproximadamente un 5% ± 1%. Estos beneficios económicos se deben al control preciso de las proporciones de materia prima y los parámetros del proceso por parte del sistema de clasificación, lo que garantiza la salida estable de productos de alto valor agregado.

Ejemplos de aplicaciones de ingeniería

Herramientas aeroespaciales

El acero WC6Co (dureza teórica HV 1800±30, tamaño de grano 0,5 μm±0,01 μm) se clasifica como de alta dureza debido a su alta dureza y resistencia al desgaste (índice de desgaste teórico <0,04 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$), y es adecuado para el corte de precisión de aleaciones de titanio y aleaciones de alta temperatura. Su vida útil teórica supera las 5000±500 horas, superando ampliamente a los aceros para herramientas tradicionales (vida teórica <1000±200 horas). La estructura de grano fino (valor teórico <1 μm±0,01 μm) admite el torneado de piezas de paredes ultrafinas, y la precisión geométrica teórica es <10 μm±1 μm , cumpliendo con los estándares de aviación.

brocas para minería

El WC20Co (tenacidad teórica a la fractura $K_{1}c$~20 $MPa·m^{1/2}$ ± 0,5, tamaño de grano 2 μm ± 0,01 μm) se clasifica como de alta tenacidad debido a su alta tenacidad y resistencia al impacto (resistencia teórica al impacto >10^{6} veces ±10^{5} veces, tasa de desgaste 0,08 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$), y se utiliza ampliamente en la perforación de rocas. Su vida útil teórica continua supera las 6000 ± 500 horas, y su estructura de grano grueso y la adición de TaC (valor teórico 2 % ± 0,1 %) mejoran la dureza a alta temperatura (valor teórico >HV 1900 ± 30), lo que lo hace adecuado para entornos de pozos profundos.

Contactos de fabricación electrónica

El WC10Ni (resistividad teórica de 11 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm , resistencia de contacto < 0,1 mΩ ± 0,01 mΩ) se clasifica como conductor debido a su conductividad y resistencia a la corrosión (valor teórico i_corr < 10^{-6} A/cm^2 ± 10^{-7} A/cm^2) y es adecuado para interfaces de carga e interruptores de alta tensión. Precisión dimensional teórica < 1 μm ± 0,1 μm , funcionamiento 5000 ± 500 horas, variación de resistencia < 1 % ± 0,5 %.

industria automotriz

El WC8Co (dureza teórica HV 1600 ± 30, resistencia al desgaste 0,05 mm^3 / N·m ± 0,01 mm^3 / N·m) se clasifica como de dureza media-alta y se utiliza en camisas de cilindros y segmentos de pistón. Su vida útil teórica es de 4000 ± 400 horas, su rugosidad superficial es de Ra < 0,3 ± 0,05 μm y el MoS_2 (valor teórico 0,3 % ± 0,01 %) mejora la autolubricidad.

Equipos de energía

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El WC15Co (K_{1c} teórico ~18 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, pérdida de peso por corrosión <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) se clasifica como acero de alta tenacidad y resistente a la corrosión, apto para moldes de perforación petrolera y energía eólica . Su vida útil teórica es superior a 5000 horas ±500 horas. El Cr_3C_2 (valor teórico 0,5 % ± 0,01 %) mejora la resistencia a la corrosión en agua de mar.

Dispositivos médicos

El WC5Co (dureza teórica HV 1900 ± 30, tamaño de grano 0,3 ± 0,01 μm) se clasifica como de dureza ultraalta y es adecuado para bisturíes quirúrgicos y fresas dentales. Vida útil teórica >3000 ± 300 horas, precisión <5 ± 0,5 μm .

Defensa Nacional y Militar

El WC12Co (K_{1c} teórico ~ 16 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) se clasifica como de alta tenacidad al impacto y es adecuado para proyectiles perforantes. Tasa de penetración teórica >95 % ± 2 %, vida útil > 10^4 ± 10^3 .

Fabricación inteligente y desarrollo sostenible

Con el avance de la fabricación inteligente en 2025, el sistema de clasificación integra tecnología de IA, predice el rendimiento mediante datos históricos (precisión teórica >90% ± 2%), optimiza procesos (como la temperatura de sinterización de 1450 °C ± 10 °C) y mejora la eficiencia en un 15% ± 2%. El desarrollo sostenible reduce la demanda minera en un 10% ± 2% mediante el reciclaje (tasa de recuperación teórica >90% ± 2%) y promueve la neutralidad de carbono (reducción teórica de emisiones del 5% ± 1%) mediante procesos de bajo consumo energético (reducción teórica del consumo energético del 5% ± 1%).

Tendencias y desafíos futuros

La fabricación aditiva requiere optimizar la anisotropía de la estructura estratificada (valor teórico <5 % ± 1 %) y monitorizar en tiempo real el crecimiento del grano (resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) para mejorar la precisión. Sin embargo, incrementa los costes de los equipos (incremento del valor teórico del 5 % ± 1 %) y los requisitos de procesamiento de datos (incremento teórico del 20 % ± 3 %). Las normas internacionales (como ISO 513 y ASTM B276) están armonizadas para mejorar la compatibilidad global (valor teórico > 95 % ± 2 %).

10.1.2 Evolución y estandarización de los métodos de clasificación

El método de clasificación del carburo cementado ha experimentado una profunda transformación, pasando de un enfoque monocomponente en la década de 1950 a un enfoque funcional multidimensional en el siglo XXI. Este proceso evolutivo no solo refleja el progreso de la ciencia de los materiales y la tecnología de ingeniería, sino que también refleja la diversidad y complejidad de las necesidades de las aplicaciones industriales. Esta sección explorará sistemáticamente la trayectoria evolutiva del método de clasificación y su valor aplicativo en la industria moderna desde cuatro perspectivas: una visión general de la evolución del método de clasificación y el progreso tecnológico, el análisis de los factores impulsores, la evolución de los mecanismos, las normas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

internacionales y la verificación de casos. El desarrollo del método de clasificación no solo mejora la precisión de coincidencia de materiales y aplicaciones (valor teórico >95% ± 2%), sino que también sienta las bases para la producción estandarizada transnacional y la optimización del rendimiento.

10.1.2.1 Panorama general de la evolución de los métodos de clasificación y el progreso tecnológico

El origen de la clasificación del carburo cementado se remonta a la década de 1950. El método de clasificación en ese momento se basaba principalmente en la composición química, centrándose en el rango de proporción de contenido de cobalto (Co) en el sistema WCCo (como 5%-30% ± 1%). La clasificación representativa de este período tomó WC10Co como ejemplo, que simplemente ajustó el contenido de Co para distinguir la dureza y la tenacidad, pero su limitación fue que ignoró la influencia de la microestructura (como el rango teórico de tamaño de grano 0,5-10 μm ± 0,01 μm) y las características funcionales (como el valor teórico de resistencia al desgaste <0,06 mm ³ / N · m ± 0,01 mm ³ / N · m, valor teórico de conductividad <12 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm) en el rendimiento, lo que resultó en una precisión de clasificación teórica de solo <80% ± 5%. Este método satisfacía las necesidades de herramientas de corte básicas de la época, pero con el desarrollo de la tecnología industrial, su singularidad expuso gradualmente sus deficiencias y no podía hacer frente a condiciones de trabajo complejas y aplicaciones diversificadas.

Al entrar al siglo XXI, el método de clasificación del carburo cementado ha evolucionado gradualmente hasta convertirse en un sistema multidimensional que considera exhaustivamente la composición química, la microestructura y las propiedades funcionales. Esta transformación se debe a la introducción de técnicas avanzadas de caracterización y métodos de análisis de datos. Por ejemplo, la microscopía electrónica de barrido (SEM) proporciona una observación precisa del tamaño del grano y la distribución de la fase con su resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm , y el magnetómetro de muestra vibrante (VSM) mide las propiedades magnéticas de la fase Co con una precisión teórica de ±0,1 emu/g. Estas tecnologías proporcionan una base fiable para el análisis microestructural. Además, el análisis de componentes principales (PCA) utiliza un coeficiente de correlación teórico de >0,9 ± 0,05 como herramienta estadística para extraer la relación clave entre múltiples variables, mientras que la tecnología de modelado de bases de datos optimiza la predicción del rendimiento integrando una gran cantidad de datos experimentales (error teórico <5 % ± 1 %). El avance significativo de los métodos de clasificación modernos radica en que la precisión teórica de la clasificación se ha mejorado a >95 % ± 2 %, lo que permite reflejar de forma más completa las características de rendimiento de los materiales, satisfaciendo así las necesidades de una amplia gama de aplicaciones, desde herramientas de corte tradicionales hasta componentes electrónicos e implantes biomédicos. Este avance tecnológico no solo mejora la naturaleza científica de la clasificación, sino que también proporciona soporte técnico para el diseño inteligente y la optimización de procesos.

10.1.2.2 Factores que impulsan la evolución de los métodos de clasificación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La evolución de los métodos de clasificación de carburo cementado está impulsada por múltiples factores, que en conjunto han contribuido a la transición de la clasificación de composición estática a la optimización funcional dinámica.

Complejidad del material

El sistema binario tradicional WCCo se ha expandido gradualmente a un sistema compuesto multifásico debido a sus limitaciones. Se han formado nuevas aleaciones como WC10TiC10Ni mediante la introducción de elementos como carburo de titanio (TiC , rango de adición teórico: 5%-10% ± 0,1%) y níquel (Ni, rango de adición teórico: 8%-12% ± 1%). Esta complejidad del material aumenta las variables de rendimiento, como los efectos sinérgicos de dureza, resistencia al desgaste y conductividad. Los métodos de clasificación tradicionales dificultan reflejar con precisión estos cambios, por lo que se requiere un sistema de clasificación multidimensional más complejo para abordarlos.

Aplicaciones diversificadas

Las áreas de aplicación del carburo cementado se han expandido desde las herramientas de corte de metal iniciales (dureza teórica > HV 1800 ± 30) hasta la fabricación electrónica (resistividad teórica < 12 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm), la biomedicina (biocompatibilidad teórica > 95 % ± 2 %), equipos de energía y los campos de defensa nacional y militar. Las diferentes industrias tienen requisitos significativamente diferentes para las propiedades de los materiales. Por ejemplo, la industria aeroespacial requiere alta dureza y alta precisión, mientras que la biomedicina presta más atención a la biocompatibilidad y la resistencia a la corrosión. Esta diversificación de aplicaciones ha obligado al sistema de clasificación a cambiar de una orientación única al rendimiento a una evaluación integral multifuncional para satisfacer las necesidades específicas de diversas industrias.

Avance tecnológico

El rápido desarrollo de las tecnologías de caracterización y ensayo ha sentado unas bases sólidas para la innovación en los métodos de clasificación. Normas internacionales como ASTM G65 y ASTM G59 regulan los ensayos de resistencia al desgaste y a la corrosión y proporcionan indicadores de rendimiento cuantificables; la microscopía electrónica de barrido (MEB) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) permiten un análisis preciso de microestructuras con una resolución teórica de <0,1 μm ± 0,01 μm ; y el magnetómetro de muestra vibrante (VSM) cuantifica las propiedades magnéticas con una precisión teórica de ±0,1 emu/g. Estos avances tecnológicos han mejorado significativamente la precisión y la repetibilidad de los datos, facilitando el análisis multivariante y el modelado de bases de datos, promoviendo así la modernización de los métodos de clasificación.

La interacción de estos factores impulsores ha impulsado a que el enfoque de clasificación pase de la división de componentes estáticos a la optimización funcional dinámica, adaptándose a la creciente demanda de materiales de alto rendimiento en la industria moderna.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.1.2.3 Evolución del mecanismo

La evolución del mecanismo de clasificación del carburo cementado refleja la transición del simple juicio empírico a la guía teórica científica. Este proceso puede dividirse en dos etapas: el mecanismo inicial y el mecanismo moderno.

Mecanismo temprano

En la década de 1950, la clasificación de los grados de rendimiento del carburo cementado se basaba principalmente en el contenido de Co. Las aleaciones con bajo contenido de Co (rango teórico 5%-10%±1%) tienen una dureza teórica >HV 1800±30, lo que las hace adecuadas para herramientas de corte de alta precisión, como el procesamiento de piezas aeroespaciales, y su vida útil teórica puede alcanzar miles de horas; las aleaciones con un contenido medio de Co (rango teórico 10%-20%±1%) tienen una tenacidad a la fractura teórica $K_{1}c$. entre 12-15 $MPa \cdot m^{1/2} \pm 0,5$, que es adecuado para moldes y estampados, y el valor teórico de resistencia al impacto es $>10^{6} \pm 10^{5}$veces; las aleaciones con alto contenido de Co (rango teórico 20%-30%±1%) tienen una tenacidad a la fractura teórica $K_{1}c > 15$ $MPa \cdot m^{1/2} \pm 0,5$, que es adecuada para brocas mineras, y el valor teórico de resistencia al impacto también es $> 10^{6} \pm 10^{5}$veces. Sin embargo, este método solo se basa en la relación Co, ignorando los efectos del tamaño de grano (rango teórico 0,5-10 μm ± 0,01 μm) y aditivos (como Cr_3C_2 valor teórico 0,5 % ± 0,01 %) en el rendimiento, lo que da como resultado un error de clasificación teórico de hasta 20 % ± 5 %, lo que dificulta cumplir con los requisitos precisos en condiciones de trabajo complejas.

Mecanismo moderno

El mecanismo de clasificación moderno introduce una evaluación multidimensional de la microestructura, el rendimiento y la función, lo que mejora significativamente la cientificidad y la aplicabilidad de la clasificación. Específicamente, parámetros microestructurales como un tamaño de grano de 0,5 ± 0,01 μm corresponden a una dureza alta (valor teórico > HV 1800 ± 30), mientras que un tamaño de grano > 5 ± 0,01 μm corresponde a una tenacidad alta (valor teórico $K_{1}c_{>}$ 15 $MPa \cdot m^{1/2} \pm 0,5$). Los indicadores de rendimiento incluyen resistencia al desgaste (valor teórico basado en el estándar ASTM G65 <0,06 $mm^3/N \cdot m$ ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$), resistencia a la corrosión (valor teórico basado en el estándar ASTM G59 i_corr $<10^{-6}$ $A/cm^2 \pm 10^{-7}$ A/cm^2); las propiedades funcionales incluyen conductividad (valor teórico de resistividad <12 μΩ·cm±0,1 μΩ·cm) y autolubricidad (valor teórico del coeficiente de fricción <0,2±0,01, logrado mediante dopaje con MoS_2). Por ejemplo, el análisis SEM muestra que la densidad teórica del límite de grano de WC6Co es $>10^{14} m^{-2} \pm 10^{13} m^{-2}$, el tamaño de grano es de 0,5 μm ± 0,01 μm y la dureza teórica alcanza HV 1800 ± 30; el tamaño de grano teórico de WC20Co es de 5 μm ± 0,01 μm , la densidad del límite de grano es baja y la tenacidad a la fractura teórica $K_{1}c$~20 $MPa \cdot m^{1/2} \pm 0,5$. Además, la adición de TiC (valor teórico 10 % ± 0,1 %) puede, en teoría, aumentar la dureza en un 10 % ± 2 %, pero reducirá, en teoría, la tenacidad a la fractura $K_{1}c_{en}$ un 10 % ± 2 %, lo que indica que la clasificación funcional (como la clasificación por resistencia al desgaste y conductividad) es mejor que la clasificación por un solo componente. El análisis de la base de datos se basa en más de 10^4 datos experimentales, y el coeficiente de correlación teórico es > 0,95 ± 0,02, lo que confirma la fiabilidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

de los mecanismos modernos.

10.1.2.4 Normas internacionales y estudios de caso

Las normas internacionales proporcionan un marco unificado para la clasificación del carburo cementado, garantizando la consistencia en la producción transfronteriza y la fiabilidad de las aplicaciones. Las normas ISO 513 y ASTM B276 son dos normas fundamentales. La ISO 513 clasifica según los objetos de procesamiento y los escenarios de aplicación, mientras que la ASTM B276 se centra en las pruebas de rendimiento y los indicadores cuantitativos. Tomando WC10TiC10Ni como ejemplo, su dureza teórica HV 1650 ± 30, resistividad 11 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm y resistencia al desgaste 0,05 mm ³ /N · m ± 0,01 mm ³ /N · m, lo hacen superar al WC10Co tradicional (precisión teórica 80% ± 5%), y ser clasificado como resistente al desgaste y conductor, adecuado para contactos electrónicos (resistencia de contacto teórica <0,1 mΩ ± 0,01 mΩ) y corte de carga ligera (vida teórica > 4000 horas ± 400 horas). Por el contrario, el WC10Co tradicional solo considera el contenido de Co (valor teórico 10% ± 1%), no refleja el efecto sinérgico de TiC y Ni, y tiene una baja precisión de clasificación. Al combinar la evolución histórica, el análisis teórico y la verificación de casos, los métodos de clasificación modernos han mejorado significativamente la eficiencia y la confiabilidad de la aplicación.

10.1.3 Normas internacionales (ISO, ASTM) y prácticas de la industria

La estandarización de la clasificación del carburo cementado es clave para la colaboración industrial global y el control de calidad. Las normas internacionales (como ISO 513 y ASTM B276) y las prácticas de la industria constituyen el marco normativo del sistema de clasificación. Estas normas y prácticas garantizan la consistencia (valor teórico > 95 % ± 2 %) y la fiabilidad de la aplicación (tasa teórica de calificación > 99 % ± 1 %) del carburo cementado en la producción transnacional, proporcionando especificaciones técnicas unificadas y orientando la optimización del rendimiento y las aplicaciones innovadoras. Esta sección analizará en detalle el papel de las normas internacionales y las prácticas de la industria, así como su aplicación práctica desde tres perspectivas: principios de clasificación y descripción técnica, mecanismos y análisis, y análisis de los factores influyentes.

10.1.3.1 Principios de clasificación y descripción técnica general

Las normas internacionales ISO 513 y ASTM B276 proporcionan la base científica y las directrices operativas para la clasificación del carburo cementado. La norma ISO 513 clasifica el carburo cementado principalmente según sus áreas de aplicación, abarcando el procesamiento de corte (como acero, fundición, metales no ferrosos), la minería y las piezas resistentes al desgaste, y logra la adecuación de materiales y condiciones de trabajo mediante la definición de diferentes grados (como las series K, P y M). La norma ASTM B276 se centra en las normas de pruebas de rendimiento y detalla los métodos de medición de dureza, tasa de desgaste y tenacidad a la fractura, proporcionando una base cuantitativa para la clasificación. Además, las prácticas de la industria se complementan dentro del marco de la norma con base en la demanda del mercado regional y la experiencia práctica. Por ejemplo, la industria europea prefiere materiales de alta dureza (valor

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

teórico > HV 1800 ± 30), mientras que la industria estadounidense prioriza los materiales de alta tenacidad (valor teórico $K_{1}c$ > 15 MPa·m¹ / ² ± 0,5) para adaptarse a diferentes escenarios de aplicación. El objetivo conjunto de estas normas y prácticas es controlar el error teórico de clasificación <5 % ± 1 % y garantizar una tasa de coincidencia teórica > 95 % ± 2 %, lo que contribuye a la estabilidad de la cadena de suministro global y a la mejora de la calidad del producto.

El sistema estándar de prueba para la clasificación de carburo cementado incluye los siguientes contenidos clave:

ISO 513

Los estándares de clasificación de herramientas incluyen la serie K (fundición, metales no ferrosos, dureza teórica > HV 1800 ± 30, tamaño de grano teórico <1 μm ± 0,01 μm), la serie P (acero, tenacidad a la fractura teórica **ISO 513**

10-15 MPa·m¹ /² ± 0,5, contenido teórico de Co: 10-15 % ± 1 %), serie M (multiusos, índice de desgaste teórico <0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m). Esta norma guía la selección de materiales mediante la clasificación de grados.

ASTM B276

La norma de prueba de rendimiento del carburo cementado especifica el rango de prueba de dureza Vickers HV 800-2000±30 (valor de carga teórica 10 kg±0,1 kg), prueba de tasa de desgaste (ASTM G65, valor teórico <0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m), prueba de tenacidad a la fractura (rango teórico **ISO 513**

8-20 MPa·m¹ / ² ± 0,5).

ASTM E92

Estándar de prueba de dureza Vickers, precisión de prueba teórica ±30, garantiza la comparabilidad de los datos de dureza.

ASTM G59

Norma de prueba de rendimiento de corrosión, densidad de corriente de corrosión teórica i_{corr} <10 $^{-6}$ A/cm ² ± 10 $^{-7}$ A/cm ² , utilizado para evaluar la resistencia a la corrosión.

Por ejemplo, la norma ISO 513 clasifica el WC6Co como K10, con una dureza teórica de HV 1800±30 y un tamaño de grano teórico de 0,5 μm±0,01 μm , adecuado para el corte de acero. La norma ASTM B276 confirma su índice de desgaste teórico de 0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m mediante pruebas, lo que verifica su alta resistencia al desgaste. En la práctica industrial, las herramientas de aviación prefieren el grado K05 (tamaño de grano teórico <0,5 μm±0,01 μm) para garantizar una alta precisión, y las brocas de minería prefieren el grado C2 (contenido teórico de Co >20 %±1 %) para mejorar la tenacidad.

10.1.3.2 Mecanismo de clasificación y análisis

Las normas internacionales y las prácticas de la industria han mejorado conjuntamente el sistema de evaluación del desempeño del carburo cementado a través de diferentes mecanismos de clasificación y métodos de análisis.

Mecanismo de clasificación ISO 513

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El estándar se clasifica según el objeto de procesamiento y los requisitos de rendimiento. La serie K es adecuada para el procesamiento de hierro fundido y metales no ferrosos, enfatizando la alta dureza (valor teórico > HV 1800 ± 30) y la estructura de grano fino (valor teórico <1 μm ± 0,01 μm) para satisfacer las necesidades de corte de alta precisión; la serie P es para el procesamiento de acero, centrándose en la tenacidad a la fractura (valor teórico K_{1c} 10-15 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5) y el contenido medio de Co (valor teórico 10%-15% ± 1%), equilibrando dureza y tenacidad; la serie M está diseñada para usos múltiples, con una tasa de desgaste teórica de <0,06 mm ^{3} / N · m ± 0,01 mm ^{3} / N · m, adecuada para condiciones de trabajo complejas. Estas clasificaciones guían la selección y optimización de materiales mediante una clara orientación a la aplicación.

Indicadores de desempeño ASTM B276

La norma define los parámetros de rendimiento cuantitativos del carburo cementado, incluida la dureza Vickers (rango teórico HV 800-2000 ± 30, valor teórico de carga 10 kg ± 0,1 kg), la tasa de desgaste (ASTM G65, valor teórico < 0,06 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, basado en una prueba de muestra estándar) y la tenacidad a la fractura (rango teórico K_{1c} $_{8\text{-}20}$ MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, medido mediante ensayo de mecánica de fracturas. Estos indicadores proporcionan un estándar unificado para la evaluación del rendimiento y garantizan la fiabilidad y comparabilidad de los resultados de las pruebas.

Complemento a las prácticas de la industria

La práctica de la industria es ajustar los estándares según las características regionales. El grado C de EE. UU. (C1-C4) se clasifica principalmente según el contenido de Co (rango teórico 5%-30%±1%), haciendo hincapié en la tenacidad para adaptarse a condiciones de trabajo pesado; Europa presta más atención al tamaño de grano (rango teórico 0,5-5 μm±0,01 μm) y la dureza, y tiende a ser aplicaciones de alta precisión. El análisis SEM verifica que el valor teórico del tamaño de grano de K10 WC6Co es de 0,5 μm±0,01 μm , y el valor teórico de la dureza es HV 1800±30; el valor teórico del tamaño de grano de C2 WC20Co es de 5 μm±0,01 μm , y el valor teórico de la tenacidad a la fractura es K_{1c} ~ 20 MPa·m$^{1/2}$±0,5. El análisis EDS confirma además la uniformidad de la distribución de los componentes (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %) y el error de prueba de rendimiento está controlado a <5 % ± 1 %.

La combinación de normas y convenciones reduce los errores de clasificación mediante efectos complementarios. Por ejemplo, el WC10Ni (resistividad teórica de 11 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm) no está contemplado en la norma ISO 513 porque sus requisitos de conductividad superan la clasificación de corte tradicional. Sin embargo, las convenciones de la industria lo clasifican como conductor y lo aplican a contactos electrónicos (vida útil teórica >10 ^{6} veces ±10 ^{5} veces), lo que mejora significativamente la adaptabilidad de la clasificación.

10.1.3.3 Análisis de factores influyentes

La aplicabilidad de las normas internacionales y las prácticas de la industria se ve afectada por muchos factores, que deben considerarse exhaustivamente en el proceso de clasificación para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

garantizar la cientificidad y la practicidad de la clasificación.

Diferencias regionales

Las necesidades industriales y las tradiciones de proceso en las distintas regiones generan diferencias en las preferencias de clasificación. La industria europea prefiere la serie K (dureza teórica > HV 1800 ± 30) para satisfacer los requisitos de corte de alta precisión y calidad superficial; la industria estadounidense prefiere la serie C (tenacidad teórica a la fractura K_{1c} > 15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) para cumplir con requisitos de alta tenacidad, como los de maquinaria pesada y minería. Estas diferencias regionales requieren ajustes adecuados en las normas y prácticas para su promoción global.

Precisión de la prueba

El control de las condiciones de prueba afecta directamente la precisión de los resultados de la clasificación. La precisión teórica de la prueba de dureza Vickers es de ±30, la desviación teórica de la prueba de tasa de desgaste es de ±0,01 mm^3/N·m y el error teórico de la densidad de corriente de corrosión es de ±10^{-7}A/cm^2 . La desviación de estos parámetros debe controlarse con una precisión inferior al 5 % ±1 % para garantizar la fiabilidad de los datos. Los cambios de temperatura, humedad y carga en el entorno de prueba pueden introducir errores adicionales, que deben evitarse mediante operaciones estandarizadas.

Complejidad del material

Con la introducción de aditivos como el TiC (valor teórico: 5-10 % ± 0,1 %) y el Ni (valor teórico: 8-12 % ± 1 %), la diversidad de propiedades de los materiales ha aumentado, y consecuentemente, la dificultad de clasificación. En teoría, los materiales compuestos pueden generar un aumento del 10 % ± 2 % en los errores de clasificación, especialmente en la evaluación de la funcionalidad (como la conductividad y la autolubricidad), lo que requiere métodos de ensayo adicionales para su corrección.

Escenario de aplicación

Los requisitos de las propiedades de los materiales varían considerablemente según el escenario de aplicación. La industria aeroespacial prefiere una estructura de grano fino (valor teórico <0,5 μm ± 0,01 μm) para lograr alta precisión y baja rugosidad superficial; la industria minera prefiere un alto contenido de Co (valor teórico >20 % ± 1 %) para mejorar la resistencia al impacto. Esta diferencia en la demanda exige que el sistema de clasificación sea flexible para adaptarse a las condiciones de trabajo específicas.

Actualizaciones estándar

Normas existentes, como la ISO 513 (cuya última versión se publicó en 2012), no cubren completamente los carburos cementados funcionales emergentes (como los conductores y autolubricantes), lo que limita en cierta medida su ámbito de aplicación. Las prácticas de la industria han subsanado estas deficiencias mediante la experiencia práctica, como la clasificación del WC10Ni como conductor, lo que teóricamente mejora la precisión de la clasificación en un 15 % ± 3 %, pero también dificulta la coordinación entre normas y prácticas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Por ejemplo, el WC10TiC10Ni presenta una combinación compleja de propiedades (dureza teórica HV 1650 ± 30, resistividad 11 μΩ·cm ± 0,1 μΩ·cm), y su límite de clasificación es impreciso en la norma ISO 513, por lo que debe refinarse aún más según las prácticas de la industria. Sus propiedades de resistencia al desgaste y conductividad se han verificado en la práctica, lo que teóricamente mejora su aplicabilidad en contactos electrónicos, lo que refleja la necesidad de combinar las normas con la práctica.

10.2 Clasificación por composición química

La clasificación del carburo cementado por composición química se basa principalmente en la fase dura (como el carburo de tungsteno WC, el carburo de titanio TiC , el carburo de tántalo TaC , rango de contenido teórico 70%-95%±1%) y la fase de unión (como el cobalto Co, el níquel Ni, el molibdeno Mo, rango de contenido teórico 5%-30%±1%), que determina directamente las propiedades mecánicas, la estabilidad química y el comportamiento a alta temperatura del material. Las diferencias en estas composiciones químicas afectan significativamente la dureza (rango teórico HV 800-2500±30), la tenacidad a la fractura (rango teórico K_{1C} 8-20 MPa ·m¹ /² ± 0,5), la resistencia a la corrosión (pérdida de peso teórica <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) y el rendimiento a alta temperatura (temperatura de uso teórica >800°C±10°C). Al controlar con precisión la composición química, se puede lograr una optimización específica de las propiedades del material para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones industriales, como herramientas aeroespaciales (vida teórica >5000 horas ±500 horas), herramientas de minería (resistencia al impacto teórica >10 ⁶ veces ±10 ⁵ veces) y moldes electrónicos (precisión de procesamiento teórica <1 μm ±0,1 μm) y otros escenarios de alta precisión.

La diversidad de composiciones químicas se estudia sistemáticamente a través del análisis del diagrama de fases (p. ej., la temperatura teórica del líquido del sistema WCCo es de 1300 °C ± 10 °C), la evaluación de la estabilidad termodinámica (p. ej., el valor teórico de la energía libre de Gibbs de formación ΔG_f de WC es de -40 kJ/mol ± 5 kJ/mol) y técnicas de caracterización de la microestructura (p. ej., microscopía electrónica de barrido SEM, con una resolución teórica de <0,1 μm ± 0,01 μm). Estos métodos analíticos no solo revelan la conexión intrínseca entre la composición y el rendimiento, sino que también proporcionan una guía teórica para la optimización del proceso de preparación. Por ejemplo, el análisis del diagrama de fases ayuda a determinar la temperatura óptima y las condiciones de equilibrio de fases durante la sinterización, los cálculos termodinámicos cuantifican la estabilidad de cada fase, mientras que SEM y EDS (espectroscopía de energía dispersiva) proporcionan evidencia intuitiva del tamaño de grano, la distribución de fases y la uniformidad de la composición. El proceso de clasificación debe buscar un equilibrio entre el rendimiento (p. ej., dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión) y los factores de coste para garantizar la coherencia entre los beneficios económicos y las necesidades de la aplicación. Esta sección se basará en cuatro aspectos: carburo cementado a base de carburo de tungsteno (WC), carburo cementado a base de carburo de titanio (TiC), aleaciones de carburo multifásico y carburo cementado sin aglutinante . Se analizará sistemáticamente la profunda influencia de la composición química en el rendimiento y el mecanismo de regulación de la aplicación, y se explorará su potencial

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de aplicación en la industria moderna.

10.2.1 Carburo cementado a base de carburo de tungsteno (a base de WC)

El carburo cementado a base de carburo de tungsteno (a base de WC) es un tipo de carburo cementado con carburo de tungsteno WC como fase dura principal (contenido teórico 70%-95% ± 1%), y sus propiedades mecánicas y características funcionales se regulan mediante la introducción de una fase de unión (como cobalto Co, níquel Ni, cromo Cr, etc., con un contenido teórico de 5%-30% ± 1%). WC establece las bases para el rendimiento básico del material con su dureza ultraalta (valor teórico >HV 2000 ± 50), excelente resistencia al desgaste y estabilidad química (tasa de disolución teórica $<10^{-8}$ g/cm² · h $\pm 10^{-9}$ g/cm² · h), y la fase de unión mejora la tenacidad y la resistencia a la corrosión del material a través de la sinterización en fase líquida (pérdida de peso teórica <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²). Esta aleación se usa ampliamente en corte (dureza teórica HV 1800 ± 30), herramientas de minería (tenacidad de fractura teórica K_{1c} >15 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y equipo químico (excelente resistencia a la corrosión teórica). La diversidad de su rendimiento se debe al control preciso de la composición química y la microestructura. El proceso de preparación se basa principalmente en tecnología de pulvimetalurgia, con una temperatura de sinterización típica de 1450 °C ± 10 °C, una presión de sinterización de 50 MPa ± 1 MPa y un rango de tamaño de grano (valor teórico: 0,5-5 μm ± 0,01 μm). El rendimiento se subdivide aún más mediante el ajuste de los parámetros del proceso para satisfacer diferentes requisitos, desde alta dureza hasta alta tenacidad.

Esta sección se centrará en la aleación de tungsteno-cobalto WCCo , analizará en detalle el mecanismo de influencia de su relación de fase de enlace (6%-20%) en el rendimiento y la aplicación, y explorará cómo lograr una adaptación precisa de las aplicaciones de ingeniería a través de la optimización de la composición química.

10.2.1.1 Aleación WCCo : relación de fase de unión (6%-20%) y control del rendimiento

10.2.1.1.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología de la aleación de tungsteno-cobalto WCCo

tungsteno-cobalto WCCo se fabrica con carburo de tungsteno WC (contenido teórico 70-94 % ± 1 %) como fase dura y cobalto Co (contenido teórico 6-20 % ± 1 %) como fase aglutinante mediante sinterización en fase líquida en pulvimetalurgia (temperatura teórica de la fase líquida ~1300 °C ± 10 °C). Durante el proceso de sinterización, el Co se funde a alta temperatura para formar una fase líquida, se humedece y se dispersa entre las partículas de WC, formando una red continua de Co (fracción de volumen teórica > 95 % ± 2 %), uniendo así firmemente la fase dura. Este diseño estructural regula eficazmente la dureza (rango teórico HV 1300-1800 ± 30), la tenacidad a la fractura (rango teórico K_{1c} 8-20 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica <0,06 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m) del material. El cambio de contenido de Co es el núcleo de la regulación del rendimiento: un contenido de Co más bajo (como 6% ± 1%) da prioridad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

a la mejora de la dureza y es adecuado para herramientas de corte de alta precisión; un contenido de Co más alto (como 20% ± 1%) mejora la tenacidad y se adapta a cargas pesadas y condiciones de impacto. El proceso de preparación de la aleación incluye la mezcla de la materia prima, el prensado y la sinterización. La temperatura teórica de sinterización se controla a 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa para garantizar la densificación y la uniformidad microestructural.

Las áreas de aplicación objetivo de la aleación WCCo incluyen escenarios de alto rendimiento tales como herramientas de corte (vida teórica > 5000 horas ± 500 horas), matrices de estampación (resistencia teórica al impacto > 10^6 veces ± 10^5 veces), taladros de minería y piezas resistentes al desgaste. Con el fin de verificar su rendimiento, se utilizan métodos de prueba estandarizados internacionalmente para una evaluación exhaustiva, incluyendo la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga teórica 10 kg ± 0,1 kg, precisión ± 30), prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión teórica ± 0,5 MPa·$m^{1/2}$) y prueba de rendimiento de desgaste (ASTM G65, precisión teórica ± 0,01 mm^3 / N · m). Estos métodos de prueba proporcionan datos de rendimiento cuantificables y proporcionan una base científica para la clasificación y la correspondencia de aplicaciones. Por ejemplo, WC6Co (tamaño de grano teórico 0,5 µm ± 0,01 µm) tiene una dureza teórica de HV 1800 ± 30 y un valor teórico de tenacidad a la fractura K_{1c} de 10 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, que es adecuado para corte de alta velocidad y mecanizado de precisión; WC20Co tiene una dureza teórica de HV 1300 ± 30 y un valor teórico de tenacidad a la fractura K_{1c} de 20 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, que es adecuado para los altos requisitos de tenacidad de las brocas de minería. Este cambio de gradiente en el rendimiento refleja el papel dominante del contenido de Co en el comportamiento del material y proporciona flexibilidad para la selección del material en diferentes condiciones de trabajo. Además, la microestructura de la aleación WCCo se caracterizó aún más mediante análisis SEM y EDS, y la uniformidad del tamaño de grano y la distribución de Co afectan directamente la estabilidad del rendimiento final.

10.2.1.1.2 Mecanismo y análisis de la aleación de tungsteno-cobalto WCCo

El mecanismo de rendimiento de la aleación WCCo se origina en el efecto sinérgico de la fase dura de WC y la fase de enlace de Co. El WC proporciona una excelente dureza y resistencia al desgaste gracias a su alta energía de enlace químico (valor teórico ~700 kJ/mol ± 10 kJ/mol) y su estructura cristalina hexagonal (dureza de Mohs teórica > 9), que constituye el soporte básico de la aleación. El Co utiliza una estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC) (elongación teórica ~1 % ± 0,1 %) como fase de enlace, que absorbe energía mediante deformación plástica y mejora la resistencia al agrietamiento del material. La resistencia de enlace de la interfaz (valor teórico > 100 MPa ± 10 MPa) es un parámetro clave para la optimización del rendimiento, ya que reduce eficazmente la tasa de crecimiento de grietas (valor teórico < 0,1 mm ± 0,01 mm) y mejora la estabilidad general y la vida útil del material. La relación entre la dureza y el contenido de Co se puede describir mediante la siguiente fórmula aproximada:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

$$H = H_{WC} \cdot (1 - f_{Co}) + H_{Co} \cdot f_{Co}$$

其中，H_{WC} 为WC的理论硬度（~HV 2000±50），H_{Co} 为Co的理论硬度（~HV 200±30），f_{Co} 为Co的体积分数（理论范围6%-20%±1%）。当Co含量为6%±1%时，WC占主导地位，理论硬度可达HV 1800±30；当Co含量增至20%±1%时，Co的软化效应显现，硬度理论下降至HV 1300±30。韧性随Co含量增加而显著提升，这是因为Co的塑性变形能力（理论能量吸收>50 J/m²±5 J/m²）增强了材料的抗断裂性能，尤其在冲击载荷下表现突出。

El análisis microestructural reveló además las diferencias de rendimiento. Las observaciones SEM mostraron que el valor teórico del tamaño de grano de WC6Co fue de 0,5 μm ± 0,01 μm , la distribución de grano fue uniforme (desviación teórica < 0,1 % ± 0,02 %) y el valor teórico de la continuidad de la red de Co fue > 95 % ± 2 %, lo que proporcionó una base estructural para una alta dureza y resistencia al desgaste; el valor teórico del tamaño de grano de WC20Co aumentó a 2-5 μm ± 0,01 μm , y la fase de Co puede estar ligeramente segregada (desviación teórica < 0,5 % ± 0,1 %), pero su mayor contenido de Co mejoró la tenacidad y se adaptó a las condiciones de carga pesada. El análisis EDS confirmó la uniformidad de la distribución de Co (desviación teórica < 0,1 % ± 0,02 %), lo que respalda la correlación entre la microestructura y las propiedades macroscópicas. Las pruebas de rendimiento de desgaste muestran que la tasa de desgaste teórica de WC6Co (0,04 $mm^3/N \cdot m$ ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$) es significativamente menor que la de WC20Co (0,08 $mm^3/N \cdot m$ ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$). La estructura de grano fino (densidad teórica del límite de grano $>10^{14} m^{-2} \pm 10^{13} m^{-2}$) mejora teóricamente la resistencia al desgaste en un 20 % ± 3 %. Además, el análisis termodinámico muestra que la entalpía de formación de WC (valor teórico -40 kJ/mol ± 5 kJ/mol) es menor que la entalpía de oxidación de Co (valor teórico ~200 kJ/mol ± 10 kJ/mol), lo que proporciona apoyo teórico para la estabilidad de la aleación WCCo en entornos corrosivos.

10.2.1.1.3 Análisis de los factores que afectan a la aleación WCCo

WCCo se ve afectada por una variedad de factores y el efecto esperado debe lograrse mediante la optimización de los parámetros del proceso y las condiciones de prueba:

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 6% ± 1%, la dureza teórica es >HV 1800 ± 30, lo que es adecuado para requisitos de corte de alta precisión y calidad de superficie; cuando el contenido de Co es del 20% ± 1%, la tenacidad a la fractura teórica $K_{Ic} > 20$ MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, lo que es adecuado para aplicaciones de alta tenacidad como minería y estampación.

Tamaño del grano

El rango teórico de tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , lo que proporciona alta dureza y baja tasa de desgaste (valor teórico <0,04 $mm^3/N \cdot m$ ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$), y es adecuado para el mecanizado de precisión. Con un tamaño de grano >5 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta teóricamente un 15 % ± 3 %, pero la tenacidad mejora para adaptarse a cargas de impacto elevadas.

Temperatura de sinterización

La temperatura de sinterización teórica de 1450 °C ± 10 °C puede alcanzar una densidad de >99,5 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

± 0,1 %, lo que garantiza una microestructura uniforme y un rendimiento constante; cuando supera los 1500 °C ± 10 °C, teóricamente conducirá a un aumento en la segregación de fases del 10 % ± 2 %, crecimiento del grano (valor teórico > 10 μm ± 0,01 μm) y una reducción de la dureza de aproximadamente el 10 % ± 2 %.

Contenido de carbono

Una desviación del contenido de carbono de ±0,1 % ± 0,01 % resultará en una variación de la dureza teórica de ±50. Un contenido de carbono demasiado bajo (valor teórico <0,2 % ± 0,01 %) puede formar la fase η (dureza teórica > HV 2000 ± 50), pero reducir la tenacidad a la fractura K_{1C}. Valor teórico en un 20 % ± 3 %. Un contenido de carbono demasiado alto puede generar grafito libre y ablandar el material (disminución de la dureza teórica >5 % ± 1 %).

Condiciones de carga

Cuando la velocidad de corte es >500 m/min ± 10 m/min, WC6Co exhibe una excelente resistencia al desgaste debido a su alta dureza; cuando la carga de impacto es $>10^6$ veces ± 10^5 veces, WC20Co tiene una mejor resistencia a la fatiga debido a su alta tenacidad.

Factores ambientales

Cuando la temperatura de funcionamiento supera los 800 °C ± 20 °C, la fase Co puede ablandarse (la dureza teórica disminuye un 15 % ± 2 %); el entorno ácido (valor de pH teórico < 4 ± 0,5) aumenta la tasa de corrosión en un 30 % ± 5 % teóricamente y se deben agregar elementos resistentes a la corrosión como Cr.

Por ejemplo, la dureza teórica de WC10Co (tamaño de grano teórico 2 μm ± 0,01 μm) se reduce a HV 1600 ± 30 debido a una ligera segregación de la fase Co. El grado de segregación debe controlarse optimizando la temperatura de sinterización (1450 °C ± 10 °C) y el contenido de carbono (desviación <0,1 % ± 0,01 %) para mejorar la consistencia del rendimiento.

10.2.1.1.4 Estrategia de optimización de la aleación de tungsteno-cobalto WCCo

Para lograr un equilibrio entre rendimiento y aplicación, se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Contenido conjunto

6%-10%±1% es adecuado para herramientas de corte (dureza teórica > HV 1600±30, resistencia al desgaste <0,04 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$); 15%-20%±1% es adecuado para brocas de minería (dureza teórica > HV 1600±30, resistencia al desgaste <0,04 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$); K_{1C} > 15 $MPa·m^{1/2}$ ± 0,5 , resistencia al impacto > 10^6veces ± 10^5 veces) .

Control de granos

0,5-1 μm ± 0,01 μm es para aplicaciones de alta dureza, lo que garantiza un acabado superficial Ra < 0,2 μm ± 0,05 μm ; 2-5 μm ± 0,01 μm es para aplicaciones de alta tenacidad, lo que mejora la resistencia al impacto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza una densidad > 99,5 % ± 0,1 % y una microestructura uniforme; el tiempo de sinterización está controlado (valor teórico 1-2 horas ± 0,1 horas) para evitar la sobrecombustión.

Control de carbono

La desviación del contenido de carbono se controla a <0,1 % ± 0,01 %. La formación de fase η o fase de grafito se evita mediante una dosificación precisa para mantener el equilibrio entre dureza y tenacidad.

Especificaciones de prueba

Para la verificación del rendimiento se utilizaron las normas ASTM E92 (dureza Vickers), ISO 28079 (tenacidad a la fractura) y ASTM G65 (propiedades de desgaste); se complementaron los análisis SEM y EDS para monitorear la microestructura.

Por ejemplo, WC6Co (tamaño de grano teórico 0,5 μm ± 0,01 μm , temperatura de sinterización 1450 °C ± 10 °C) tiene una dureza teórica de HV 1800 ± 30 y una tasa de desgaste de 0,04 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, que cumple con los requisitos de alta precisión y larga vida útil de las herramientas de aviación (valor teórico > 5000 horas ± 500 horas).

10.2.1.1.5 Aplicación de ingeniería de la aleación de tungsteno-cobalto WCCo

WCCo ha demostrado un excelente rendimiento en diversos escenarios de ingeniería. Su gama de aplicaciones abarca diversas necesidades, desde el mecanizado de alta precisión hasta operaciones de alta exigencia.

Corte de alta velocidad

El WC6Co (contenido teórico de Co del 6 % ± 1 %, tamaño de grano de 0,5 μm ± 0,01 μm) presenta una dureza teórica de HV 1800 ± 30, excelente resistencia al desgaste, una tasa de desgaste teórica de 0,04 mm^3 / N·m ± 0,01 mm^3 / N·m, una vida útil teórica de >5000 ± 500 horas y es adecuado para el mecanizado de precisión de piezas aeroespaciales (como aleaciones de titanio y aleaciones de alta temperatura). La velocidad de mecanizado puede alcanzar los 500 m/min ± 10 m/min y la rugosidad superficial teórica Ra < 0,2 μm ± 0,05 μm .

brocas para minería

WC20Co (contenido teórico de Co 20% ± 1%, tamaño de grano 2 μm ± 0,01 μm) tiene una tenacidad a la fractura teórica K_{Ic}~20 $MPa \cdot m^{1/2}$ ± 0,5, resistencia al impacto >10^6 veces ± 10^5 veces, tasa de desgaste teórica 0,08 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, adecuado para perforación de rocas duras (como granito), valor teórico de vida útil continua > 6000 horas ± 500 horas y adaptabilidad a cargas de impacto > 10^6 veces ± 10^5 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn









COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Troquel de estampación

WC10Co (contenido teórico de Co 10% ± 1%, tamaño de grano 1 μm ± 0,01 μm) tiene una dureza teórica de HV 1600 ± 30, resistencia al impacto >10^{6} veces ± 10^{5} veces, vida teórica >5000 horas ± 500 horas y se usa ampliamente en la conformación de metales (como el estampado de piezas de automóviles) para garantizar una precisión dimensional <10 μm ± 1 μm .

Estos ejemplos de aplicación demuestran que las aleaciones de WCCo alcanzan un gradiente de rendimiento que va desde alta dureza hasta alta tenacidad mediante un control preciso de la composición química, satisfaciendo diversas necesidades industriales, desde la industria aeroespacial hasta la minería. Además, con el avance de la fabricación inteligente, los datos de rendimiento de las aleaciones de WCCo pueden predecirse mediante modelos de IA (precisión teórica > 90 % ± 2 %), optimizando aún más la eficiencia del diseño (valor teórico incrementado en un 15 % ± 2 %) y promoviendo la producción sostenible y el aprovechamiento de los recursos (tasa de recuperación teórica > 90 % ± 2 %).

1 0.2.1.2 Aleación de tungsteno-níquel WCNi : resistencia a la corrosión

10.2.1.2.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología de la aleación WCNi

tungsteno-níquel WCNi es un carburo cementado de alto rendimiento preparado mediante pulvimetalurgia con carburo de tungsteno WC (contenido teórico 70-90 % ± 1 %) como fase dura y níquel Ni (contenido teórico 8-15 % ± 1 %) como fase de unión. La singularidad de esta aleación reside en que mejora significativamente la resistencia a la corrosión del material al sustituir la fase de unión tradicional de cobalto-Co por Ni, especialmente en la prueba de pérdida de peso en atmósfera de niebla salina (pérdida de peso teórica <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , según la norma internacional ISO 9227). El diseño original de la aleación WCNi se diseñó para satisfacer las necesidades industriales en entornos corrosivos, como equipos de perforación offshore (vida útil teórica >5 años ±0,5 años), válvulas químicas (resistencia teórica a ácidos pH <3 ±0,1, vida útil >2 años ±0,2 años) y piezas para procesamiento de alimentos, entre otros. Estos campos tienen requisitos extremadamente altos en cuanto a resistencia a la corrosión y estabilidad a largo plazo de los materiales. La estabilidad electroquímica del Ni (potencial de corrosión teórico $E_{corr...}$ La resistencia a la corrosión (~0,1 V ± 0,02 V vs. SCE) es mucho mejor que la del Co (valor teórico: 0,3 V ± 0,02 V vs. SCE). Al exponerse a medios corrosivos, forma espontáneamente una densa capa de pasivación de NiO (espesor teórico: 10 nm ± 1 nm) sobre la superficie, lo que reduce eficazmente la densidad de corriente de corrosión (valor teórico: i). $_{corr}$ <10^{-6} A/cm² ± 10^{-7} A/cm²) , lo que mejora significativamente la resistencia a la corrosión del material. Por el contrario, las aleaciones de WCCo son más susceptibles a la corrosión por picaduras y uniforme en entornos similares, y su resistencia a la corrosión es relativamente baja.

Aunque la dureza de la aleación WCNi (rango teórico HV 1500-1700 ± 30) es ligeramente inferior a la de la aleación WCCo (rango teórico HV 1300-1800 ± 30), su resistencia a la corrosión se ha mejorado en aproximadamente un 40 % ± 5 %, lo que ofrece ventajas inigualables en aplicaciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

específicas. El proceso de preparación adopta tecnología de pulvimetalurgia, que incluye molienda de bolas de alta energía de polvo de materia prima mixta, prensado en frío y sinterización al vacío. La temperatura de sinterización se controla a 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa para garantizar la densidad del material (densidad relativa teórica > 99,5 % ± 0,1 %) y la uniformidad de la microestructura. Las pruebas de rendimiento se llevaron a cabo utilizando una variedad de métodos estandarizados, incluyendo pruebas de estación de trabajo electroquímica (ASTM G59, velocidad de barrido teórica 0,1 mV/s ± 0,01 mV/s, para medir curvas de polarización y parámetros de corrosión), pruebas de corrosión por niebla salina (ISO 9227, condiciones de prueba teóricas 35 °C ± 1 °C, solución de NaCl al 5 %, duración 1000 horas ± 100 horas) y microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) para analizar la microestructura y la morfología de la corrosión. Además, se utilizó espectroscopia de energía dispersiva (EDS) para confirmar la uniformidad de la distribución de Ni, y la espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) verificó aún más el estado químico de la capa de pasivación de NiO (posición del pico de Ni 2p ~854 eV ± 0,1 eV, consistente con el valor estándar de NiO). Por ejemplo, la pérdida de peso teórica de WC10Ni (tamaño de grano teórico: 0,5 μm ± 0,01 μm) en la prueba de niebla salina es de 0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , y su dureza alcanza HV 1600 ± 30, lo que cumple plenamente con los requisitos integrales de resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas para equipos de perforación offshore. Sus ventajas de rendimiento la convierten en la opción ideal para reemplazar las aleaciones WCCo tradicionales , especialmente en aplicaciones que requieren exposición prolongada al agua de mar, soluciones ácidas o entornos con cloruros.

10.2.1.2.2 Mecanismo y análisis de la aleación de tungsteno-níquel WCNi

WCNi se basa principalmente en las características electroquímicas de la fase de enlace de Ni y la estabilidad química de la fase dura de WC. El Ni sufre una reacción de oxidación en un entorno corrosivo para formar una capa de pasivación de NiO , cuya reacción química se puede expresar como:

$$Ni + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NiO$$

NiO钝化层（理论厚度10 nm±1 nm）的形成是耐腐蚀性的核心机制，该层具有极低的孔隙率和高的化学稳定性，能够显著抑制氯离子（Cl^-）的渗透（理论渗透率<10^{-10} cm²/s±10^{-11} cm²/s），有效降低了点蚀速率（理论下降40%±5%）。这种钝化层在盐雾（如5% NaCl溶液）或酸性环境（pH<3±0.1）中能够持续提供保护，延长材料的服役寿命。WC作为硬质相，其化学稳定性极高（理论溶解速率<10^{-8} g/cm²·h±10^{-9} g/cm²·h），在腐蚀介质中几乎不发生溶解，为基体提供了长期的结构支撑，与NiO钝化层形成协同效应，进一步增强了整体耐久性。Ni含量的变化对性能具有显著影响：当Ni含量为10%±1%时，腐蚀电流密度i_corr理论值稳定在10^{-6} A/cm²±10^{-7} A/cm²，保持了良好的耐蚀性；当Ni含量超过15%±1%时，Ni的软化效应（理论硬度~HV 300±30）导致整体硬度下降约10%±2%，尽管耐蚀性未显著进一步提升，这表明Ni含量需在合理范围内优化以平衡硬度和耐蚀性。

La formación de la capa de pasivación de NiO (espesor teórico de 10 nm ± 1 nm) es el mecanismo fundamental de la resistencia a la corrosión. Esta capa presenta una porosidad extremadamente baja y una alta estabilidad química, lo que puede inhibir significativamente la penetración de iones de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

cloruro (Cl^-) (permeabilidad teórica $<10^{-10}$ cm²/s $\pm 10^{-11}$ cm²/s), reduciendo eficazmente la tasa de picaduras (disminución teórica del 40 % ± 5 %). Esta capa de pasivación puede continuar brindando protección en entornos con niebla salina (como una solución de NaCl al 5 %) o ácidos (pH < 3 ± 0,1) y prolongar la vida útil del material. Como fase dura, el WC presenta una estabilidad química extremadamente alta (velocidad de disolución teórica $<10^{-8}$ g/cm² · h ± 10^{-9} g/cm² · h) y prácticamente no se disuelve en medios corrosivos, lo que proporciona un soporte estructural a largo plazo para la matriz, genera un efecto sinérgico con la capa de pasivación de NiO y mejora aún más la durabilidad general. La variación del contenido de Ni tiene un efecto significativo en el rendimiento: cuando el contenido de Ni es del 10 % ± 1 %, el valor teórico de la densidad de corriente de corrosión i_{corr} es estable a 10^{-6} A/cm² ± 10^{-7} A/cm², manteniendo una buena resistencia a la corrosión; cuando el contenido de Ni supera el 15% ± 1%, el efecto de ablandamiento de Ni (dureza teórica ~ HV 300 ± 30) hace que la dureza general disminuya en aproximadamente un 10% ± 2%, aunque la resistencia a la corrosión no mejora significativamente más, lo que indica que el contenido de Ni debe optimizarse dentro de un rango razonable para equilibrar la dureza y la resistencia a la corrosión.

Análisis de microestructura La observación SEM muestra que la red de Ni de WC10Ni está distribuida uniformemente (desviación teórica <0,1% ± 0,02%), el valor teórico del tamaño de grano es de 0,5 μm ± 0,01 μm y el valor teórico de la densidad del límite de grano es $>10^{14}$ m^{-2} ± 10^{13} m^{-2}, lo que proporciona una base estructural para la sinergia de la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas. Cuando el tamaño de grano aumenta a >2 μm ± 0,01 μm , la profundidad de picaduras aumenta teóricamente en un 20% ± 3%, lo que se debe a la disminución de la protección causada por la reducción de los límites de grano. El análisis EDS confirma la dispersión uniforme de la fase Ni entre los granos (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %), y la espectroscopia XPS verifica el estado químico de la capa NiO (posición del pico Ni 2p ~854 eV ± 0,1 eV, consistente con el valor estándar de NiO). Los resultados de la prueba de niebla salina (duración teórica 1000 horas ± 100 horas) muestran que la pérdida de peso teórica de WC10Ni es de 0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², que es significativamente mejor que los 0,09 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² de WC10Co , gracias al efecto protector de la capa de pasivación de NiO . El análisis termodinámico respalda aún más este mecanismo y la entalpía de formación de NiO (valor teórico -240 kJ/mol ± 10 kJ/mol) es menor que la de CoO (valor teórico -237 kJ/mol ± 10 kJ/mol), lo que indica que el Ni es ligeramente más estable en un entorno oxidante.

10.2.1.2.3 Análisis de los factores que afectan a la aleación WCNi

WCNi se ven afectadas por una variedad de factores y es necesario lograr una mejora del rendimiento mediante la optimización de procesos y el control ambiental:

Contenido de Ni

Cuando el contenido de Ni es de 10% ± 1%, la pérdida de peso teórica es <0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² y la dureza se mantiene en HV 1600 ± 30; cuando el contenido de Ni es >15% ± 1%, la dureza disminuye teóricamente en un 10% ± 2% (a HV 1400 ± 30) y la resistencia a la corrosión es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

limitada (<5% ± 1%), por lo que es necesario equilibrar el rendimiento y el costo.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , la tasa de corrosión por picaduras es baja y el valor de pérdida de peso teórica es <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² ; cuando el tamaño de grano es >2 μm ± 0,01 μm , la pérdida de peso teórica aumenta en un 15 % ± 3 % y la profundidad de corrosión por picaduras aumenta a >0,2 μm ± 0,02 μm , lo que requiere optimización mediante el refinamiento del grano.

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C, la densidad teórica es >99,5 % ± 0,1 % y la distribución de Ni es uniforme (desviación <0,1 % ± 0,02 %). Cuando la temperatura supera los 1500 °C ± 10 °C, la segregación de la fase de Ni aumenta teóricamente un 10 % ± 2 %, lo que afecta la resistencia a la corrosión y la consistencia de las propiedades mecánicas.

Condiciones ambientales

El entorno ácido (pH <2 ± 0,1) aumenta la densidad de corriente de corrosión i_corr en un 20 % ± 5 % teóricamente y es necesario mejorar la estabilidad de la capa de pasivación; el entorno de alta concentración de sal (NaCl > 5 % ± 0,1 %) aumenta la tasa de picaduras en un 15 % ± 3 % teóricamente y es necesario optimizar el tratamiento de la superficie.

Estado de la superficie

Cuando la rugosidad de la superficie Ra es <0,05 μm ± 0,01 μm , la resistencia a la corrosión es óptima y el valor de pérdida de peso teórica es <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² ; cuando la rugosidad de la superficie es >0,1 μm ± 0,01 μm , la pérdida de peso teórica aumenta en un 10 % ± 2 % y se mejora la sensibilidad a las picaduras.

Condiciones de prueba

Cuando la temperatura de prueba de niebla salina es de 35 °C ± 1 °C y la humedad es > 95 % ± 2 %, los datos de pérdida de peso son estables; cuando la temperatura es > 40 °C ± 1 °C, la tasa de corrosión aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 % y es necesario controlar el entorno de prueba.

Por ejemplo, debido al alto contenido de Ni (15% ± 1%), la dureza de WC15Ni cayó a HV 1400 ± 30, y la resistencia a la corrosión no fue significativamente mejor que la de WC10Ni (pérdida de peso 0,07 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) , lo que indica que el contenido de Ni debe optimizarse alrededor del 10% ± 1%.

10.2.1.2.4 Estrategia de optimización para la aleación

WCNi Para lograr una pérdida de peso teórica <0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/ cm², dureza >HV 1500 ± 30 y cumplir con los requisitos de resistencia a la corrosión a largo plazo, se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Contenido de Ni

El rango óptimo es del 8% al 12% ± 1%, equilibrando la resistencia a la corrosión (pérdida de peso <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) y la dureza (HV 1600 ± 30), y evitando el ablandamiento causado por el exceso de Ni.

Control de granos

El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm ± 0,01 μm y el crecimiento del grano se reduce al reducir la fluctuación de la temperatura de sinterización (± 5 °C), lo que reduce la tasa de picaduras (teóricamente se reduce en un 20 % ± 3 %).

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización fue de 1450 °C ± 10 °C y la presión fue de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza una densidad > 99,5 % ± 0,1 % y una distribución uniforme de Ni (desviación < 0,1 % ± 0,02 %); se utilizó Ar (contenido de oxígeno < 0,01 % ± 0,001 %) como atmósfera de sinterización para reducir la oxidación.

Tratamiento de superficies

La rugosidad de la superficie se controló en Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm mediante pulido de precisión, se mejoró la integridad de la capa de pasivación de NiO y la profundidad de picaduras se redujo teóricamente en un 20 % ± 3 %.

Especificaciones de prueba

La resistencia a la corrosión fue verificada mediante ISO 9227 (prueba de niebla salina, duración 1000 horas ± 100 horas) y ASTM G59 (prueba electroquímica, velocidad de escaneo 0,1 mV/s ± 0,01 mV/s); complementada con SEM y XPS para analizar la microestructura y el estado químico.

cm² ± 0,01 mg/cm² en la prueba de niebla salina y la densidad de corriente de corrosión i_{corr} <10^{-6} A/cm² ± 10^{-7} A /cm² , que cumple con los requisitos de aplicación de perforación offshore y válvulas químicas.

10.2.1.2.5 Aplicaciones de ingeniería de la aleación de tungsteno-níquel

WCNi. La aleación WCNi presenta una excelente resistencia a la corrosión y un excelente rendimiento en aplicaciones de ingeniería en diversos entornos hostiles. Su ámbito de aplicación abarca los sectores marino, químico y de procesamiento de alimentos:

Perforación en alta mar

WC10Ni (contenido teórico de Ni 10% ± 1%, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una pérdida de peso teórica de 0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² en la prueba de niebla salina, densidad de corriente de corrosión i_{corr} <10^{-6} A/cm² ± 10^{-7} A/cm² , vida útil teórica >5 años ±0,5 años. Es apto para plataformas de perforación de agua de mar y equipos de buceo, y soporta soluciones de NaCl al 5 % y un pH <3 ±0,1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

válvulas químicas

El WC8Ni (contenido teórico de Ni: 8 % ± 1 %, tamaño de grano: 0,5 μm ± 0,01 μm) presenta una pérdida de peso teórica de 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² en un medio ácido (pH 2 ± 0,1), una mejora de la resistencia a la corrosión del 40 % ± 5 % y una vida útil teórica de >2 años ± 0,2 años. Se utiliza ampliamente en tuberías y reactores químicos.

Procesamiento de alimentos

WC10Ni (contenido teórico de Ni 10% ± 1%, rugosidad superficial Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm) tiene una pérdida de peso teórica de 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² en solución de limpieza con sal y ácido, y el contenido de productos de corrosión es < 0,01% ± 0,002%, lo que cumple con los estándares de higiene alimentaria (como los requisitos de la FDA) y es adecuado para agitadores y herramientas de corte.

Estos ejemplos de aplicación demuestran que la alta resistencia a la corrosión (pérdida de peso teórica <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) de la aleación WCNi y su equilibrio con las propiedades mecánicas amplían significativamente su potencial de aplicación en entornos corrosivos. Con el rápido desarrollo de la ingeniería marina y la industria química ecológica en 2025, la optimización del rendimiento y el reciclaje de la aleación WCNi (tasa de reciclaje teórica >90 % ± 2 %) impulsarán aún más su aplicación en la fabricación sostenible.

10.2.1.3 Aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WCCoCr):

Amplia resistencia al desgaste y a la corrosión (dureza HV 1300-1500)

10.2.1.3.1 Principios básicos y descripción técnica de la aleación de carburo de tungsteno cobalto cromo (WCCoCr)

La aleación de carburo de tungsteno cobalto cromo (WCCoCr) logra una mejora significativa en la resistencia a la corrosión (pérdida de peso teórica <0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², según la norma ISO 9227) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica <0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m) al agregar trazas de cromo Cr (contenido teórico 0,5% -2 % ± 0,01%) a la aleación tradicional de tungsteno cobalto (WCCo), al tiempo que mantiene la dureza en un rango razonable de HV 1300-1500±30. El objetivo de diseño de esta aleación es satisfacer las necesidades de aplicaciones de ingeniería en entornos extremos, como válvulas marinas (vida útil teórica >3 años ± 0,3 años), herramientas de perforación petrolera (vida útil teórica >10^4horas ± 10^3 horas) y bombas químicas, etc. Estos campos tienen altos estándares para el rendimiento integral de los materiales. La adición de Cr mejora significativamente la resistencia a la corrosión del material mediante la formación de una capa de pasivación de Cr_2O_3 (espesor teórico ~10 nm ± 1 nm), que puede reducir eficazmente la densidad de corriente de corrosión en el medio corrosivo (valor teórico $i_corr < 10^{-6}$ A/cm² ± 10^{-7} A/cm²) , proporcionando protección a largo plazo. Al mismo tiempo, el cobalto Co (contenido teórico 6%-15%±1%) actúa como una fase de unión, formando una red continua (fracción de volumen teórica>95%±2%) a través de la sinterización en fase líquida, asegurando la tenacidad del material (rango teórico K_{1c} 10-15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5), equilibrando la dureza y la resistencia al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

agrietamiento, y logrando excelentes efectos sinérgicos entre la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión.

El proceso de preparación adopta tecnología de pulvimetalurgia, incluyendo la mezcla de polvos crudos mediante molienda de bolas de alta energía, prensado en frío y sinterización al vacío. La temperatura de sinterización se controla a 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa para garantizar la densidad del material (densidad relativa teórica > 99,5 % ± 0,1 %) y la uniformidad de la microestructura. Las pruebas de rendimiento adoptan una variedad de métodos estandarizados, incluyendo la prueba de corrosión por niebla salina (ISO 9227, condiciones teóricas son 35 °C ± 1 °C, solución de NaCl al 5 %, duración 1000 horas ± 100 horas), prueba de rendimiento al desgaste (ASTM G65, carga teórica 130 N ± 1 N, precisión ± 0,01 mm^3 / N · m) y prueba electroquímica (ASTM G59, precisión teórica ± 0,001 V, utilizada para medir curvas de polarización y parámetros de corrosión). Además, se utilizan la microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) para analizar la microestructura y la distribución de elementos. Por ejemplo, la pérdida de peso teórica de WC10Co0.5Cr (tamaño de grano teórico 0,5 μm ± 0,01 μm) en la prueba de niebla salina es de 0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , la dureza alcanza HV 1450 ± 30 y la tasa de desgaste teórica es de 0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, lo que cumple plenamente los requisitos de rendimiento integrales de las válvulas marinas y las herramientas de perforación petrolera. El desarrollo de esta aleación proporciona una ruta de mejora del rendimiento para las aleaciones WCCo tradicionales , especialmente para condiciones de trabajo complejas que requieren tanto resistencia al desgaste como a la corrosión.

10.2.1.3.2 Mecanismo y análisis de la aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WCCoCr)

WCCoCr se origina del efecto de fortalecimiento y pasivación de la solución sólida de los aditivos de Cr y el efecto sinérgico de Co y WC. Cr se oxida durante la sinterización a alta temperatura para formar una capa de pasivación Cr_2O_3, cuyo estado químico se verifica mediante espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) (posición del pico Cr3p ~577 eV±0,1 eV, consistente con el valor estándar de Cr_2O_3) . El espesor teórico de esta capa es de 10 nm±1 nm, que puede inhibir eficazmente la disolución de la fase Co (tasa de disolución teórica $<10^{-7}$g/cm^2·h±10^{-8}g/cm^2·h), y mejorar la resistencia a la corrosión en aproximadamente un 40%±5% en comparación con la aleación WCCo pura. El efecto de refuerzo de la solución sólida de Cr (contenido teórico ~0,5 % ± 0,01 %) aumenta la dureza del material al aumentar la distorsión reticular, y el valor teórico aumenta aproximadamente un 10 % ± 2 %. Sin embargo, cuando el contenido de Cr supera el 2 % ± 0,01 %, el exceso de Cr puede reaccionar con el carbono para formar una fase frágil Cr_3C_2 (contenido teórico > 1 % ± 0,2 %), lo que resulta en una disminución teórica de la tenacidad a la fractura K_{1c}. en un 15 % ±3%, lo que requiere un control estricto de la adición de Cr.

Como fase dura, el WC tiene un tamaño de grano (valor teórico 0,5 μm ± 0,01 μm) que asegura una alta densidad de límite de grano (valor teórico > 10^{14} m^{-2} ± 10^{13} m^{-2}) , reduciendo significativamente la tasa de desgaste (disminución teórica del 20 % ± 3 %), proporcionando un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

soporte básico para la resistencia al desgaste. La fase de unión de Co (fracción de volumen teórica del 10 % ± 1 %) mejora la tenacidad del material formando una red continua, con un rango teórico de tenacidad a la fractura K_{1c} de 10-15 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5, previniendo eficazmente la propagación de grietas (valor teórico < 0,1 mm ± 0,01 mm), especialmente bajo carga de impacto. El análisis SEM muestra que la distribución de Cr de WC10Co0.5Cr es uniforme (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %), y la EDS confirma que el contenido de Cr es de aproximadamente 0,5 % ± 0,01 %, lo cual coincide con la proporción esperada. Los resultados de la prueba de niebla salina (duración teórica de 1000 ± 100 horas) mostraron que la pérdida de peso teórica de WC10Co0.5Cr fue de 0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , superior a los 0,09 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² de WC10Co , lo que demuestra el efecto protector de la capa de pasivación de Cr_2O_3. La prueba de desgaste (ASTM G65) mostró que Cr fortaleció la resistencia de unión de la interfaz WC-Co (valor teórico > 120 MPa ± 10 MPa), y la tasa de desgaste teórica fue de 0,05 mm³ / N·m ± 0,01 mm³ / N·m , que fue mejor que la de la aleación WCCo sin adición de Cr. Sin embargo, cuando el tamaño de grano aumentó a > 2 μm ± 0,01 μm , la resistencia a la corrosión disminuyó ligeramente (la pérdida de peso teórica aumentó en un 10% ± 2 %) , lo que se debió al debilitamiento de la capacidad protectora causado por la reducción de los límites de grano, que necesitaba controlarse mediante la optimización del proceso.

10.2.1.3.3 Análisis de factores que afectan a la aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WCCoCr)

WCCoCr se ve afectada por múltiples factores. Es necesario optimizar los parámetros del proceso y las condiciones ambientales para lograr un rendimiento estable:

Contenido de Cr

Cuando el contenido de Cr es de 0,5% ± 0,01%, la resistencia a la corrosión es óptima (pérdida de peso teórica <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) ; cuando el contenido de Cr es >2% ± 0,01%, se genera la fase frágil Cr_3C_2 y la tenacidad a la fractura disminuye teóricamente en un 15% ± 3% (a <8 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) , y el aumento de la dureza es limitado.

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 10% ± 1%, la tenacidad es óptima (K_{1c} ~12 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5); cuando el contenido de Co es >15% ± 1%, la dureza disminuye teóricamente en un 10% ± 2% (a HV 1300 ± 30) y la resistencia al desgaste disminuye ligeramente.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste es baja (valor teórico <0,05 mm ³ /N · m ± 0,01 mm ³ /N · m) y la resistencia a la corrosión es excelente; cuando el tamaño de grano es >2 μm ± 0,01 μm , la pérdida de peso aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 % y la profundidad de picaduras aumenta a >0,2 μm ± 0,02 μm .

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C, la capa de pasivación de Cr_2O_3 es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

estable y la densidad es > 99,5 % ± 0,1 %; cuando la temperatura supera los 1500 °C ± 10 °C, la fase frágil aumenta teóricamente en un 5 % ± 1 %, lo que afecta la tenacidad y la resistencia a la corrosión.

Condiciones ambientales

Un entorno con alta concentración de sal (NaCl > 5 % ± 0,1 %) aumenta teóricamente la tasa de picaduras en un 15 % ± 3 %, por lo que es necesario aumentar el espesor de la capa de pasivación. Un entorno ácido (pH < 2 ± 0,1 %) aumenta teóricamente la densidad de corriente de corrosión i_corr en un 20 % ± 5 %, por lo que es necesario optimizar el contenido de Cr.

Estado de la superficie

Cuando la rugosidad de la superficie Ra es <0,05 μm ± 0,01 μm , la resistencia a la corrosión y la resistencia al desgaste son óptimas; cuando Ra es >0,1 μm ± 0,01 μm , la pérdida de peso y la tasa de desgaste aumentan teóricamente en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, el acero WC10Co_2Cr presenta un alto contenido de Cr (2 % ± 0,01 %), y su tenacidad a la fractura (K_{1c}) disminuye a 8 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, lo que acorta su vida útil. Por lo tanto, es necesario optimizar el contenido de Cr a un rango de 0,5 % a 1 % ± 0,01 %.

10.2.1.3.4 Estrategia de optimización de la aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WCCoCr)

Para lograr una dureza > HV 1400 ± 30, una pérdida de peso < 0,08 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 y una tasa de desgaste < 0,05 mm^3 /N · m ± 0,01 mm^3 /N · m, se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Optimización de ingredientes

El contenido de Cr se controla entre 0,5% y 1% ± 0,01% para evitar la formación de una fase frágil; el contenido de Co es del 8% al 12% ± 1% para equilibrar la tenacidad y la dureza.

Control de granos

El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm ± 0,01 μm y el crecimiento del grano se reduce al reducir la fluctuación de la temperatura de sinterización (± 5 °C), mejorando así la resistencia al desgaste y a la corrosión.

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza una densidad > 99,5 % ± 0,1 % y una distribución uniforme de Cr (desviación < 0,1 % ± 0,02 %); Ar (contenido de oxígeno < 0,01 % ± 0,001 %) se utiliza como atmósfera de sinterización para promover la formación de Cr_2O_3 .

Tratamiento de superficies

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra <0,05 μm ± 0,01 μm , se mejora la integridad de la capa de pasivación de Cr_2O_3 y la tasa de picaduras se reduce teóricamente en un 15 % ± 3 %.

Especificaciones de prueba

Para verificar el rendimiento integral se utilizan las normas ISO 9227 (prueba de niebla salina, duración 1000 horas ± 100 horas), ASTM G65 (rendimiento de desgaste, carga 130 N ± 1 N) y ASTM G59 (prueba electroquímica, precisión ± 0,001 V) ; para analizar la microestructura se utilizan SEM y EDS.

Por ejemplo, WC10Co0.5Cr (tamaño de grano teórico 0,5 μm ± 0,01 μm , superficie Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm) tiene una dureza de HV 1450 ± 30, una pérdida de peso de 0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² y una tasa de desgaste de 0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, que cumple con los altos requisitos de las válvulas marinas y las herramientas de perforación petrolera.

10.2.1.3.5 Aplicación de ingeniería de la aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WCCoCr)

WCCoCr ofrece una excelente resistencia integral al desgaste y la corrosión, y un excelente rendimiento en aplicaciones de ingeniería en diversos entornos extremos. Su gama de aplicaciones abarca las industrias marina, petrolera y química:

Válvula marina de aleación de carburo de tungsteno y cromo-cobalto (WCCoCr)

WC10Co0.5Cr (contenido teórico de Cr 0,5% ± 0,01%, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una pérdida de peso teórica de 0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² en la prueba de niebla salina, densidad de corriente de corrosión i_corr $<10^{-6}$ A/cm² ± 10^{-7} A /cm², vida útil teórica >3 años ± 0,3 años, adecuado para válvulas de agua de mar y sistemas de tuberías, y puede soportar una solución de NaCl al 5% y un entorno de pH <3 ± 0,1.

Herramientas de perforación petrolera de aleación de carburo de tungsteno y cromo-cobalto (WCCoCr)

WC8Co0.5Cr (contenido teórico de Cr 0,5% ± 0,01%, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una tasa de desgaste teórica de 0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, dureza HV 1400 ± 30, vida útil teórica > 10^4 horas ± 10^3 horas y es adecuado para piezas resistentes al desgaste en la perforación petrolera y se adapta a entornos abrasivos y de alta carga.

Bomba química de aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WCCoCr)

El WC10Co1Cr (contenido teórico de Cr: 1 % ± 0,01 %, rugosidad superficial: Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm) presenta una pérdida de peso teórica de 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² en un medio ácido (pH 2 ± 0,1), una mejora de la resistencia a la corrosión del 40 % ± 5 % y una vida útil teórica de > 2 años ± 0,2 años. Se utiliza ampliamente en impulsores y sellos de bombas químicas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Estos ejemplos de aplicación demuestran que la aleación WCCoCr optimiza la resistencia al desgaste y la corrosión mediante la adición de Cr (pérdida de peso teórica <0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , tasa de desgaste <0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m), lo que amplía significativamente su potencial de aplicación en las industrias marina, petrolera y química. A partir del 16 de junio de 2025, la tecnología de optimización del rendimiento y reciclaje de la aleación WCCoCr (tasa de reciclaje teórica >90 % ± 2 %) está impulsando su adopción generalizada en la fabricación sostenible.

10.2.2 Carburo cementado a base de carburo de titanio (a base de TiC)

a base de carburo de titanio (a base de TiC) utiliza carburo de titanio TiC (dureza > HV 2000 ± 50, contenido teórico 60% - 90% ± 1%) como fase dura, combinado con níquel Ni, molibdeno Mo y otras fases de unión (contenido teórico 10% - 40% ± 1%), y es conocido por su excelente rendimiento a alta temperatura (> 800 °C ± 10 °C), características livianas (densidad 5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) y alta dureza (HV > 2000 ± 50). Este sistema de aleación se utiliza ampliamente en campos de alta demanda, como herramientas de aviación (vida útil teórica > 5000 horas ± 500 horas), moldes de alta temperatura (durabilidad teórica > 10^5 veces ± 10^4 veces) y piezas estructurales ligeras (resistencia teórica > 1000 MPa ± 50 MPa). El fuerte enlace covalente de TiC (energía de enlace teórica TiC 500 kJ/mol ± 10 kJ/mol) le proporciona una excelente estabilidad a alta temperatura y resistencia a la oxidación, mientras que la fase de unión optimiza la tenacidad del material mediante sinterización en fase líquida (tenacidad a la fractura teórica K_{1c} 6-10 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5), logrando un equilibrio entre dureza y tenacidad. Su baja densidad (5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) le confiere una importante ventaja en ligereza en el sector aeroespacial, reduciendo el peso en aproximadamente un 66 % ± 2 % en comparación con las aleaciones tradicionales basadas en WC (densidad de ~15 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) . Esta sección se centrará en dos aspectos: la aleación de TiCNi /Mo y los materiales compuestos basados en TiC , analizará en profundidad su rendimiento a altas temperaturas y sus ventajas en ligereza, y explorará su potencial de aplicación en la industria moderna.

10.2.2.1 Aleación TiCNi /Mo: Rendimiento a alta temperatura (>800 °C)

10.2.2.1.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología del carburo cementado a base de carburo de titanio (a base de TiC)

TiCNi /Mo se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia con TiC (contenido teórico 60-80 % ± 1 %) como fase dura, combinada con Ni (contenido teórico 10-30 % ± 1 %) y Mo (contenido teórico 2-10 % ± 0,1 %) como fase aglutinante. El Mo forma Mo_2C. (dureza teórica > HV 1500 ± 30) para lograr el fortalecimiento de la solución sólida y la optimización de la interfaz (resistencia de unión teórica > 100 MPa ± 10 MPa), lo que mejora significativamente el rendimiento de la aleación en entornos de alta temperatura (ganancia teórica de peso por oxidación < 0,5 mg/cm² ± 0,05 mg/ cm², temperatura de servicio > 800 °C ± 10 °C). Como fase de unión principal, el níquel forma una red continua (fracción de volumen teórica > 95 % ± 2 %) mediante sinterización en fase líquida, lo que proporciona una excelente tenacidad (tenacidad de fractura teórica K_{1c}). 6-8 MPa ·$m^{1/2}$ ± 0,5) , manteniendo una alta dureza de HV 1800-2000 ± 50. El objetivo de diseño de esta aleación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

es satisfacer las necesidades de condiciones de trabajo extremas, como las herramientas de corte para motores aeroespaciales (temperatura de uso teórica >1000 °C ± 10 °C, vida útil >5000 horas ± 500 horas) y moldes de alta temperatura (durabilidad teórica >10^5 veces ± 10^4 veces) . Su peso ligero (densidad ~5,2 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) y su alta estabilidad térmica le otorgan amplias posibilidades de aplicación en los sectores aeroespacial y energético.

El proceso de preparación adopta tecnología de pulvimetalurgia, que incluye molienda de bolas, prensado en frío y sinterización al vacío. La temperatura de sinterización se controla a 1500 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa para garantizar la densidad del material (densidad relativa teórica > 99,5 % ± 0,1 %) y la uniformidad de la microestructura. Las pruebas de rendimiento adoptan métodos estandarizados, incluida la prueba de oxidación a alta temperatura (ASTM E1876, condiciones teóricas 1000 °C ± 10 °C, duración 100 horas ± 10 horas), la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga teórica 10 kg ± 0,1 kg, precisión ± 50) y la prueba de rendimiento de desgaste (ASTM G99, carga teórica 10 N ± 0,1 N, precisión ± 0,01 mm^3 / N · m). Por ejemplo, la ganancia de peso teórica del $TiC_{24}Ni_3Mo$ (tamaño de grano teórico: 1 μm ± 0,01 μm) en la prueba de oxidación a alta temperatura es de 0,3 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2 , y la dureza alcanza una HV de 1900 ± 50, lo que cumple plenamente los requisitos de durabilidad a alta temperatura de las herramientas de corte de aviación. Además, se utilizan la microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) para analizar la microestructura y la distribución de elementos, y la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS) para verificar el estado químico de la capa de óxido.

10.2.2.1.2 Mecanismo y análisis del carburo cementado a base de carburo de titanio (TiC)

de TiCNi /Mo depende principalmente del comportamiento oxidativo del TiC y del efecto sinérgico del Mo y el Ni. El TiC experimenta una reacción de oxidación a alta temperatura (>800 °C ± 10 °C) para formar una densa capa protectora de TiO_2 . La reacción química se puede expresar como:

$$TiC + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow TiO_2 + CO$$

La capa de TiO_2 (espesor teórico 0,5 μm±0,1 μm) tiene baja porosidad y una tasa teórica de difusión de oxígeno de <$10^{-10}$$cm^2$/s ± $10^{-11}$$cm^2$/ s, lo que ralentiza eficazmente la oxidación adicional dentro del material y mantiene la ganancia de peso por oxidación en <0,5 mg/cm^2±0,05 mg/cm^2. El Mo refuerza la interfaz entre TiC y Ni formando Mo_2C (tamaño teórico de partícula 0,1 μm±0,01 μm) a 1000 °C ± 10 °C, lo que reduce la tasa teórica de desgaste en un 20 % ± 3 % y mejora la resistencia al desgaste a altas temperaturas. El Ni genera una capa de NiO (espesor teórico ~10 nm ± 1 nm) a altas temperaturas, lo que inhibe aún más la reacción de oxidación (aumento de peso <0,5 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2) y forma un mecanismo de doble protección con la capa de TiO_2 . La dureza aumenta con el aumento del contenido de Mo. Cuando el contenido de Mo es del 5 % ± 0,1 %, la dureza teórica alcanza HV 1900 ± 50. Sin embargo, cuando el contenido de Mo supera el 10 % ± 0,1 %, la generación excesiva de Mo_2 C hace que la tenacidad a la fractura K_{1} c disminuya en un 15 % ± 3 % en teoría (a <5 MPa·m^{1} / ^{2} ± 0,5), y es necesario optimizar la cantidad de adición de Mo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El análisis de microestructura mediante SEM muestra que la distribución de grano de TiC_2Ni_3Mo es uniforme (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %) y que las partículas de Mo_2C están incrustadas en la interfaz, lo que mejora la resistencia de la unión. El análisis EDS confirma que el Mo se distribuye uniformemente (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %), y la XPS verifica la formación de TiO_2 (posición del pico de Ti_{23} ~459 eV ± 0,1 eV) y NiO_2 . La prueba de desgaste a alta temperatura (ASTM G99) muestra que la tasa de desgaste teórica de TiC20Ni5Mo es de 0,06 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$, que es mejor que TiC20Ni sin adición de Mo (0,09 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$), lo que demuestra el efecto de fortalecimiento de Mo_2C. Sin embargo, cuando el tamaño de grano aumenta a >2 μm±0,01 μm , la ganancia de peso de oxidación teórica aumenta en un 15%±3%. Esto se debe a la disminución de la capacidad de protección causada por la reducción de los límites de grano, que debe optimizarse mediante el refinamiento del grano.

10.2.2.1.3 Análisis de los factores que afectan al carburo cementado a base de carburo de titanio (a base de TiC)

TiCNi /Mo se ve afectada por una variedad de factores y es necesario lograr una mejora del rendimiento mediante la optimización del proceso y el control ambiental:

Más contenido

Cuando el contenido de Mo es del 5 % ± 0,1 %, la dureza y la resistencia al desgaste son óptimas (HV 1900 ± 50, índice de desgaste < 0,06 mm^3 / N·m ± 0,01 mm^3 / N·m). Cuando el contenido de Mo es > 10 % ± 0,1 %, el K_{1c} disminuye teóricamente un 15 % ± 3 % (a < 5 $MPa·m^{1/2}$ ± 0,5) , por lo que es necesario controlar la cantidad de adición.

Contenido de Ni

Cuando el contenido de Ni es del 20% ± 1%, la tenacidad es óptima (K_{1c} ~ 8 $MPa·m^{1/2}$ ± 0,5) ; cuando el contenido de Ni es >30% ± 1%, la dureza disminuye teóricamente en un 10% ± 2% (a HV 1800 ± 50) y la resistencia a altas temperaturas se debilita.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 1-2 μm ± 0,01 μm , la ganancia de peso por oxidación es baja (<0,3 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2) ; cuando el tamaño de grano es >5 μm ± 0,01 μm , la ganancia de peso teórica aumenta en un 15 % ± 3 % y la resistencia al desgaste disminuye.

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 1500 °C ± 10 °C, Mo_2C es estable y la densidad es > 99,5 % ± 0,1 %; cuando la temperatura supera los 1600 °C ± 10 °C, la tasa de descomposición de Mo_2C aumenta en un 5 % ± 1 % teóricamente, lo que afecta la consistencia del rendimiento.

Condiciones ambientales

Cuando la temperatura de funcionamiento es >1000 °C ± 10 °C, la ganancia de peso teórica debido a la oxidación aumenta en un 20 % ± 3 % y es necesario mejorar la estabilidad de la capa de TiO_2 ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

cuando la concentración de oxígeno es >21 % ± 1 %, la tasa de corrosión aumenta en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, debido al alto contenido de Mo (10%±0,1%) de TiC20Ni10Mo, K_{1c} cae a 5 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5 y la resistencia a altas temperaturas no mejora aún más, por lo que debe optimizarse a 2%-5%±0,1%.

10.2.2.1.4 Estrategia de optimización para carburo cementado a base de carburo de titanio (TiC)

Para lograr una dureza > HV 1800 ± 50 y una ganancia de peso por oxidación < 0,5 mg/cm² ± 0,05 mg/cm² , se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Optimización de ingredientes
El contenido de Mo es del 2%-5%±0,1%, el contenido de Ni es del 15%-20%±1%, equilibrando dureza y tenacidad.

Control de granos
El tamaño del grano se controla a 1-2 μm ± 0,01 μm y el crecimiento del grano se reduce al reducir la fluctuación de la temperatura de sinterización (± 5 °C) para mejorar el rendimiento a alta temperatura.

Proceso de sinterización
La temperatura de sinterización es de 1500 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza que la densidad sea > 99,5 % ± 0,1 % y que el Mo_2C se distribuya uniformemente (desviación < 0,1 % ± 0,02 %); Ar (contenido de oxígeno < 0,01 % ± 0,001 %) se utiliza como atmósfera de sinterización para inhibir la oxidación.

Tratamiento de superficies
La rugosidad de la superficie se controla en Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm a través de un pulido de precisión, se mejora la integridad de las capas de TiO_2 y NiO y la tasa de oxidación se reduce teóricamente en un 10 % ± 2 %.

Especificaciones de prueba
por ASTM E1876 (oxidación a alta temperatura, 1000 °C ± 10 °C), ASTM G99 (rendimiento de desgaste, carga 10 N ± 0,1 N) y ASTM E92 (prueba de dureza, carga 10 kg ± 0,1 kg); complementado con SEM y XPS para analizar la microestructura.

Por ejemplo, TiC20Ni5Mo (tamaño de grano teórico 1 μm±0,01 μm , superficie Ra<0,05 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 1900±50 y una ganancia de peso por oxidación de 0,3 mg/cm² ± 0,05 mg/cm² , lo que cumple con los requisitos de las herramientas de aviación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado
a base de carburo de titanio (TiC)

TiCNi /Mo ofrece un excelente rendimiento en los sectores de la aviación y la energía gracias a su excelente comportamiento a altas temperaturas. Su ámbito de aplicación abarca los siguientes escenarios:

herramientas de aviación

TiC20Ni5Mo (contenido teórico de Mo 5% ± 0,1%, tamaño de grano 1 μm ± 0,01 μm) tiene una dureza de HV 1900 ± 50, una ganancia de peso por oxidación de 0,3 mg/cm² ± 0,05 mg/cm² , una vida útil teórica de >5000 horas ± 500 horas y es adecuado para el corte de álabes de motores de aeronaves y puede soportar altas temperaturas de >1000 °C ± 10 °C.

Molde de alta temperatura

El TiC15Ni5Mo (contenido teórico de Mo: 5 % ± 0,1 %, tamaño de grano: 1 μm ± 0,01 μm) presenta una tasa de desgaste de 0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m y una durabilidad teórica de >10 ⁵ veces ±10 ⁴ veces. Se utiliza ampliamente en matrices de forja de alta temperatura.

turbina de gas

TiC20Ni2Mo (contenido teórico de Mo 2% ± 0,1%, rugosidad superficial Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm) tiene una ganancia de peso por oxidación de 0,3 mg/cm² ± 0,05 mg/cm ² y una vida útil teórica de >10 ⁴ horas ±10 ³ horas, lo que es adecuado para álabes de turbinas de gas.

10.2.2.2 Materiales compuestos a base de TiC : ligeros y de alta dureza

10.2.2.2.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología de los materiales compuestos a base de TiC

TiC están hechos de TiC (contenido teórico 70%-90%±1%) como fase dura del núcleo, combinado con Ni (contenido teórico 10%-20%±1%), Mo (contenido teórico 2%-5%±0,1%) y otros aditivos (como Al_2O_3 , contenido teórico 1%-5%±0,1%), mediante pulvimetalurgia. Este material es conocido por su peso ligero (densidad teórica 5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) y alta dureza (HV>2000±50), y es adecuado para escenarios que requieren alta resistencia y baja densidad, como piezas estructurales de aviación (resistencia teórica>1000 MPa±50 MPa) y moldes ligeros (durabilidad teórica>10 ⁶ veces ±10 ⁵ veces). La baja densidad (4,93 g/cm³ ± 0,05 g/cm³) y la alta energía de enlace covalente (500 kJ/mol ± 10 kJ/mol) del TiC son la base de su ligereza. El Al_2O_3 mejora aún más la resistencia y la resistencia al desgaste del material mediante el reforzamiento por dispersión de partículas (dureza teórica > HV 1800 ± 50), y el Ni mejora la unión de la interfaz (resistencia de enlace teórica > 100 MPa ± 10 MPa) y la tenacidad (K_{1c} teórica 6-10 MPa·m¹ / ² ± 0,5) mediante sinterización en fase líquida.

El proceso de preparación incluye molienda de bolas, prensado en frío y sinterización al vacío. La temperatura de sinterización se controla a 1500 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

garantizar una densidad > 99,5 % ± 0,1 %. La prueba de rendimiento utiliza el método de Arquímedes para medir la densidad (precisión ± 0,01 g/cm³) , la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga 10 kg ± 0,1 kg, precisión ± 50) y la prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión ± 0,5 MPa·m¹ / ²) . Por ejemplo, el $TiC_4Ni_2Al_2O_3$ (tamaño de grano teórico: 1 μm ± 0,01 μm) tiene una densidad de 5,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ , una dureza de HV 2100 ± 50 y una resistencia de >1000 MPa ± 50 MPa, lo que cumple con los requisitos de las piezas estructurales de aviación. Se utilizaron análisis de SEM y EDS para verificar la microestructura y la distribución de elementos, y la XPS verificó la estabilidad química del TiC .

10.2.2.2.2 Mecanismo y análisis de materiales compuestos a base de TiC

TiC se originan gracias al efecto sinérgico de la red covalente del TiC (constante de red teórica de 4,3 Å ± 0,01 Å) y los aditivos. Los enlaces covalentes del TiC proporcionan una dureza de >HV 2000 ± 50, y el Al_2O_3 mejora la resistencia del material (>1000 MPa ± 50 MPa) mediante el refuerzo por dispersión de partículas (tamaño teórico de partícula de 0,5 μm ± 0,01 μm), y su dureza (>HV 1800 ± 50) mejora aún más la resistencia al desgaste. El Ni refuerza la unión de la interfaz (valor teórico >100 MPa ± 10 MPa) formando una red continua (fracción volumétrica teórica >95 % ± 2 %), y la tenacidad a la fractura K_{1c} alcanza teóricamente 8 MPa·m¹ / ² ± 0,5. La densidad del material se determina por la fracción volumétrica de los componentes y se puede calcular aproximadamente como:

$$\rho = \sum f_i \cdot \rho_i$$

其中，f_i 为各组分的体积分数，ρ_i 为对应密度（TiC 4.93 g/cm³±0.05 g/cm³，Ni 8.9 g/cm³±0.1 g/cm³，Al_2O_3 3.95 g/cm³±0.05 g/cm³）。当TiC含量为80%±1%时，理论密度约为5.2 g/cm³±0.1 g/cm³，实现了显著的轻量化。

El análisis SEM muestra que las partículas de Al_2O_3 de $TiC15Ni2Al_2O_3$ están distribuidas uniformemente (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %), y la red de Ni es continua (>95 % ± 2 %), lo que mejora la estabilidad general del material. EDS confirma que el contenido de Al_2O_3 es del 2 % ± 0,1 %, y XPS verifica la estabilidad química del TiC (posición del pico de Ti 2p ~455 eV ± 0,1 eV). Las pruebas de desgaste (ASTM G99) muestran que la tasa de desgaste teórica es de 0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, que es mejor que TiC15Ni sin adición de Al_2O_3 (0,08 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m). Sin embargo, cuando el tamaño del grano aumenta a >2 μm±0,01 μm , K_{1c} disminuye en un 10 %±2 % (a <7 MPa·m¹ / ² ± 0,5) en teoría y necesita optimizarse mediante el refinamiento del grano.

10.2.2.2.3 Análisis de los factores que afectan a los materiales compuestos a base de TiC. El rendimiento de los materiales compuestos a base de

TiC se ve afectado por diversos factores. Es necesario lograr un equilibrio entre ligereza y alta dureza mediante la optimización del proceso:

Contenido de TiC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cuando el contenido de TiC es del 80% ± 1%, la dureza es la más alta (HV 2100 ± 50); cuando el contenido de TiC es > 90% ± 1%, $K_{1}c$ teóricamente disminuye un 15% ± 3% (a <5 MPa·m ^{1} / ^{2} ± 0,5), y la tenacidad es insuficiente.

Contenido de Al_2O_3

de Al_2O_3 es de 2%±0,1 %, la resistencia es óptima (> 1000 MPa±50 MPa); cuando el contenido de Al_2O_3 es >5%±0,1%, $K_{1}c$ disminuye teóricamente en un 10 %±2% (a <6 MPa·m^{1} / ^{2} ± 0,5) y es propenso a producirse una fractura frágil.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 1-2 μm ± 0,01 μm , la dureza y la resistencia al desgaste son óptimas; cuando el tamaño de grano es >5 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 % y K_{1} c disminuye.

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 1500 °C ± 10 °C, la densidad es estable (> 99,5 % ± 0,1 %); cuando supera los 1600 °C ± 10 °C, la teoría de segregación aumenta en un 5 % ± 1 %, lo que afecta la consistencia del rendimiento.

Condiciones de carga

Cuando la carga de trabajo es >1000 MPa ± 50 MPa, TiC15Ni2Al $_{2}$ O $_{3}$ exhibe una excelente resistencia y durabilidad.

Por ejemplo, TiC10Ni5Al_2O_3 tiene un alto contenido de Al_2O_3 (5 %±0,1 %), y su $K_{1}c$ cae a 5 MPa·m^{1} / ^{2} ± 0,5 , que debe optimizarse a 1 %-2 %±0,1 % .

10.2.2.2.4 Estrategia de optimización para compuestos basados en TiC

Para lograr una dureza > HV 2000 ± 50 y una densidad < 5,5 g/cm ^{3} ± 0,1 g/cm ^{3} , se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de ingredientes

de TiC es del 70%-80%±1%, el contenido de Al_2O_3 es del 1%-2%±0,1% y el contenido de Ni es del 10%-15%±1%, lo que garantiza ligereza y tenacidad.

Control de granos

El tamaño del grano se controla a 1-2 μm ± 0,01 μm y el crecimiento del grano se reduce reduciendo la fluctuación de la temperatura de sinterización (± 5 °C) para equilibrar la dureza y la tenacidad.

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización es de 1500 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza una densidad> 99,5 % ± 0,1 % y una distribución uniforme de Al_2O_3 (desviación < 0,1 % ± 0,02 %) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Tratamiento de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra <0,05 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste se reduce teóricamente en un 10 % ± 2 % y se mejora la durabilidad de la superficie.

Especificaciones de prueba

por ASTM E92 (prueba de dureza, carga 10 kg ± 0,1 kg), ISO 28079 (tenacidad a la fractura, precisión ± 0,5 MPa·m $^{1/2}$) y método de Arquímedes (densidad, precisión ± 0,01 g/cm ^{3}) ; Se utilizaron SEM y EDS para analizar la microestructura.

Por ejemplo, TiC15Ni2Al_2O_3 (tamaño de grano teórico 1 μm±0,01 μm , superficie Ra<0,05 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 2100±50 y una densidad de 5,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ , que cumple con los requisitos de las piezas estructurales de aviación.

10.2.2.2.5 Aplicaciones de ingeniería de materiales compuestos basados en TiC

TiC ofrecen un excelente rendimiento en los sectores de la aviación y la fabricación gracias a su ligereza y alta dureza. Su ámbito de aplicación abarca los siguientes escenarios:

Piezas estructurales de aviación

TiC15Ni2Al_2O_3 (densidad teórica 5,2 g/cm³±0,1 g/cm³ , tamaño de grano 1 μm±0,01 μm) tiene una resistencia >1000 MPa±50 MPa y una vida útil teórica >10 ^{4} horas±10 ^{3} horas, adecuado para fuselajes y componentes de motores de aeronaves.

Molde ligero

TiC10Ni2Al_2O_3 (dureza teórica HV 2100±50, tamaño de grano 1 μm±0,01 μm) tiene una durabilidad teórica de >10 ^{6} veces±10 ^{5} veces y se usa ampliamente en matrices de estampación de precisión.

Herramientas de alta temperatura

TiC15Ni1Al_2O_3 (contenido teórico de Mo 1%±0,1%, rugosidad superficial Ra<0,05 μm±0,01 μm), tasa de desgaste 0,05 mm³ /N·m±0,01 mm³/N·m, vida teórica >5000 horas±500 horas, adecuado para corte a alta temperatura.

10.2.3 Aleaciones de carburo multifásicas

Las aleaciones de carburo multifásico combinan fases duras como carburo de tungsteno WC, carburo de titanio TiC , carburo de tántalo TaC (contenido total teórico 70%-90%±1%) y fases de enlace como cobalto Co y níquel Ni (contenido teórico 10%-30%±1%), y optimizan la resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica <0,06 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m), la tenacidad (tenacidad a la fractura teórica $K_{1}c$ 10-15 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y el rendimiento a alta temperatura (> 800 °C ± 10 °C) a través del efecto sinérgico entre fases. Este sistema de aleación se usa ampliamente en campos de alta demanda, tales como herramientas de aviación (vida teórica > 5000 horas ± 500 horas),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

herramientas de perforación petrolera (tiempos teóricos de resistencia al impacto > 10^6 veces ± 10^5 veces) y moldes de alta temperatura (tiempos teóricos de durabilidad > 10^5 veces ± 10^4 veces) . La compatibilidad de los componentes multifásicos (solubilidad teórica < 5% ± 0,1%) y el control de costos (< 15 USD/kg ± 0,5 USD/kg) son consideraciones clave en su diseño y aplicación, y se debe lograr un equilibrio entre rendimiento y economía a través de la optimización del proceso. Esta sección analizará las ventajas de rendimiento de los sistemas multifásicos y su potencial de aplicación de ingeniería desde dos aspectos: el efecto sinérgico de las aleaciones WCTiCTaCCo y otros carburos (tales como NbC y VC).

10.2.3.1 WCTiCTaCCo : Equilibrio entre resistencia al desgaste y tenacidad (K_{1c} 10-15 MPa·$m^{1/2}$)

10.2.3.1.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología del carburo cementado WCTiCTaCCo

WCTiCTaCCo se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia con WC (contenido teórico 50%-70%±1%) como fase dura principal, complementada con TiC (contenido teórico 5%-20%±0,1%) y TaC (contenido teórico 2%-10%±0,1%), y Co (contenido teórico 10%-20%±1%) como fase de unión. El TiC mejora la dureza de la aleación a través del fortalecimiento de la solución sólida (rango teórico HV 1600-1800 ± 30), el TaC mejora la uniformidad y la resistencia al desgaste del material al inhibir el crecimiento de granos de WC (tamaño de grano teórico 0,5-2 μm ± 0,01 μm) y el Co forma una red continua (fracción de volumen teórica > 95 % ± 2 %) a través de la sinterización en fase líquida para garantizar la tenacidad (K_{1c} teórico 10-15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5). La aleación está diseñada para lograr una excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica <0,06 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m) y resistencia al impacto (resistencia al impacto teórica >10^6veces ± 10^5 veces) , lo que la hace adecuada para condiciones de trabajo complejas, como herramientas de corte de aviación (vida teórica >5000 horas ± 500 horas) y herramientas de perforación petrolera (durabilidad teórica >10^4horas ± 10^3 horas) .

El proceso de preparación incluye molienda de bolas de alta energía, prensado en frío y sinterización al vacío. La temperatura de sinterización se controla a 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa para garantizar la densidad del material (densidad relativa teórica > 99,5 % ± 0,1 %) y la uniformidad de la microestructura. Las pruebas de rendimiento se llevan a cabo utilizando métodos estandarizados, incluyendo la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga teórica 10 kg ± 0,1 kg, precisión ± 30), la prueba de rendimiento al desgaste (ASTM G65, carga teórica 130 N ± 1 N, precisión ± 0,01 mm^3 / N · m) y la prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión ± 0,5 MPa·$m^{1/2}$) . Por ejemplo, el WC10TiC5TaC10Co (tamaño de grano teórico de 0,5 μm ± 0,01 μm) presenta una dureza de HV 1700 ± 30, una tenacidad a la fractura de 12 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5 y una tasa de desgaste teórica de 0,05 mm^3 / N·m ± 0,01 mm^3 / N·m, lo que cumple plenamente los requisitos de alto rendimiento de las herramientas de aviación y de perforación petrolera. La microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución teórica <0,1 μm ± 0,01 μm) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) se utilizan para analizar la microestructura y la distribución de elementos a fin de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

garantizar la homogeneidad de la multifase.

10.2.3.1.2 Mecanismo y análisis del carburo cementado WCTiCTaCCo

WCTiCTaCCo se origina del efecto sinérgico de varias fases. TiC mejora la dureza de la aleación mediante el fortalecimiento de la solución sólida (constante reticular teórica 4,3 Å ± 0,01 Å) , y el valor teórico se incrementa en aproximadamente un 10 % ± 2 %, lo que lo hace alcanzar HV 1600-1800 ± 30. TaC inhibe el crecimiento del grano WC en forma de fase de precipitación (tamaño teórico de partícula 0,1 μm ± 0,01 μm), aumenta la densidad del límite de grano (aumento del valor teórico del 20 % ± 3 %, >10 ¹ ⁴ m ⁻ ² ± 10 ¹³ m ⁻ ²) , reduciendo así la tasa de desgaste (valor teórico <0,06 mm ³ /N · m ± 0,01 mm ³ /N · m). La capacidad de deformación plástica del Co (elongación teórica 1% ± 0,1%) mejora la tenacidad al absorber la energía de impacto (valor teórico > 50 J/m² ± 5 J/m²) , y la tenacidad a la fractura alcanza teóricamente 12 MPa·m¹ /² ± 0,5. La tasa de desgaste se puede expresar aproximadamente como:

$$V = k \cdot \frac{P}{H \cdot \rho}$$

其中，$V < 0.06\,\mathrm{mm^3/N\backslash cdotpm} \pm 0.01\,\mathrm{mm^3/N\backslash cdotpm}$，$\rho \approx 14\,\mathrm{g/cm^3} \pm 0.1\,\mathrm{g/cm^3}$ 为密度，P 为载荷，H 为硬度，k 为磨损系数。然而，当TaC含量超过10%±0.1%时，过量TaC可能导致K_{1C}理论下降10%±2%（至<10 MPa·m¹/²±0.5），需优化含量以平衡性能。

Análisis de microestructura La observación SEM muestra que las partículas de TaC de WC10TiC5TaC10Co están distribuidas uniformemente (desviación teórica <0,1% ± 0,02%), y la red de Co es continua (>95% ± 2%), lo que mejora la estabilidad general del material. El análisis EDS confirma que la distribución de TiC y TaC es uniforme (desviación teórica <0,1% ± 0,02%). La prueba de desgaste (ASTM G65) muestra que la tasa de desgaste teórica es de 0,05 mm³ /N · m ± 0,01 mm³ /N · m, que es mejor que la de WC10Co monofásico (0,08 mm³ /N · m ± 0,01 mm³ /N · m), lo que demuestra el efecto de fortalecimiento de la sinergia multifásica. Sin embargo, cuando el tamaño del grano aumenta a >2 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 %, lo que se debe a la disminución de la resistencia al desgaste causada por la reducción de los límites de grano, y los granos deben refinarse a través del control del proceso.

10.2.3.1.3 Análisis de factores que afectan a la aleación dura WCTiCTaCCo

WCTiCTaCCo se ve afectada por una variedad de factores, y el equilibrio entre la resistencia al desgaste y la tenacidad debe lograrse mediante la optimización del proceso:

Contenido de TiC

Cuando el contenido de TiC es del 10% ± 0,1%, la dureza es la más alta (HV 1700 ± 30); cuando el TiC El contenido es >20%±0,1%, K_{1C} teóricamente disminuye un 10% ± 2% (a <10 MPa·m ¹ / ² ± 0,5), y la tenacidad es insuficiente.

Contenido de TaC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el mejor; cuando el contenido de TaC es >10%±0,1%, K1c teóricamente disminuye en un 15% ± 3% (a <8 MPa·m ¹ / ² ± 0,5), y es necesario controlar la cantidad añadida.

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 10% ± 1%, la tenacidad es óptima (K1c ~ 12 MPa·m¹ / ² ± 0,5) ; cuando el contenido de Co es >20% ± 1%, la dureza disminuye teóricamente en un 10% ± 2% (a HV 1600 ± 30) y la resistencia al desgaste disminuye.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , la resistencia al desgaste es óptima (tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m); cuando el tamaño de grano es >2 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 %.

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C, la densidad es > 99,5 % ± 0,1 % y la distribución multifásica es uniforme; cuando supera los 1500 °C ± 10 °C, la teoría de segregación aumenta en un 5 % ± 1 %, lo que afecta la consistencia del rendimiento.

Condiciones ambientales

Cuando la temperatura es >1000 °C ± 10 °C, la tasa de desgaste aumenta un 15 % ± 3 % teóricamente y es necesario mejorar la estabilidad de la fase Co.

Por ejemplo, WC15TiC10TaC10Co tiene un alto contenido de TaC (10% ± 0,1 %) y su K1c cae a 8 MPa·m ¹ / ² ± 0,5, lo que reduce su resistencia al impacto y necesita ser optimizada al 2%-5% ± 0,1%.

10.2.3.1.4 Estrategia de optimización para carburo cementado

WCTiCTaCCo Para lograr una dureza > HV 1600 ± 30, K 1 c > 10 MPa·m ¹ / ² ± 0,5, se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de ingredientes

Contenido de TiC 5%-10%±0,1%, contenido de TaC 2%-5%±0,1%, contenido de Co 10%-15%±1%, equilibrando dureza y tenacidad.

Control de granos

El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm ± 0,01 μm y el crecimiento del grano se reduce reduciendo la fluctuación de la temperatura de sinterización (± 5 °C) para mejorar la resistencia al desgaste.

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza una densidad > 99,5 % ± 0,1 % y una distribución multifásica uniforme (desviación < 0,1 % ± 0,02 %); se utiliza Ar (contenido de oxígeno < 0,01 % ± 0,001 %) como atmósfera de sinterización para inhibir la oxidación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tratamiento de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra <0,05 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste se reduce teóricamente en un 10 % ± 2 % y se mejora la durabilidad de la superficie.

Especificaciones de prueba

por ASTM G65 (rendimiento al desgaste, carga 130 N ± 1 N), ISO 28079 (tenacidad a la fractura, precisión ± 0,5 MPa·m ¹ / ²) y ASTM E92 (prueba de dureza, carga 10 kg ± 0,1 kg); se utilizaron SEM y EDS para analizar la microestructura.

Por ejemplo, WC10TiC5TaC10Co (tamaño de grano teórico 0,5 μm±0,01 μm , superficie Ra<0,05 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 1700±30 y K_{1} c 12 MPa·m ¹ / ² ± 0,5, lo que cumple con los requisitos de las herramientas de aviación.

10.2.3.1.5 Aplicación de ingeniería de carburo cementado

WCTiCTaCCo

WCTiCTaCCo ofrece un excelente rendimiento en los sectores de la aviación y el petróleo gracias a su excelente equilibrio entre resistencia al desgaste y tenacidad. Su campo de aplicación abarca los siguientes escenarios:

herramientas de aviación

WC10TiC5TaC10Co (dureza teórica HV 1700±30, tamaño de grano 0,5 μm±0,01 μm) tiene una vida útil teórica de >5000 horas±500 horas, es adecuado para el corte de motores de aeronaves y puede soportar altas temperaturas de >800°C±10°C.

herramientas de perforación petrolera

WC10TiC2TaC15Co (K_{1} c teórico 12 MPa·m ¹ / ² ± 0,5, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una resistencia al impacto teórica de >10^{6} veces ± 10^{5} veces, lo que es adecuado para el entorno de alto impacto en la perforación petrolera.

Molde de alta temperatura

WC5TiC5TaC10Co (tasa de desgaste teórica 0,05 mm^{3} / N · m ± 0,01 mm^{3} / N · m, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una durabilidad teórica de >10 ⁵ veces ±10 ⁴ veces y se utiliza ampliamente en forjado a alta temperatura.

10.2.3.2 Efectos sinérgicos de otros carburos (NbC , VC)

10.2.3.2.1 Principios básicos y descripción técnica

NbC (dureza teórica > HV 1800 ± 50, contenido 2 % - 10 % ± 0,1 %) y VC (dureza teórica > HV 2000 ± 50, contenido 0,5 % - 5 % ± 0,1 %) como fases aditivas mejoran la resistencia al desgaste (tasa de desgaste teórica < 0,06 mm ³ / N · m ± 0,01 mm ³ / N · m) y la estabilidad a altas temperaturas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(> 800 °C ± 10 °C) de las aleaciones de carburo multifásicas mediante el refinamiento del grano (tamaño teórico 0,5-1 μm ± 0,01 μm) y el fortalecimiento de la solución sólida. El NbC mejora la tenacidad mediante la correspondencia de la red (el K_{1c} teórico aumenta un 10 % ± 2 %), y el VC mejora la dureza y la resistencia al desgaste al inhibir el crecimiento del grano (la densidad teórica del límite de grano aumenta un 20 % ± 3 %, $>10^{14}$ m^{-2} ± 10^{13} m^{-2}) . Este sistema de aleación es adecuado para escenarios que requieren alta durabilidad, como herramientas de corte de alta temperatura (vida teórica >5000 horas ± 500 horas) y sustratos de revestimiento resistentes al desgaste (adhesión teórica >50 MPa ± 5 MPa). En comparación con las aleaciones monofásicas, su rendimiento integral mejora aproximadamente un 15 % ± 2 %.

El proceso de preparación adopta tecnología de pulvimetalurgia, la temperatura de sinterización se controla a 1450 °C ± 10 °C, la presión es de 50 MPa ± 1 MPa y la densidad se garantiza en > 99,5 % ± 0,1 %. Las pruebas de rendimiento incluyen la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga 10 kg ± 0,1 kg, precisión ± 30), prueba de rendimiento al desgaste (ASTM G65, carga 130 N ± 1 N, precisión ± 0,01 mm^3 / N · m) y prueba de oxidación a alta temperatura (ASTM E1876, 1000 °C ± 10 °C, duración 100 horas ± 10 horas). Por ejemplo, el acero WC5NbC0.5VC10Co (tamaño de grano teórico: 0,5 μm ± 0,01 μm) presenta una dureza de HV 1750 ± 30, una tasa de desgaste teórica de 0,04 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/N·m y una ganancia de peso por oxidación de <0,5 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2 , lo que cumple con los requisitos de las herramientas de alta temperatura. Se utilizan análisis SEM y EDS para verificar la microestructura y la distribución de elementos.

10.2.3.2.2 Mecanismo y análisis La correspondencia reticular de

NbC (constante reticular teórica 4,5 Å ± 0,01 Å) mejora la resistencia de unión de la interfaz de WC y Co (valor teórico >120 MPa ± 10 MPa), aumentando teóricamente la tenacidad a la fractura K_{1c} en un $_{10\ \%}$ ± 2 % (a >12 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5). VC inhibe el crecimiento del grano a través de la fase de precipitación (tamaño teórico 0,1 μm ± 0,01 μm), aumenta la densidad del límite de grano (aumento del valor teórico 20 % ± 3 %) y aumenta teóricamente la dureza en un 10 % ± 2 % (a HV 1750 ± 30). Las pruebas de oxidación a alta temperatura muestran que NbC forma Nb_2O_5 (espesor teórico 0,5 μm±0,1 μm) y VC forma V_2O_5 (espesor teórico 0,3 μm±0,1 μm). La doble capa de óxido mantiene la ganancia de peso de oxidación a <0,5 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2 , mejorando la estabilidad a alta temperatura. Cuando el contenido de NbC es del 5%±0,1% y el de VC es del 0,5%±0,1%, la tasa de desgaste teórica alcanza los 0,04 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/N·m; pero cuando el contenido de NbC es >10%±0,1%, la tenacidad a la fractura $_{K_{1c}}$ disminuye teóricamente en un 10%±2% (a <10 MPa·$m^{1/2}$±0,5), y es necesario optimizar la cantidad agregada.

El análisis SEM muestra que las partículas de NbC y VC de WC5NbC0.5VC10Co están distribuidas uniformemente (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %), y la red de Co es continua (> 95 % ± 2 %), lo que mejora la estabilidad general del material. EDS confirma que la distribución de Nb y V es uniforme (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %). La prueba de desgaste (ASTM G65) muestra que la tasa de desgaste teórica es de 0,04 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, que es mejor que WC10Co (0,08 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m), lo que demuestra el efecto de fortalecimiento de NbC y VC. Sin embargo, cuando el tamaño del grano aumenta a >2 μm ± 0,01 μm , la resistencia al desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

disminuye teóricamente en un 10 % ± 2 % y los granos deben refinarse mediante el control del proceso.

10.2.3.2.3 Análisis de factores influyentes. El rendimiento de las aleaciones

de NbC y VC se ve afectado por diversos factores. Es necesario lograr un equilibrio entre la resistencia al desgaste y la tenacidad mediante la optimización del proceso:

Contenido de NBC

Cuando el contenido de NbC es del 5 % ± 0,1 %, la tenacidad es óptima (K_{1c} aumenta un 10 % ± 2 %). Cuando el contenido de NbC es > 10 % ± 0,1 %, la tenacidad a la fractura K_{1c} teóricamente disminuye en un 10% ± 2% (a <10 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5).

Contenido de VC

Cuando el contenido de VC es de 0,5% ± 0,1%, la dureza es la más alta (HV 1750 ± 30); cuando el contenido de VC es > 5% ± 0,1%, la tenacidad a la fractura K_{1c} teóricamente disminuye en un 15% ± 3% (a <7 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5), y es necesario controlar la cantidad añadida.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , la resistencia al desgaste es óptima (tasa de desgaste <0,04 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m); cuando el tamaño de grano es >2 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 %.

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C, la densidad es > 99,5 % ± 0,1 % y NbC y VC se distribuyen uniformemente; cuando la temperatura supera los 1500 °C ± 10 °C, la teoría de segregación aumenta en un 5 % ± 1 %, lo que afecta la consistencia del rendimiento.

Condiciones ambientales

Cuando la temperatura alta es >1000 °C ± 10 °C, la ganancia de peso teórica debido a la oxidación aumenta en un 15 % ± 3 % y se debe mejorar la estabilidad de la capa de óxido; cuando la concentración de oxígeno es >21 % ± 1 %, la tasa de desgaste aumenta en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, WC10NbC5VC10Co tiene un alto contenido de VC (5% ± 0,1%) y su tenacidad a la fractura es $K_{1c\ cae\ a}$ 7 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, lo que reduce su resistencia al impacto y necesita optimizarse a 0,5%-1%±0,1%.

10.2.3.2.4 Estrategia de optimización

Para lograr una dureza > HV 1700 ± 30 y una tasa de desgaste < 0,06 mm ³ /N · m ± 0,01 mm ³ /N · m, se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de ingredientes

de NbC es de 2%-5%±0,1%, el contenido de VC es de 0,5%-1%±0,1%, equilibrando dureza y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

tenacidad.

Control de granos

El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm ± 0,01 μm y el crecimiento del grano se reduce reduciendo la fluctuación de la temperatura de sinterización (± 5 °C) para mejorar la resistencia al desgaste.

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización es de 1450 °C ± 10 °C y la presión es de 50 MPa ± 1 MPa, lo que garantiza una densidad > 99,5 % ± 0,1 % y una distribución uniforme de NbC y VC (desviación < 0,1 % ± 0,02 %); Ar (contenido de oxígeno < 0,01 % ± 0,001 %) se utiliza como atmósfera de sinterización para inhibir la oxidación.

Tratamiento de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra <0,05 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste se reduce teóricamente en un 10 % ± 2 % y se mejora la durabilidad de la superficie.

Especificaciones de prueba

El rendimiento se verificó mediante ASTM G65 (rendimiento de desgaste, carga 130 N ± 1 N), ASTM E1876 (oxidación a alta temperatura, 1000 °C ± 10 °C) y ASTM E92 (prueba de dureza, carga 10 kg ± 0,1 kg); complementado con SEM y EDS para analizar la microestructura.

Por ejemplo, WC5NbC0.5VC10Co (tamaño de grano teórico 0,5 μm±0,01 μm , superficie Ra<0,05 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 1750±30 y una tasa de desgaste de 0,04 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$, que cumple los requisitos para herramientas de alta temperatura.

10.2.3.2.5 Aplicaciones de ingeniería. Las aleaciones

de NbC y VC ofrecen un excelente rendimiento en los sectores de la fabricación y la energía gracias a su excelente resistencia al desgaste y a su rendimiento a altas temperaturas. Su ámbito de aplicación abarca los siguientes escenarios:

Herramientas de alta temperatura

WC5NbC0.5VC10Co (dureza teórica HV 1750±30, tamaño de grano 0,5 μm±0,01 μm) tiene una vida útil teórica de >5000 horas±500 horas, es adecuado para corte a alta temperatura y puede soportar >800 °C±10 °C.

Sustrato de revestimiento resistente al desgaste

WC2NbC0.5VC10Co (tasa de desgaste teórica 0,04 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una adhesión teórica de >50 MPa ± 5 MPa, lo que es adecuado para sustratos de revestimiento resistentes al desgaste.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

herramientas de perforación petrolera

K_{1C} teórico 12 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una resistencia al impacto teórica de >10^6veces ± 10^5 veces, lo que es adecuado para el entorno de alto impacto de la perforación petrolera.

10.2.4 Carburo cementado sin fase aglutinante

sin aglutinante se basa en un sistema de carburo completo (WC, TiC , etc., con un contenido teórico de >99%±0,1%), eliminando las fases aglutinantes tradicionales como Co y Ni, logrando una dureza ultraalta (HV>2500±50) y una excelente estabilidad a alta temperatura (>1000°C±10°C), pero su tenacidad es baja (tenacidad a la fractura K_{1C} < 5 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5), lo que lo hace especialmente adecuado para herramientas superduras (precisión de corte <0,1 μm ± 0,01 μm) y recubrimientos resistentes al desgaste (vida útil teórica >10^4 horas ± 10^3 horas). El proceso de preparación tiene altos requisitos, que requieren sinterización a alta temperatura y alta presión (>2000 °C ± 10 °C, presión >100 MPa ± 5 MPa), y el costo es alto (>20 USD/kg ± 1 USD/kg), lo que limita su aplicación a gran escala. Esta sección se centrará en el sistema completo de carburo y los desafíos de preparación y las limitaciones de aplicación, y analizará en detalle sus características de rendimiento, dificultades de preparación y perspectivas de aplicación.

10.2.4.1 Sistema totalmente de carburo: dureza ultraalta

10.2.4.1.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología del sistema totalmente de carburo de dureza ultraalta

El sistema de carburo completo se compone principalmente de WC (contenido teórico > 99 % ± 0,1 %) o fase mixta WCTiC (WC 50 % - 80 % ± 1 %, TiC 20 % - 50 % ± 1 %) y alcanza una densidad cercana a la teórica (> 99,8 % ± 0,1 %) a través de un proceso de sinterización a alta temperatura y alta presión (> 2000 °C ± 10 °C, presión 100 MPa ± 5 MPa). La dureza de este sistema supera HV 2500 ± 50, y la resistencia al desgaste es excelente (tasa de desgaste teórica < 0,03 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m), lo que es adecuado para el mecanizado de ultraprecisión (rugosidad superficial Ra < 0,01 μm ± 0,001 μm) y piezas resistentes al desgaste (vida teórica > 10^4 horas ± 10^3 horas). El diseño sin aglutinante evita la degradación del rendimiento de las aleaciones tradicionales debido al ablandamiento del Co a altas temperaturas (> 800 °C ± 10 °C) y mejora la estabilidad a alta temperatura (> 1000 °C ± 10 °C), lo que les permite funcionar bien en condiciones extremas.

El proceso de preparación se realiza mediante prensado isostático en caliente (HIP) o sinterización por plasma de chispa (SPS). La temperatura de sinterización se controla a 2000 °C ± 10 °C y la presión a 100 MPa ± 5 MPa para garantizar la densidad y la uniformidad microestructural del material. Las pruebas de rendimiento incluyen la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga de 10 kg ± 0,1 kg, precisión de ± 50), la prueba de resistencia al desgaste (ASTM G99, carga de 10 N ± 0,1 N, precisión de ± 0,01 mm^3 / N · m) y la prueba de estabilidad a alta temperatura (ASTM

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

E1876, 1000 °C ± 10 °C, duración de 100 horas ± 10 horas). Por ejemplo, el WC20TiC (tamaño de grano teórico de 0,5 μm ± 0,01 μm) presenta una dureza de HV 2600 ± 50, una tasa de desgaste teórica de 0,02 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m y una rugosidad superficial Ra < 0,01 μm ± 0,001 μm , lo que cumple los requisitos de las herramientas de ultraprecisión. La microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución teórica < 0,1 μm ± 0,01 μm) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) se utilizan para analizar la microestructura y la distribución de elementos.

10.2.4.1.2 Mecanismo y análisis del sistema totalmente de carburo de ultra alta dureza

La dureza ultraalta del sistema de carburo proviene de la fuerte red de enlace covalente de WC (energía de enlace teórica 700 kJ/mol ± 10 kJ/mol) y TiC (energía de enlace teórica 500 kJ/mol ± 10 kJ/mol), y la dureza teórica excede HV 2500 ± 50. El tamaño de grano se controla a 0,5 μm ± 0,01 μm , la densidad del límite de grano aumenta (valor teórico > 10^{14} m^{-2} ± 10^{13} m^{-2}) y la tasa de desgaste se reduce teóricamente en un 30 % ± 5 % (a < 0,03 $mm^3 / N \cdot m$ ± 0,01 $mm^3 / N \cdot m$). La ausencia de una fase aglutinante elimina las debilidades interfaciales, y la tasa de disolución de la fase aglutinante tradicional de Co (~10^{-6} $g/cm^2 \cdot h$ ± 10^{-7} $g/cm^2 \cdot h$) ya no es un factor limitante. La ganancia de peso por oxidación a alta temperatura se mantiene en <0,2 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2 , lo cual es mejor que las aleaciones que contienen una fase aglutinante (como TiCNi , ganancia de peso por oxidación 0,5 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2) . Sin embargo, la falta de una fase plástica da como resultado una tenacidad menor (tenacidad a la fractura K_{Ic}<5 $MPa \cdot m^{1/2}$ ± 0,5), y las grietas son fáciles de extender (valor teórico >0,1 mm ± 0,01 mm), lo que limita su resistencia al impacto.

El análisis SEM muestra que la distribución de grano de WC20TiC es uniforme (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %) y la porosidad es tan baja como <0,1 % ± 0,02 %, lo que demuestra el efecto de densificación de la sinterización a alta temperatura y alta presión . El EDS confirma que el TiC se distribuye uniformemente (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %). Las pruebas de desgaste (ASTM G99) muestran que la tasa de desgaste teórica es de 0,02 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m, que es mejor que WC10Co (0,08 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m), verificando la ventaja de resistencia al desgaste del diseño de fase no adherente. Las pruebas de alta temperatura (1000 °C ± 10 °C) demuestran aún más su estabilidad, con una ganancia de peso por oxidación de solo 0,2 mg/cm² ± 0,05 mg/cm² .

10.2.4.1.3 Análisis de factores que afectan al sistema de carburo completo de dureza ultra alta

El rendimiento del sistema de carburo completo se ve afectado por una variedad de factores, y el equilibrio entre dureza y densidad debe lograrse mediante la optimización del proceso:

Contenido de TiC

El contenido de TiC es del 20% ± 1%, la dureza es la más alta (HV 2600 ± 50); cuando el contenido de TiC es > 50% ± 1%, K_{Ic} disminuye teóricamente en un 20% ± 3% (a < 3 $MPa \cdot m^{1/2}$ ± 0,5), y la tenacidad disminuye aún más.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , la resistencia al desgaste es la mejor (tasa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de desgaste <0,02 mm ³ / N · m ± 0,01 mm ³ / N · m); cuando el tamaño de grano es >2 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta teóricamente en un 10 % ± 2 % y la tenacidad a la fractura K_{ic} mejora ligeramente (<5 MPa·m ¹ / ² ± 0,5).

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 2000 °C ± 10 °C, la densidad es > 99,8 % ± 0,1 % y la porosidad es < 0,1 % ± 0,02 %; cuando la temperatura de sinterización es inferior a 1900 °C ± 10 °C, la porosidad aumenta teóricamente en un 5 % ± 1 % y la dureza disminuye.

presión

Cuando la presión es de 100 MPa ± 5 MPa, la dureza es estable (HV> 2500 ± 50); cuando la presión es < 50 MPa ± 5 MPa, la dureza disminuye teóricamente en un 10 % ± 2 % (a HV 2300 ± 50) debido a una densificación insuficiente.

Condiciones ambientales

Cuando la temperatura es >1000 °C ± 10 °C, la ganancia de peso teórica debido a la oxidación aumenta en un 10 % ± 2 % y es necesario optimizar el tratamiento de la superficie.

Por ejemplo, WC50TiC tiene un alto contenido de TiC (50% ± 1%) y su tenacidad a la fractura es $K_{1C\ cae\ a}$ 3 MPa·m ¹ / ² ± 0,5, lo que da como resultado una resistencia al impacto insuficiente y debe optimizarse al 20%-30% ± 1%.

10.2.4.1.4 Estrategia de optimización para sistemas de carburo completo de dureza ultra alta

Para lograr una dureza > HV 2500 ± 50 y una tasa de desgaste < 0,03 mm³ /N · m ± 0,01 mm³/N · m, se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de ingredientes

Contenido de WC 70%-80%±1%, contenido de TiC 20%-30%±1%, equilibrando dureza y estabilidad microestructural.

Control de granos

El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm ± 0,01 μm y se reduce el crecimiento del grano y se mejora la resistencia al desgaste al optimizar los parámetros de sinterización.

Proceso de sinterización

La temperatura de sinterización es de 2000 °C ± 10 °C y la presión es de 100 MPa ± 5 MPa, lo que garantiza una densidad> 99,8 % ± 0,1 % y una porosidad < 0,1 % ± 0,02 %; se utiliza prensado isostático en caliente (HIP) para mejorar la uniformidad.

Tratamiento de superficies

Mediante un pulido de ultraprecisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra <0,01 μm ± 0,001 μm , la tasa de desgaste se reduce teóricamente en un 10 % ± 2 % y se mejora la precisión de corte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Especificaciones de prueba

El rendimiento se verificó utilizando ASTM E92 (prueba de dureza, carga 10 kg ± 0,1 kg), ASTM G99 (rendimiento de desgaste, carga 10 N ± 0,1 N) y ASTM E1876 (estabilidad a alta temperatura, 1000 °C ± 10 °C); complementado con análisis SEM y EDS de la microestructura.

Por ejemplo, WC20TiC (tamaño de grano teórico 0,5 μm ± 0,01 μm , superficie Ra < 0,01 μm ± 0,001 μm) tiene una dureza de HV 2600 ± 50 y una tasa de desgaste de 0,02 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, lo que cumple los requisitos para herramientas de ultraprecisión.

10.2.4.1.5 Aplicación en ingeniería del sistema de carburo de ultraalta dureza.

El sistema de carburo ofrece un rendimiento excepcional en la fabricación de precisión gracias a su ultraalta dureza y resistencia al desgaste. Su ámbito de aplicación abarca los siguientes escenarios:

Herramientas de ultraprecisión

WC20TiC (dureza teórica HV 2600±50, tamaño de grano 0,5 μm±0,01 μm) tiene una precisión de corte de <0,1 μm±0,01 μm y una vida útil teórica de >5000 horas±500 horas, y es adecuado para el procesamiento de semiconductores.

Recubrimiento resistente al desgaste

WC30TiC (tasa de desgaste teórica 0,02 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una vida útil teórica de $>10^4$ horas $\pm 10^3$ horas y es adecuado para el refuerzo de superficies de piezas mecánicas.

Molde de alta temperatura

WC20TiC (ganancia de peso de oxidación teórica de 0,2 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2 , tamaño de grano de 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una durabilidad teórica de $>10^5$ veces $\pm 10^4$ veces, adecuado para forjado a alta temperatura.

10.2.4.2 Desafíos de preparación y limitaciones de aplicación de sistemas totalmente de carburo de dureza ultraalta

10.2.4.2.1 Principios básicos y descripción general de la tecnología del sistema totalmente de carburo de dureza ultraalta

La preparación de carburo cementado sin fase aglutinante se basa en la sinterización a alta temperatura y alta presión (>2000 °C ± 10 °C, presión 100 MPa ± 5 MPa) para superar la baja tasa de difusión entre carburos ($<10^{-12}$ cm^2 /s ± 10^{-13} cm^2 /s) y alta resistencia a la sinterización (>1000 MPa ± 50 MPa). Los principales desafíos incluyen el alto costo del equipo (> 1 millón de USD ± 100 000 USD), la complejidad del proceso (tiempo de sinterización > 2 horas ± 0,1 horas) y la baja tenacidad (tenacidad a la fractura K_{Ic} < 5 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5), que limitan su producción y aplicación a gran escala. Las limitaciones de la aplicación se reflejan principalmente en el escenario de resistencia al impacto (resistencia al impacto teórica $<10^4$ veces ± 10^3 veces) y el procesamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de formas complejas (precisión <0,1 mm ± 0,01 mm), debido al problema de fragilidad causado por la falta de fase aglutinante.

El proceso de preparación utiliza prensado isostático en caliente (HIP) o sinterización por plasma de chispa (SPS), y la temperatura de sinterización se controla a 2000 °C ± 10 °C y la presión es de 100 MPa ± 5 MPa para garantizar que la densidad sea > 99,8 % ± 0,1 %. Las pruebas de rendimiento incluyen la medición de la densidad de Arquímedes (precisión ± 0,01 g / cm^3) , la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga 10 kg ± 0,1 kg, precisión ± 50) y la prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión ± 0,5 MPa·$m^{1/2}$) . Por ejemplo, el WC20TiC (sinterizado a 2000 °C ± 10 °C y a una presión de 100 MPa ± 5 MPa) tiene una densidad >99,8 % ± 0,1 % y una dureza de HV 2600 ± 50, pero su tenacidad a la fractura K_{Ices} de tan solo 4 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, lo que refleja su tenacidad insuficiente. Se utilizaron análisis de SEM y EDS para verificar la microestructura y la homogeneidad compositiva.

10.2.4.2.2 Mecanismo y análisis del sistema de carburo completo de dureza ultraalta La sinterización a alta temperatura y

alta presión logra la densificación del material a través de la difusión del límite de grano (tasa teórica ~10^{-12} cm^2 /s ± 10^{-13} cm^2 /s), y la porosidad se reduce a <0,1 % ± 0,02 %. La energía de interfaz entre WCTiC es baja (valor teórico ~1 J/m^2 ± 0,1 J/m^2) y se requiere una presión de >100 MPa ± 5 MPa para asegurar la unión entre carburos. La baja tasa de difusión requiere que la temperatura de sinterización sea superior a 2000 °C ± 10 °C y que la potencia del equipo alcance >500 kW ± 10 kW, lo que aumenta la dificultad de la preparación. La falta de fase de enlace da como resultado una tenacidad a la fractura K_{Ic} < 5 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5 y una velocidad teórica de crecimiento de grietas >10^{-3} mm/s ±10^{-4} mm/s, lo que limita la resistencia al impacto.

El análisis SEM muestra que la porosidad del WC20TiC es <0,1 % ± 0,02 %, pero se forman microfisuras (tamaño teórico <0,1 μm ± 0,01 μm) con facilidad en los puntos de concentración de tensiones, lo que afecta a la durabilidad. El EDS confirma que la distribución de la composición es uniforme (desviación teórica <0,1 % ± 0,02 %), lo que demuestra la uniformidad del proceso de sinterización.

10.2.4.2.3 Análisis de factores que afectan al sistema de carburo completo de dureza ultra alta

El rendimiento de la preparación y la aplicación se ven afectados por una combinación de factores, y se necesitan mejoras del proceso para superar las limitaciones:

Temperatura de sinterización

Cuando la temperatura de sinterización es de 2000 °C ± 10 °C, la densidad es > 99,8 % ± 0,1 % y la porosidad es < 0,1 % ± 0,02 %; cuando la temperatura de sinterización es inferior a 1900 °C ± 10 °C, la porosidad aumenta teóricamente en un 5 % ± 1 % y la dureza disminuye a HV 2400 ± 50.

presión

Cuando la presión es de 100 MPa ± 5 MPa, la dureza es estable (HV> 2500 ± 50); cuando la presión es < 50 MPa ± 5 MPa, la dureza disminuye teóricamente en un 10 % ± 2 % (a HV 2300 ± 50) debido

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

a una densificación insuficiente.

Tamaño del grano

Cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm ± 0,01 μm , la dureza es la más alta (HV 2600 ± 50); cuando el tamaño de grano es > 2 μm ± 0,01 μm , la tenacidad a la fractura K_{Ic} aumenta teóricamente ligeramente en un 5 % ± 1 % (aún < 5 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5), pero la resistencia al desgaste disminuye.

Costo del equipo

El costo de los equipos de alta temperatura y alta presión es > US$1 millón ± US$100.000, lo que limita la producción a gran escala y la producción es < 1000 kg/año ± 100 kg/año.

Escenario de aplicación

Cuando la resistencia al impacto es inferior a 10^4 ± 10^3 veces, es fácil que falle. Cuando la precisión de procesamiento es superior a 0,1 mm ± 0,01 mm, el coste aumenta un 20 % ± 5 % y el procesamiento se vuelve difícil.

Por ejemplo, debido a una temperatura de sinterización insuficiente (1900 °C ± 10 °C), la porosidad de WC20TiC aumentó a 0,5 % ± 0,1 % y la dureza disminuyó a HV 2400 ± 50, por lo que fue necesario optimizar los parámetros del proceso.

10.2.4.2.4 Estrategia de optimización para sistema de carburo completo de dureza ultra alta

Para lograr una dureza > HV 2500 ± 50 y una densidad > 99,8 % ± 0,1 %, se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de procesos

La temperatura de sinterización es de 2000 °C ± 10 °C, la presión es de 100 MPa ± 5 MPa y el tiempo de sinterización es de 2 horas ± 0,1 horas para garantizar la densificación.

Control de granos

El tamaño de grano se controló entre 0,5 y 1 μm ± 0,01 μm y se redujo la formación de microfisuras optimizando los parámetros de sinterización.

Mejora de equipos

Al utilizar la tecnología de prensado isostático en caliente (HIP), la porosidad se reduce a <0,05% ± 0,01%, mejorando la uniformidad del material.

Tratamiento de superficies

Mediante un pulido de ultraprecisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra <0,01 μm ± 0,001 μm , la tasa de desgaste se reduce teóricamente en un 10 % ± 2 % y se mejora la precisión de corte.

Especificaciones de prueba

por ASTM E92 (prueba de dureza, carga 10 kg ± 0,1 kg), ISO 28079 (tenacidad a la fractura, precisión ± 0,5 MPa·m $^{1/2}$) y método de Arquímedes (densidad, precisión ± 0,01 g/cm ^{3}) ; Se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

utilizaron SEM y EDS para analizar la microestructura.

Por ejemplo, WC20TiC (sinterización 2000 °C ± 10 °C, presión 100 MPa ± 5 MPa) tiene una dureza de HV 2600 ± 50 y una densidad > 99,8 % ± 0,1 %, lo que cumple con los requisitos de mecanizado de ultraprecisión.

10.2.4.2.5 Aplicación de ingeniería del sistema totalmente de carburo de dureza ultraalta

sin aglutinante funcionan bien en escenarios de alta precisión y sus aplicaciones incluyen las siguientes:

Mecanizado de ultraprecisión
WC20TiC (dureza teórica HV 2600±50, tamaño de grano 0,5 μm±0,01 μm) tiene una precisión de corte de <0,1 μm±0,01 μm y una vida útil teórica de >5000 horas±500 horas, y es adecuado para el procesamiento de espejos ópticos.

Sustrato de revestimiento resistente al desgaste
WC30TiC (tasa de desgaste teórica 0,02 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, tamaño de grano 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una vida útil teórica de $>10^4$ horas $\pm10^3$ horas y es adecuado para la protección de superficies de piezas mecánicas.

Molde de alta temperatura
WC20TiC (ganancia de peso de oxidación teórica de 0,2 mg/cm^2 ± 0,05 mg/cm^2 , tamaño de grano de 0,5 μm ± 0,01 μm) tiene una durabilidad teórica de $>10^5$ veces $\pm10^4$ veces y es adecuado para el conformado a alta temperatura.

sistema de carburo completo de dureza ultra alta :

Escena del impacto
K_{Ic} < 5 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, tiempos de resistencia al impacto teóricos < 10^4 veces ± 10^3 veces, propenso a fallas bajo alto impacto.

Formas complejas
Cuando la precisión del procesamiento es <0,1 mm ± 0,01 mm, el costo aumenta en un 20 % ± 5 % y el procesamiento es difícil.

Producción en masa
El costo del equipo es de más de un millón de dólares ±100 000 dólares y la producción está limitada a menos de 1000 kg/año ±100 kg/año, lo que dificulta lograr economías de escala.

10.3 Clasificación por tamaño de grano de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El tamaño de grano del carburo cementado (que va de 0,2 micrones a 10 micrones con una precisión de ±0,01 micrones) es el parámetro clave para su control de rendimiento, que tiene un profundo impacto en la dureza (que va de HV 800 a 2500 con una precisión de ±30), la tenacidad (que va de 8 MPa·m $^{1/2}$ a 25 MPa·m $^{1/2}$ con una precisión de ±0,5) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste de 0,02 mm ^{3} / N · m a 0,1 mm ^{3} / N · m con una precisión de ±0,01 mm ^{3} / N · m). Esta característica clave se logra mediante procesos de preparación precisos, como temperaturas de sinterización que van desde 1450 °C a 2000 °C (con una precisión de ±10 °C), presiones aplicadas que van desde 50 MPa a 100 MPa (con una precisión de ±1 MPa) y la adición de inhibidores como VC y Cr_3C_2 (contenido de 0,1 % a 2 %, con una precisión de ±0,01 %) para optimizar la microestructura. La combinación de estos procesos y diseños de materiales permite que el carburo cementado satisfaga diversas necesidades industriales, como herramientas de alto rendimiento en el campo de la aviación (vida útil de más de 5000 horas, error de ±500 horas), brocas resistentes al impacto en la industria minera (resistencia al impacto de más de 10^6 veces, error de ±10^5 veces) y fabricación de moldes de precisión (precisión de mecanizado de menos de 0,1 micras, error de ±0,01 micras). Para evaluar con precisión la distribución del tamaño de grano y su impacto en el rendimiento, se requieren técnicas analíticas avanzadas, incluyendo microscopía electrónica de barrido (SEM, resolución de menos de 0,1 micras , error de ±0,01 micras), difracción de rayos X (XRD, precisión de medición del tamaño de grano de ±0,01 micras) y una serie de pruebas de rendimiento estandarizadas (como ASTM E92 y G65) para garantizar la fiabilidad y consistencia de los datos.

Esta sección explorará sistemáticamente cómo el tamaño de grano afecta significativamente el rendimiento del carburo cementado en diferentes escenarios de aplicación mediante la interacción entre la microestructura y el macrorendimiento desde cuatro aspectos: carburo cementado ultrafino/nano (tamaño de grano inferior a 0,5 micras), carburo cementado de grano fino (tamaño de grano de 0,5 a 2 micras), carburo cementado de grano medio/grueso (tamaño de grano de 2 a 10 micras), y la distribución del tamaño de grano y la regulación del rendimiento. El análisis de cada parte profundizará en el proceso de preparación, el mecanismo del material, los factores de influencia, la estrategia de optimización y la aplicación de ingeniería, con el objetivo de proporcionar a los lectores un amplio soporte teórico y una guía práctica.

10.3.1 Carburo cementado ultrafino/nano (<0,5 μm)

El carburo cementado ultrafino/nano se caracteriza por su tamaño de grano inferior a 0,5 micras (error ± 0,01 micras). Este tamaño de grano extremadamente pequeño conduce a un aumento significativo en la densidad del límite de grano (más de 10^{14} m^{-2} , error ± 10^{13} m^{-2}) , lo que conduce a un aumento significativo en la dureza (más de HV 2400, error ± 50) y tenacidad (más de 12 MPa·m $^{1/2}$, error ± 0,5). Las excelentes propiedades de este material lo hacen especialmente adecuado para el mecanizado de alta precisión (precisión de mecanizado inferior a 0,1 micras, error ± 0,01 micras) y la fabricación de micropiezas (vida útil superior a 10^4 horas, error ± 10^3 horas). Sin embargo, debido al tamaño de grano extremadamente fino, la dificultad técnica en el proceso de preparación aumenta significativamente y se requiere tecnología avanzada de sinterización por plasma por chispa (SPS) y la adición de inhibidores (como VC y Cr_3C_2) para controlar eficazmente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

el crecimiento y la agregación de granos para garantizar la uniformidad y estabilidad del material. Esta sección detallará el proceso de preparación, las ventajas de rendimiento y las aplicaciones específicas, y analizará en profundidad las características técnicas, el mecanismo de rendimiento y el potencial de aplicación práctica del carburo cementado ultrafino/nano en la industria. Mediante la investigación sistemática sobre la optimización del proceso de preparación y la mejora del rendimiento, esta sección pretende proporcionar una valiosa referencia para investigadores e ingenieros en campos relacionados.

10.3.1.1 Proceso de preparación de carburo cementado ultrafino/nano (SPS, inhibidor VC/ Cr_3C_2)

Descripción general de los principios básicos y tecnologías del carburo cementado ultrafino/nano

La preparación del carburo cementado ultrafino/nano se basa en la tecnología de sinterización por plasma por chispa (SPS), que opera en un rango de temperatura de 1450 °C a 1600 °C (error ±10 °C) y condiciones de presión de 50 MPa a 100 MPa (error ±1 MPa). En comparación con los métodos de sinterización tradicionales, SPS logra un calentamiento rápido (la velocidad de calentamiento supera los 100 °C/minuto, error ±10 °C/minuto) mediante la aplicación de corriente pulsada (la intensidad de la corriente supera los 1000 amperios, error ±100 amperios), acortando significativamente el tiempo de sinterización (menos de 10 minutos, error ±1 minuto), inhibiendo así eficazmente el crecimiento de granos (la velocidad de crecimiento de granos es inferior a 10^{-3} micrones/segundo, error ±10^{-4} micrones/segundo). Además, la adición de inhibidores como VC (contenido de 0,2% a 1%, error ±0,01%) y Cr_3C_2 (contenido de 0,5% a 2%, error ±0,01%) reduce aún más la velocidad de difusión del material (menos de 10^{-12} cm^2/s, error ±10^{-13} cm^2/s) al precipitar partículas diminutas (tamaño de aproximadamente 0,05 micrones, error ±0,01 micrones) en los límites de grano, lo que garantiza que el tamaño del grano se mantenga en el nivel nanométrico.

Para verificar el efecto de la preparación y la precisión del control del tamaño de grano, se requieren diversas técnicas avanzadas de caracterización, incluyendo la microscopía electrónica de barrido (MEB, resolución inferior a 0,1 micras, error ± 0,01 micras) para observar la morfología microscópica, la microscopía electrónica de transmisión (MET, resolución inferior a 0,01 micras, error ± 0,001 micras) para el análisis detallado de la estructura del límite de grano, y la difracción de rayos X (DRX, precisión de la medición del tamaño de grano ± 0,01 micras) para el análisis cuantitativo de la estructura cristalina. Por ejemplo, en la aleación WC6Co0.5VC, la muestra preparada mediante sinterización SPS a 1450 °C (error ± 10 °C) tiene un tamaño de grano de 0,3 micras (error ± 0,01 micras) y una densidad superior al 99,5 % (error ± 0,1 %), lo que demuestra plenamente la eficiencia y precisión del proceso SPS.

Mecanismo y análisis del carburo cementado ultrafino/nano

El rápido efecto de densificación del proceso SPS (densidad superior al 99,5 %, error ± 0,1 %) se debe principalmente a la alta temperatura local (superior a 2000 °C, error ± 50 °C) y a la activación del plasma (intensidad del campo eléctrico superior a 10 V/mm, error ± 1 V/mm). Estas condiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

favorecen significativamente la unión entre las partículas de WC (la energía de la interfaz es de aproximadamente 1 julio/metro cuadrado, error ± 0,1 julio/metro cuadrado). Simultáneamente, el VC y el Cr_3C_2 precipitan partículas diminutas en el límite de grano mediante una reacción química, cuya ecuación de reacción es:

$$VC \rightarrow V + C \text{ (析出温度 } 1200^{\circ}C \pm 10^{\circ}C)$$

Estas fases precipitadas (tamaño aproximado de 0,05 micras, error de ± 0,01 micras) reducen la tasa de crecimiento del grano en aproximadamente un 50 % (error de ± 5 %) mediante el mecanismo de fijación del límite de grano, manteniendo así el tamaño de grano a escala nanométrica. Además, el Cr_3C_2 reduce aún más la porosidad del material (porosidad inferior al 0,1 %, error de ± 0,02 %) al mejorar la humectabilidad de la fase Co (ángulo de contacto inferior a 10 grados, error de ± 1 grado), mejorando así la densidad y las propiedades mecánicas del material.

A través del análisis SEM, la distribución del grano de la muestra WC6Co0.5VC mostró un alto grado de uniformidad (desviación menor al 0.1%, error ± 0.02%), y TEM confirmó además la distribución de la fase precipitada de VC (espaciamiento de aproximadamente 0.1 micras, error ± 0.01 micras), demostrando el papel clave de los inhibidores en el control del límite de grano. Los resultados de la prueba EDS también muestran que los inhibidores están distribuidos uniformemente en el material (desviación menor al 0.1%, error ± 0.02%), proporcionando una garantía para la estabilidad del rendimiento. Sin embargo, cuando el tamaño del grano excede 0.5 micras (error ± 0.01 micras), la dureza del material disminuirá en aproximadamente un 10% (error ± 2%), indicando que el control del tamaño del grano es el desafío principal de la optimización del rendimiento.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado ultrafino/nano

El efecto de preparación y el rendimiento final del carburo cementado ultrafino/nano se ven afectados por una variedad de factores, y el mejor equilibrio debe lograrse mediante un ajuste fino de los parámetros del proceso:

Temperatura de sinterización de SPS

Cuando la temperatura se controla a 1450 °C (error ±10 °C), el tamaño del grano se puede estabilizar a menos de 0,5 micrones (error ±0,01 micrones); pero cuando la temperatura supera los 1600 °C (error ±10 °C), el tamaño del grano aumentará en aproximadamente un 20 % (error ±3 %), lo que está estrechamente relacionado con el crecimiento activado térmicamente de los granos.

Contenido de inhibidores

Cuando el contenido de VC es del 0,5 % (error ± 0,01 %), el efecto de refinamiento del grano es óptimo; pero cuando el contenido supera el 1 % (error ± 0,01 %), la tenacidad disminuirá aproximadamente un 10 % (error ± 2 %), lo que puede deberse a la concentración de la tensión del límite de grano causada por inhibidores excesivos.

Aplicar presión

Dentro del rango de presión de 50 MPa a 100 MPa (error ±1 MPa), la densidad del material puede

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

alcanzar más del 99,5% (error ±0,1%); si la presión es inferior a 50 MPa (error ±1 MPa), la porosidad aumentará en aproximadamente un 5% (error ±1%), lo que afectará la densidad del material.

Tamaño del polvo de materia prima

Cuando el tamaño de partícula de polvo inicial es menor a 0,2 μm (error ± 0,01 μm), el efecto de control de grano es mejor; si el tamaño de partícula supera los 0,5 μm (error ± 0,01 μm), el tamaño de grano aumentará en aproximadamente un 15% (error ± 3%), lo que está relacionado con la dispersión uniforme del polvo.

Tiempo de sinterización

Cuando el tiempo de sinterización se controla entre 5 y 10 minutos (error ±1 minuto), el tamaño del grano permanece estable; si supera los 15 minutos (error ±1 minuto), el tamaño del grano aumentará aproximadamente un 10% (error ±2%), lo que indica que un tiempo demasiado largo provocará el crecimiento del grano.

Tomando WC6Co1VC como ejemplo, debido al alto contenido de VC (1% ± 0,01%), la tenacidad del material cayó a 10 MPa·$m^{1/2}$ (error ± 0,5), lo que sugiere que la relación de adición de inhibidor debe optimizarse para equilibrar la dureza y la tenacidad.

Estrategia de optimización de carburo cementado ultrafino/nano

Para lograr un tamaño de grano inferior a 0,5 micrones (error ± 0,01 micrones) y una densidad superior al 99,5 % (error ± 0,1 %), se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Optimización de parámetros de proceso

Utilizando el proceso SPS, la temperatura de sinterización se fijó en 1450 °C (error ±10 °C), la presión aplicada fue de 80 MPa (error ±1 MPa) y el tiempo de sinterización se controló entre 5 y 10 minutos (error ±1 minuto) para garantizar un doble control del tamaño del grano y la densidad.

Optimización de inhibidores

El contenido de VC se ajusta entre 0,2% y 0,5% (error ± 0,01%) y el contenido de Cr_3C_2 se ajusta entre 0,5% y 1% (error ± 0,01%) para lograr la mejor combinación de fijación de límites de grano y mojabilidad.

Control de polvo

Seleccione polvo de materia prima con un tamaño de partícula inicial de menos de 0,2 micrones (error ± 0,01 micrones) y asegúrese de que la pureza sea superior al 99,9 % (error ± 0,1 %) para reducir la interferencia de impurezas en el crecimiento del grano.

Protección de la atmósfera

La sinterización se lleva a cabo en un entorno de vacío con la presión mantenida por debajo de 10^{-2}Pa (±10^{-3} Pa) para evitar la oxidación y la contaminación, garantizando una alta pureza del material.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Especificaciones de prueba
El tamaño de grano se midió utilizando SEM y TEM, y la distribución de grano se analizó utilizando la norma ASTM E112 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la aleación WC6Co0.5VC se sinterizó a 1450 °C (error ±10 °C) mediante SPS, y el tamaño de grano alcanzó 0,3 μm (error ±0,01 μm) y la dureza alcanzó HV 2450 (error ±50), lo que verificó completamente la eficacia de la estrategia de optimización anterior.

El proceso SPS combinado con tecnología de inhibidores **en ingeniería de carburo cementado ultrafino/nano**
ha tenido un buen desempeño en múltiples escenarios de alta precisión, incluidos:

Preparación de herramientas de precisión
La aleación WC6Co0.5VC (tamaño de grano 0,3 micrones , error ±0,01 micrones) tiene una dureza de HV 2450 (error ±50) y una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas), lo que la hace especialmente adecuada para tareas de mecanizado que requieren una alta precisión de corte.

Fabricación de micromoldes
La aleación WC8Co0.5Cr_3C_2 (densidad superior al 99,5 %, error ±0,1 %) tiene una precisión de procesamiento de menos de 0,1 micrones (error ±0,01 micrones) y una vida útil de más de 10^5 veces (error ±10^4 veces), lo que cumple con los complejos requisitos de moldeo de micropiezas.

Materiales de embalaje electrónicos
La aleación WC6Co0.2VC (tamaño de grano de 0,2 micras , error de ±0,01 micras) presenta una excelente resistencia al desgaste y una tasa de desgaste de tan solo 0,02 $mm^3/N·m$ (error de ±0,01 $mm^3/N·m$). Se utiliza ampliamente en el encapsulado de componentes electrónicos de alta fiabilidad.

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el proceso SPS y la tecnología de inhibidores pueden lograr de manera efectiva un control preciso de granos ultrafinos y mejorar significativamente el rendimiento integral de los materiales.

10.3.1.2 Ventajas de rendimiento del carburo cementado ultrafino/nano: Dureza HV > 2400, Tenacidad > 12 MPa·$m^{1/2}$

Descripción general de los principios básicos y tecnologías del carburo cementado ultrafino/nano
El carburo cementado ultrafino/nano tiene un tamaño de grano de menos de 0,5 micrones (error ±0,01 micrones), y su densidad de límite de grano se mejora significativamente (más de 10^{14} m^{-2}, error ±10^{13} m^{-2}), de modo que su dureza alcanza HV 2400 (error ±50), la tenacidad supera los 12 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5) y la resistencia al desgaste también es excelente (la tasa de desgaste es inferior a 0,03 $mm^3 / N · m$, error ±0,01 $mm^3 / N · m$). La alta dureza se debe principalmente al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

efecto del refuerzo del límite de grano, mientras que la mejora de la tenacidad se debe a que los granos finos reducen la longitud de propagación de grietas (menos de 0,05 mm, error ±0,01 mm), mejorando así la resistencia del material a la fractura. Esta combinación de propiedades lo hace especialmente adecuado para aplicaciones exigentes como el mecanizado de alta precisión (rugosidad superficial Ra inferior a 0,01 micras , error ±0,001 micras) y la fabricación de micropiezas (vida útil superior a 10^{4} horas, error $\pm 10^{3}$ horas).

Para evaluar completamente estas propiedades, se requieren métodos de prueba estandarizados, incluida la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga de prueba 10 kg, error ± 0,1 kg), la prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión de medición ± 0,5 MPa·$m^{1/2}$) y la prueba de rendimiento al desgaste (ASTM G99, carga de prueba 10 Newton, error ± 0,1 Newton). Tomando la aleación WC6Co0.5VC como ejemplo, su tamaño de grano es de 0,3 micrones (error ± 0,01 micrones), la dureza alcanza HV 2450 (error ± 50), la tenacidad es de 13 MPa·$m^{1/2}$ (error ± 0,5) y la tasa de desgaste es tan baja como 0,02 mm^{3} / N · m (error ± 0,01 mm^{3} / N · m), lo que demuestra plenamente el excelente rendimiento del carburo cementado ultrafino/nano.

El carburo cementado ultrafino/nano
está estrechamente relacionado con la reducción del tamaño de grano. Esta relación se puede describir mediante la ecuación de Hall-Petch:

$$H = H_0 + k \cdot d^{-1/2}$$

Donde H0 representa la dureza de la matriz (aproximadamente HV 1000, error ±50), k es el factor de reforzamiento (aproximadamente 500 MPa·$\mu m^{1/2}$, error ±50 MPa·$\mu m^{1/2}$) y $_{d}$ es el tamaño de grano (p. ej., 0,3 micras, error ±0,01 micras). Cuando el tamaño de grano se reduce a 0,3 micras (error ±0,01 micras), la dureza puede aumentarse a HV 2450 (error ±50), gracias al aumento del número de límites de grano y al aumento de la densidad de dislocaciones. El aumento de la tenacidad proviene del efecto del deslizamiento del límite de grano (la densidad del límite de grano supera los 10^{14} m^{-2} , error $\pm 10^{13}$ m^{-2}) , que puede absorber energía externa (más de 60 julios/m2, error ±5 julios/m2), reduciendo así la tasa de crecimiento de grietas en aproximadamente un 30% (error ±5%). Además, la estructura de red de la fase Co (fracción de volumen 6%, error ±1%) proporciona el soporte plástico necesario en el material, manteniendo la tenacidad por encima de 12 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5).

A través del análisis SEM, la distribución de grano de la aleación WC6Co0.5VC es altamente uniforme (la desviación es menor del 0,1%, el error es ±0,02%) y la distribución de la fase Co es relativamente continua (la cobertura es mayor del 95%, el error es ±2%). TEM confirmó además la claridad de la estructura del límite de grano (el ancho es menor de 0,01 micras , el error es ±0,001 micras), proporcionando una base microscópica para una alta tenacidad. Las pruebas de rendimiento de desgaste muestran que la tasa de desgaste de la aleación es de solo 0,02 mm^{3}/N·m (el error es ±0,01 mm^{3}/N·m), que es significativamente mejor que la aleación WC6Co de grano fino (tamaño de grano es 0,5 micras , el error es ± 0,01 micras , la tasa de desgaste es 0,04 mm^{3}/N·m, el error es ±0,01 mm^{3}/N·m). Sin embargo, cuando el tamaño del grano supera los 0,5 µm (error ± 0,01 µm), la dureza disminuirá aproximadamente un 10 % (error ± 2 %) y la tenacidad disminuirá

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aproximadamente un 5 % (error ± 1 %), lo que sugiere que un control preciso del tamaño del grano es crucial.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado ultrafino/nano

El rendimiento del carburo cementado ultrafino/nano se ve afectado por muchos factores, y el equilibrio del rendimiento debe lograrse mediante la optimización del proceso y la composición:

Tamaño del grano

Cuando el tamaño del grano está en el rango de 0,2 μm a 0,3 μm (error ± 0,01 μm), la dureza se puede estabilizar por encima de HV 2400 (error ± 50); pero si supera los 0,5 μm (error ± 0,01 μm), la dureza caerá aproximadamente un 10% (error ± 2%), lo que está relacionado con el debilitamiento del fortalecimiento del límite del grano.

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co se controla entre 6% y 8% (error ±1%), la tenacidad se puede mantener por encima de 12 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5); pero si supera el 10% (error ±1%), la dureza disminuirá aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que puede deberse al efecto de ablandamiento de la fase Co.

Adición de inhibidores

Cuando el contenido de VC es del 0,5 % (error ± 0,01 %), el rendimiento de dureza es óptimo; pero si supera el 1 % (error ± 0,01 %), la tenacidad disminuirá aproximadamente un 10 % (error ± 2 %), lo que puede deberse a un exceso de inhibidores que generan tensión en los límites de grano.

Proceso de sinterización

Cuando se utiliza el proceso SPS y se controla a 1450 °C (error ±10 °C), el rendimiento es excelente; si se utiliza el proceso de sinterización convencional, el tamaño del grano aumentará en aproximadamente un 20 % (error ±3 %), lo que afectará las propiedades del material.

Cargas externas

Cuando la velocidad de corte supera los 1000 m/min (error ±10 m/min), la resistencia al desgaste es sobresaliente; sin embargo, cuando el número de impactos supera las 10 ^{5} veces (error ±10 ^{4} veces), la tenacidad debe optimizarse aún más para adaptarse al entorno de alto estrés.

Tomando WC10Co0.5VC como ejemplo, debido al alto contenido de Co (10% ± 1%), la dureza cae a HV 2300 (error ± 50), lo que indica que un aumento excesivo en el contenido de Co debilitará el efecto de fortalecimiento del límite del grano.

Para lograr una dureza superior a HV 2400 (error ±50) y una tenacidad superior a 12 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5), se recomiendan las siguientes estrategias de optimización **:**

Control del tamaño del grano

Mediante el proceso SPS y los inhibidores VC/Cr_3C_2, el tamaño del grano se controla entre 0,2 μm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

y 0,3 μm (error ±0,01 μm) para maximizar el efecto de fortalecimiento del límite del grano.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre el 6% y el 8% (±1%) para lograr el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad.

Optimización del inhibidor: el contenido de VC se ajustó entre 0,2% y 0,5% (error ± 0,01%) y el contenido de Cr_3C_2 se ajustó entre 0,5% y 1% (error ± 0,01%) para optimizar la fijación de los límites de grano y la mojabilidad.

Tratamiento de superficies

A través del proceso de pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se puede controlar a Ra menos de 0,01 micrones (error ± 0,001 micrones) y la tasa de desgaste se puede reducir en aproximadamente un 10% (error ± 2%).

Especificaciones de prueba

La dureza se prueba de acuerdo con ASTM E92, la tenacidad a la fractura se prueba de acuerdo con ISO 28079 y el rendimiento al desgaste se prueba de acuerdo con ASTM G99 para garantizar la precisión de los datos.

Por ejemplo, la dureza de la aleación WC6Co0.5VC (tamaño de grano 0,3 μm , error ±0,01 μm) alcanza HV 2450 (error ±50) y la tenacidad es 13 $MPa \cdot m^{1/2}$ (error ±0,5), lo que verifica plenamente la eficacia de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado ultrafino/nano

El carburo cementado ultrafino/nano tiene una dureza y tenacidad excelentes y funciona bien en muchos escenarios de aplicaciones de alta precisión, que incluyen:

Herramientas de precisión

La aleación WC6Co0.5VC (dureza HV 2450, error ±50) tiene una precisión de corte de menos de 0,1 micrones (error ±0,01 micrones) y una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas), lo que es particularmente adecuada para el procesamiento complejo en las industrias de la aviación y la electrónica.

Micro molde

La aleación WC8Co0.5Cr_3C_2 (tenacidad 13 $MPa \cdot m^{1/2}$, error ±0,5) tiene una vida útil de más de 10^5 veces (error ±10^4 veces), lo que cumple con los requisitos de moldeo de precisión de micropiezas.

Componentes electrónicos

La aleación WC6Co0.2VC (velocidad de desgaste de 0,02 $mm^3/N \cdot m$, error de ±0,01 $mm^3/N \cdot m$) presenta una rugosidad superficial Ra inferior a 0,01 micras (error de ±0,001 micras) y una excelente resistencia al desgaste. Se utiliza ampliamente en encapsulados electrónicos de alta fiabilidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el carburo cementado de grano ultrafino puede lograr alta dureza y tenacidad, mejorando significativamente su competitividad en el campo de la fabricación de alta precisión.

10.3.1.3 Aplicaciones del carburo cementado ultrafino/nano: herramientas de precisión y micromaquinado

de

precisión y micromaquinado debido a su dureza superior a HV 2400 (error ± 50), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste inferior a 0,03 $mm^3/N \cdot m$, error ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$) y excelente calidad de superficie (rugosidad superficial Ra inferior a 0,01 micrones, error ± 0,001 micrones). Estas herramientas pueden mantener una alta precisión (precisión de mecanizado inferior a 0,1 micras, error ± 0,01 micras) a velocidades de corte superiores a 1000 m/min (error ± 10 m/min), y su alta densidad de límite de grano (más de $10^{14} m^{-2}$, error ± $10^{13} m^{-2}$) garantiza la estabilidad térmica y mecánica del material. Los escenarios de aplicación incluyen la industria electrónica (la vida útil del molde supera las 10^5 veces, error ± 10^4 veces), la fabricación de dispositivos médicos (precisión de mecanizado inferior a 0,05 micras, error ± 0,01 micras) y el campo de la aviación (la vida útil de la herramienta supera las 5000 horas, error ± 500 horas).

Para verificar su rendimiento, se requieren pruebas de corte (ISO 3685, precisión de medición ±0,01 mm), medición de rugosidad superficial (ISO 4287, precisión de medición ±0,001 micras) y pruebas de desgaste (ASTM G99, precisión de medición ±0,01 $mm^3/N \cdot m$). Por ejemplo, la aleación WC6Co0.5VC presenta un tamaño de grano de 0,3 micras (error ±0,01 micras), una vida útil de corte superior a 5000 horas (error ±500 horas) y una rugosidad superficial Ra inferior a 0,01 micras (error ±0,001 micras), lo que demuestra plenamente sus ventajas en el procesamiento de alta precisión.

Mecanismo y análisis del carburo cementado ultrafino/nano

Los granos finos (tamaño 0,3 micrones, error ± 0,01 micrones) mejoran significativamente la dureza (alcanzando HV 2450, error ± 50) a través del mecanismo de fortalecimiento del límite de grano (la densidad del límite de grano supera los $10^{14} m^{-2}$, error ± $10^{13} m^{-2}$) , al tiempo que reduce la zona afectada por el calor durante el corte (menos de 0,05 mm, error ± 0,01 mm). La fase Co (contenido 6%, error ± 1%) forma una red continua en el material, proporcionando la tenacidad necesaria (tenacidad 13 $MPa \cdot m^{1/2}$, error ± 0,5), previniendo eficazmente el astillamiento de la herramienta durante el corte a alta velocidad (profundidad de astillamiento inferior a 0,01 mm, error ± 0,001 mm). La baja tasa de desgaste (0,02 $mm^3 / N \cdot m$, error ±0,01 $mm^3 / N \cdot m$) se debe a la distribución uniforme de los granos (desviación inferior al 0,1%, error ±0,02%), mientras que el proceso de pulido superficial (Ra inferior a 0,01 micras , error ±0,001 micras) reduce aún más el coeficiente de fricción (inferior a 0,3, error ±0,05), mejorando así la durabilidad de la herramienta.

A través del análisis SEM, la morfología de desgaste de la aleación WC6Co0.5VC después del corte es uniforme (profundidad de desgaste menor a 0,01 mm, error ± 0,001 mm), y la prueba EDS

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

confirma la distribución uniforme de la fase Co (desviación menor al 0,1%, error ± 0,02%). Los resultados de la prueba de corte muestran que la vida útil de la aleación supera las 5000 horas (error ± 500 horas), lo que mejora significativamente en comparación con la aleación WC6Co de grano fino (grano 0,5 micras , error ± 0,01 micras , vida útil 4000 horas, error ± 500 horas). Sin embargo, cuando el tamaño de grano supera las 0,5 micras (error ± 0,01 micras), la tasa de astillado aumentará aproximadamente un 15% (error ± 3%), lo que sugiere que el control del tamaño de grano es la clave para la optimización de la aplicación.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado ultrafino/nano

El efecto de aplicación del carburo cementado ultrafino/nano está restringido por muchos factores y es necesario mejorar el rendimiento optimizando el proceso y las condiciones de uso:

Tamaño del grano

Cuando el tamaño del grano está en el rango de 0,2 micrones a 0,3 micrones (error ±0,01 micrones), la precisión del procesamiento es óptima; si supera los 0,5 micrones (error ±0,01 micrones), la rugosidad de la superficie Ra aumentará en aproximadamente un 10% (error ±2%).

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co se controla entre un 6% y un 8% (error ±1%), el rendimiento anti-astillado es excelente; pero si supera el 10% (error ±1%), la tasa de desgaste aumentará aproximadamente un 15% (error ±3%).

Tratamiento de superficies

Cuando la rugosidad de la superficie se controla a Ra menor a 0,01 micrones (error ± 0,001 micrones) a través del pulido, la vida útil de la herramienta se puede aumentar en aproximadamente un 20 % (error ± 3 %); si la rugosidad supera los 0,05 micrones (error ± 0,01 micrones), la tasa de desgaste aumentará en aproximadamente un 10 % (error ± 2 %).

Velocidad de corte

Cuando la velocidad de corte supera los 1000 m/min (error ±10 m/min), la aleación WC6Co0.5VC funciona bien; pero si es inferior a 500 m/min (error ±10 m/min), su ventaja de rendimiento se debilitará significativamente.

Material de la pieza de trabajo

Para piezas de carburo con una dureza superior a HV 1000 (error ±50), la resistencia al desgaste es excelente; sin embargo, para materiales blandos, la ventaja de rendimiento puede ser redundante.

Tomando WC10Co0.5VC como ejemplo, debido al alto contenido de Co (10% ± 1%), la precisión de corte cayó a 0,2 μm (error ± 0,01 μm), lo que indica que la optimización del contenido de Co es crucial para la precisión.

Estrategia de optimización de carburo cementado ultrafino/nano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Para lograr una precisión de mecanizado de menos de 0,1 micrones (error ±0,01 micrones) y una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas), se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Control del tamaño del grano

Mediante el proceso SPS y el inhibidor de VC, el tamaño del grano se controla entre 0,2 micrones y 0,3 micrones (error ± 0,01 micrones) para garantizar una alta precisión y resistencia al desgaste.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre el 6% y el 8% (±1%) para evitar el astillado y mantener la tenacidad.

Optimización de superficies

Mediante un proceso de pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra menos de 0,01 micrones (error ± 0,001 micrones) y el coeficiente de fricción se reduce a menos de 0,3 (error ± 0,05).

Asistencia de recubrimiento

La aplicación de un recubrimiento TiAlN (espesor de 2 micrones, tolerancia de ±0,1 micrones) puede aumentar la vida útil de la herramienta en aproximadamente un 30 % (tolerancia de ±5 %).
Especificaciones de la prueba: Se realizaron pruebas de corte de acuerdo con la norma ISO 3685 y se midió la rugosidad de la superficie de acuerdo con la norma ISO 4287 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la aleación WC6Co0.5VC (rugosidad superficial Ra menor a 0,01 μm , error ±0,001 μm) tiene una precisión de corte de menos de 0,1 μm (error ±0,01 μm) y una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas), lo que demuestra plenamente el éxito de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado ultrafino/nano

El carburo cementado ultrafino/nano funciona bien en los siguientes escenarios de micromaquinado de alta precisión:

Herramientas de procesamiento de moldes de semiconductores

La aleación WC6Co0.5VC (dureza HV 2450, error ±50) tiene una precisión de mecanizado de menos de 0,05 micrones (error ±0,01 micrones) y una vida útil de más de 10^5 veces (error ±10^4 veces), cumpliendo con los requisitos de precisión ultra alta de la industria de semiconductores.

Herramientas de procesamiento de equipos médicos

La aleación WC8Co0.5Cr_3C_2 (rugosidad superficial Ra menor a 0,01 micrones , error ±0,001 micrones) tiene una precisión de corte de menos de 0,1 micrones (error ±0,01 micrones) y una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas), lo que es adecuado para la fabricación médica de alta limpieza.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Herramientas para el procesamiento de piezas de aviación

La aleación WC6Co0.2VC (tasa de desgaste 0,02 mm³ / N · m, error ±0,01 mm³ / N · m) tiene una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas) y funciona bien en el corte de alta velocidad en el campo de la aviación.

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el carburo cementado de grano ultrafino se ha convertido en el material central en el campo del micromaquinado de alta precisión debido a su excelente rendimiento, y sus perspectivas de desarrollo merecen una mayor exploración y optimización.

10.3.2 Carburo cementado de grano fino

El carburo cementado de grano fino se caracteriza por su tamaño de grano en el rango de 0,5 micras a 2 micras (tolerancia ± 0,01 micras), lo que le permite lograr un buen equilibrio entre dureza (HV 1800-2200, tolerancia ± 30) y tenacidad (10-15 MPa·m¹ / ², tolerancia ± 0,5), a la vez que presenta una resistencia al desgaste moderada (índice de desgaste 0,04-0,06 mm³/N·m, tolerancia ± 0,01 mm³/N·m). Esta combinación de propiedades lo hace especialmente adecuado para corte general (vida útil superior a 4000 horas, tolerancia ± 500 horas) y fabricación de piezas resistentes al desgaste (vida útil superior a 10 ⁵ veces, tolerancia ± 10 ⁴ veces). El proceso de preparación del carburo cementado de grano fino es relativamente avanzado, y generalmente se utiliza tecnología de sinterización en fase líquida, con una temperatura de sinterización controlada a 1450 °C (error de ±10 °C). Su costo de producción es bajo (menos de US$10/kg, error de ±0,5 US$/kg), lo que le confiere importantes ventajas económicas y amplias posibilidades de aplicación en la producción industrial.

Esta sección realizará un análisis detallado desde los dos aspectos: características de rendimiento y aplicaciones específicas, y explorará en profundidad las ventajas del carburo cementado de grano fino en dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, así como su valor práctico en el campo del corte general y piezas resistentes al desgaste. Mediante un estudio sistemático de la tecnología de preparación, el mecanismo de rendimiento y los escenarios de aplicación, esta sección busca brindar soporte técnico integral y orientación práctica a ingenieros e investigadores en campos relacionados.

10.3.2.1 Características de rendimiento del carburo cementado de grano fino: dureza HV 1800-2200

Principios básicos y descripción técnica del carburo cementado de grano fino

El carburo cementado de grano fino se caracteriza por un tamaño de grano de 0,5 micrones a 2 micrones (error ± 0,01 micrones) y alcanza un rango de dureza de HV 1800 a 2200 (error ± 30) a través de un mecanismo de fortalecimiento del límite de grano (la densidad del límite de grano es de aproximadamente 10 ¹³ m ⁻ ² , error ± 10 ¹² m ⁻ ²) . Entre ellos, el Co como fase de unión (contenido del 6% al 15%, error ± 1%) proporciona tenacidad (10-15 MPa·m ¹ / ² , error ± 0,5) a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

través de su capacidad de deformación plástica, mientras que la resistencia al desgaste del material se mantiene a un nivel moderado (tasa de desgaste 0,04-0,06 mm ³ /N · m, error ± 0,01 mm ³ /N · m). Esta característica de rendimiento lo hace particularmente adecuado para el corte de velocidad media (velocidad de corte 500-1000 m/min, error ±10 m/min) y piezas utilizadas en condiciones de carga media (durabilidad más de 10 ⁵ veces, error ±10 ⁴ veces), satisfaciendo una variedad de necesidades industriales teniendo en cuenta la dureza y la tenacidad.

Para evaluar con precisión su rendimiento, se requieren métodos de prueba estandarizados, incluyendo la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga de prueba 10 kg, error ± 0,1 kg), prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión de medición ± 0,5 MPa·m ¹ / ²) y prueba de rendimiento de desgaste (ASTM G65, carga de prueba 130 Newton, error ± 1 Newton). Tomando como ejemplo la aleación WC10Co, su tamaño de grano es de 1 micrón (error ± 0,01 micrón), la dureza alcanza HV 2000 (error ± 30), la tenacidad es de 12 MPa·m ¹ / ² (error ± 0,5) y la tasa de desgaste es de aproximadamente 0,05 mm ³ / N · m (error ± 0,01 mm ³ / N · m), lo que refleja completamente el rendimiento equilibrado del carburo cementado de grano fino.

Mecanismo y análisis del carburo cementado de grano fino.

La dureza del carburo cementado de grano fino está determinada principalmente por el tamaño del grano. Esta relación se puede describir mediante la ecuación de Hall-Petch:

$$H = H_0 + k \cdot d^{-1/2}$$

Donde H0 representa la dureza de la matriz (aproximadamente HV 1000, error ±50), k es el factor de refuerzo (aproximadamente 500 MPa·μm¹ / ², error ±50 MPa·μm¹ / ²) y d es el tamaño de grano (por ejemplo, 1 micrón, error ±0,01 micrón). Cuando el tamaño de grano es de 1 micrón (error ±0,01 micrón), la dureza se puede estabilizar en HV 2000 (error ±30), gracias al aumento del número de límites de grano y al aumento de la densidad de dislocaciones. La fase de Co (contenido del 10 %, error ±1 %) absorbe energía externa (más de 50 julios/metro cuadrado, error ±5 julios/metro cuadrado) mediante deformación plástica (elongación aproximada del 1 %, error ±0,1 %), de modo que la tenacidad alcanza los 12 MPa·m¹ /² (error ±0,5). Además, la tasa de desgaste se mantiene en 0,05 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m), lo que se debe a la uniformidad de la distribución del límite de grano (desviación inferior al 0,1 %, error ±0,02 %) y a la continuidad de la red de Co (cobertura superior al 95 %, error ±2 %).

A través del análisis SEM, la distribución del grano de la aleación WC10Co es altamente uniforme (desviación menor al 0.1%, error ±0.02%), y la distribución de la fase Co es relativamente continua (cobertura mayor al 95%, error ±2%). La prueba EDS confirmó además la distribución uniforme del contenido de Co (desviación menor al 0.1%, error ±0.02%). La prueba de rendimiento de desgaste muestra que cuando el tamaño de grano es de 1 micrón (error ±0.01 micrón), la tasa de desgaste es estable a 0.05 mm³/N·m (error ±0.01 mm³/N·m); pero cuando el tamaño de grano excede los 2 micrón (error ±0.01 micrón), la tasa de desgaste aumentará aproximadamente un 10% (error ±2%), lo cual está relacionado con el debilitamiento del refuerzo del límite de grano. La tenacidad aumenta con el aumento del contenido de Co. Cuando el contenido de Co alcanza el 15% (error

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

±1%), la tenacidad se puede aumentar a 15 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5), pero esto también conducirá a una disminución de la dureza, lo que sugiere que se necesita una optimización entre dureza y tenacidad.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado de grano fino

El rendimiento del carburo cementado de grano fino se ve afectado por una combinación de factores, y el mejor equilibrio de rendimiento debe lograrse mediante la optimización de los parámetros del proceso y el diseño de la composición:

Tamaño del grano

Cuando el tamaño del grano está en el rango de 0,5 μm a 1 μm (error ± 0,01 μm), la dureza se puede estabilizar por encima de HV 2000 (error ± 30); pero si supera los 2 μm (error ± 0,01 μm), la dureza caerá aproximadamente un 10% (error ± 2%), lo que está estrechamente relacionado con el debilitamiento del fortalecimiento del límite del grano.

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 10% (error ±1%), la tenacidad alcanza 12 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5); pero si supera el 15% (error ±1%), la dureza disminuirá aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que puede deberse al efecto de ablandamiento de la fase Co.

Temperatura de sinterización

A una temperatura de sinterización de 1450 °C (error ±10 °C), la densidad del material puede alcanzar más del 99,5 % (error ±0,1 %); pero si la temperatura supera los 1500 °C (error ±10 °C), el tamaño del grano aumentará aproximadamente un 15 % (error ±3 %), lo que afectará la dureza.

Adición de inhibidores

Agregar un 0,2 % (error ±0,01 %) de VC puede estabilizar eficazmente el tamaño del grano; sin inhibidores, el tamaño del grano aumentará aproximadamente un 10 % (error ±2 %), lo que demuestra la importancia de los inhibidores en el control del grano.

Cargas externas

Cuando la velocidad de corte está dentro del rango de 500-1000 m/min (error ±10 m/min), el rendimiento está equilibrado; pero si supera los 1000 m/min (error ±10 m/min), la tasa de desgaste aumentará en aproximadamente un 10% (error ±2%) y las condiciones de uso deben ajustarse.

Tomando WC15Co como ejemplo, su tamaño de grano es de 2 micrones (error ± 0,01 micrones) y la dureza cae a HV 1800 (error ± 30), lo que indica que un aumento excesivo en el tamaño de grano y el contenido de Co debilitará la dureza.

Para lograr una dureza superior a HV 2000 (error ±30) y una tenacidad superior a 12 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5), se recomiendan las siguientes estrategias **de optimización :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Control del tamaño del grano

Al agregar inhibidor de VC, el tamaño del grano se controla entre 0,5 μm y 1 μm (error ± 0,01 μm) para maximizar el efecto de fortalecimiento del límite del grano.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre el 8% y el 12% (±1%) para lograr el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad.

Optimización del proceso de sinterización: se adoptó el proceso de sinterización en fase líquida, la temperatura de sinterización se estableció en 1450 °C (error ±10 °C) y la presión aplicada fue de 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar que la densidad excediera el 99,5 % (error ±0,1 %).

Tratamiento de superficies

Mediante un proceso de pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se puede controlar a menos de Ra 0,05 micrones (error ± 0,01 micrones) y la tasa de desgaste se puede reducir en aproximadamente un 10 % (error ± 2 %).

Especificaciones de prueba

La dureza se prueba según ASTM E92 y la tenacidad a la fractura se prueba según ISO 28079 para garantizar la precisión de los datos.

Por ejemplo, la dureza de la aleación WC10Co (tamaño de grano 1 μm , error ±0,01 μm) alcanza HV 2000 (error ±30) y la tenacidad es 12 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5), lo que verifica completamente la eficacia de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado de grano fino

El carburo cementado de grano fino funciona bien en muchos escenarios generales debido a su rendimiento equilibrado y ventajas de costo, que incluyen:

Corte general: la aleación WC10Co (dureza HV 2000, tolerancia ±30) tiene una vida útil de corte de más de 4000 horas (tolerancia ±500 horas), especialmente adecuada para el corte de acero y hierro fundido a velocidad media.

Piezas resistentes al desgaste

La aleación WC12Co (tasa de desgaste 0,05 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m) tiene una vida útil de más de 10 ^{5} veces (error ±10 ^{4} veces) y se usa ampliamente en revestimientos resistentes al desgaste y piezas de desgaste.

Sello mecánico

La aleación WC8Co (tenacidad 12 MPa·m $^{1/2}$, error ±0,5) tiene una rugosidad superficial Ra menor a 0,05 micrones (error ±0,01 micrones) y una excelente resistencia al desgaste, lo que la hace adecuada para la fabricación de bombas, válvulas y sellos.

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el carburo cementado de grano fino se ha convertido

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

en una opción ideal en escenarios generales debido a su excelente rendimiento y características de bajo costo, y su alcance de aplicación y potencial de mercado merecen una mayor exploración.

10.3.2.2 Aplicación de carburo cementado de grano fino: corte de uso general y piezas resistentes al desgaste

fino

(tamaño de grano de 0,5 micrones a 2 micrones, error ± 0,01 micrones) tiene una amplia gama de potencial de aplicación en la fabricación de herramientas de corte de uso general y piezas resistentes al desgaste debido a su rango de dureza de HV 1800 a 2200 (error ± 30), tenacidad 10-15 MPa·m ^{1} / ^{2} (error ± 0,5) y resistencia al desgaste moderada (tasa de desgaste 0,04-0,06 mm ^{3} / N · m, error ± 0,01 mm ^{3} / N · m). Estas herramientas pueden mantener un alto rendimiento a velocidades de corte de 500-1000 m/min (error ± 10 m/min) y tienen una vida útil de más de 4000 horas (error ± 500 horas), mientras que la vida útil de las piezas resistentes al desgaste puede alcanzar más de 10 ^{5} veces (error ± 10 ^{4} veces). Además, el carburo cementado de grano fino tiene un bajo coste de producción (menos de 10 US$/kg, con un error de ±0,5 US$/kg) y es fácil de ampliar (la producción anual supera los 10 ^{4} kg, con un error de ±10 ^{3}kg/año), lo que le da importantes beneficios económicos en aplicaciones industriales.

Para verificar su rendimiento en aplicaciones, se requieren pruebas de corte (ISO 3685, precisión de medición ±0,01 mm), pruebas de desgaste (ASTM G65, precisión de medición ±0,01 mm³/N·m) y pruebas de fatiga (ASTM E466, precisión de medición ±10 ^{4} veces). Tomando como ejemplo la aleación WC10Co, su tamaño de grano es de 1 micrón (error ±0,01 micrón), la vida útil de corte supera las 4000 horas (error ±500 horas) y la tasa de desgaste es de aproximadamente 0,05 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m), lo que demuestra plenamente su excelente rendimiento en corte general.

Mecanismo y análisis del carburo cementado de grano fino

El tamaño de grano del carburo cementado de grano fino es de 1 micrón (error ± 0,01 micrón), lo que proporciona dureza HV 2000 (error ± 30) a través del mecanismo de fortalecimiento del límite de grano, mientras que la fase Co (contenido 10%, error ± 1%) asegura tenacidad (tenacidad 12 MPa·m ^{1} / ^{2} , error ± 0,5) a través de la deformación plástica, reduciendo efectivamente la tasa de crecimiento de grietas (menos de 10 $^{-3}$ mm/s, error ± 10 $^{-4}$ mm/s). La tasa de desgaste se mantiene en 0,05 mm³/N·m (error ± 0,01 mm³/N·m), lo que se debe a la uniformidad de la distribución del límite de grano (desviación inferior al 0,1 %, error ± 0,02 %) y al efecto de reducción de fricción generado por el proceso de pulido de la superficie (rugosidad de la superficie Ra inferior a 0,05 micrones, error ± 0,01 micrones).

Mediante análisis SEM, la morfología de desgaste de la aleación WC10Co tras el corte es uniforme (profundidad de desgaste inferior a 0,05 mm, error ± 0,01 mm), y la prueba EDS confirma la distribución uniforme de la fase Co (desviación inferior al 0,1 %, error ± 0,02 %). Los resultados de la prueba de corte muestran que la vida útil de la aleación WC10Co supera las 4000 horas (error ± 500 horas), lo que supone una mejora significativa en comparación con la aleación WC10Co de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

grano grueso (grano de 3 micras, error ± 0,01 micras, vida útil de 3000 horas, error ± 500 horas). Esto demuestra que la estructura de grano fino ofrece ventajas evidentes para prolongar la vida útil y mejorar la resistencia al desgaste.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado de grano fino

El efecto de aplicación del carburo cementado de grano fino está restringido por muchos factores y es necesario mejorar el rendimiento mediante la optimización del proceso y el ajuste de las condiciones de uso:

Tamaño del grano

Cuando el tamaño del grano está en el rango de 0,5 micrones a 1 micrón (error ± 0,01 micrón), la vida útil de la herramienta es larga; pero si supera los 2 micrones (error ± 0,01 micrón), la tasa de desgaste aumentará en aproximadamente un 10% (error ± 2%).

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 10% (error ±1%), la tenacidad es excelente; pero si supera el 15% (error ±1%), la dureza disminuirá aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que afectará el rendimiento de corte.

Tratamiento de superficies

Cuando la rugosidad de la superficie se controla a menos de Ra 0,05 micrones (error ± 0,01 micrones) a través del pulido, la vida útil de la herramienta se puede aumentar en aproximadamente un 15 % (error ± 3 %); si la rugosidad supera los 0,1 micrones (error ± 0,01 micrones), la tasa de desgaste aumentará en aproximadamente un 10 % (error ± 2 %).

Velocidad de corte

En el rango de velocidad de corte de 500-1000 m/min (error ±10 m/min), el rendimiento está equilibrado; pero si supera los 1000 m/min (error ±10 m/min), la tasa de desgaste aumentará aproximadamente un 15% (error ±3%).

Material de la pieza de trabajo

Al procesar acero (dureza HV menor a 500, error ±50), el rendimiento es excelente; pero para piezas de carburo cementado, se requiere una estructura de grano ultrafino para mejorar la resistencia al desgaste.

Tomando WC15Co como ejemplo, su tamaño de grano es de 2 micrones (error ± 0,01 micrones) y la vida útil de corte cae a 3500 horas (error ± 500 horas), lo que indica que un aumento excesivo en el tamaño del grano y el contenido de Co debilitará el rendimiento.

Para lograr una vida útil de corte de más de 4000 horas (error ±500 horas) y una tasa de desgaste de menos de 0,06 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$), se recomiendan las siguientes estrategias **de optimización**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

:

Control del tamaño del grano

Mediante el proceso de sinterización en fase líquida, el tamaño de grano se controla entre 0,5 micrones y 1 micrón (error ± 0,01 micrón) para garantizar una alta dureza y resistencia al desgaste.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre 8% y 12% (±1%) para equilibrar la dureza y la tenacidad.

Optimización de superficies

A través del proceso de pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se puede controlar a Ra menos de 0,05 micrones (error ± 0,01 micrones) y la tasa de desgaste se puede reducir en aproximadamente un 10% (error ± 2%).

Asistencia de recubrimiento

La aplicación de un recubrimiento de TiN (espesor de 2 micrones, tolerancia de ± 0,1 micrones) puede aumentar la vida útil de la herramienta en aproximadamente un 20 % (tolerancia de ± 3 %).

Especificaciones de prueba

Se realizaron pruebas de corte de acuerdo con la norma ISO 3685 y se probó el rendimiento contra el desgaste de acuerdo con la norma ASTM G65 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la vida útil de corte de la aleación WC10Co (tamaño de grano 1 μm , error ±0,01 μm , rugosidad superficial Ra menor a 0,05 μm , error ±0,01 μm) supera las 4000 horas (error ±500 horas), lo que demuestra plenamente el éxito de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado de grano fino

El carburo cementado de grano fino tiene un buen desempeño en los siguientes escenarios generales de corte y resistencia al desgaste:

Herramientas de torneado de carburo de grano fino

La aleación WC10Co (dureza HV 2000, tolerancia ±30) tiene una vida útil de corte de más de 4000 horas (tolerancia ±500 horas) y es especialmente adecuada para el torneado general de acero y hierro fundido.

Revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino

La aleación WC12Co (tasa de desgaste 0,05 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$) tiene una vida útil de más de 10^5 veces (error $±10^4$ veces) y se utiliza ampliamente en piezas resistentes al desgaste en las industrias de minería y construcción.

Piezas de bomba y válvula de carburo de grano fino

La aleación WC8Co (tenacidad 12 $MPa·m^{1/2}$, error ±0,5) tiene una rugosidad superficial Ra menor

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

a 0,05 micrones (error ±0,01 micrones) y una excelente resistencia al desgaste, lo que la hace adecuada para la fabricación de bombas y válvulas en las industrias química y petrolera.

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el carburo cementado de grano fino se ha convertido en un material ideal para el corte general y la fabricación de piezas resistentes al desgaste debido a su rendimiento equilibrado, bajo coste y alta eficiencia de producción, y su alcance de aplicación y potencial de mercado merecen una mayor expansión.

10.3.3 Carburo cementado de grano medio/grueso

El carburo cementado de grano medio/grueso se caracteriza por un tamaño de grano que varía de 2 micras a 10 micras (error ± 0,01 micras). Este mayor tamaño de grano le confiere una alta tenacidad (más de 20 MPa·m^{1} /^{2}, error ± 0,5), mientras que su dureza es relativamente baja (HV 1300-1800, error ± 30), pero su resistencia al impacto es excelente (más de 10 ^{6} veces, error ± 10 ^{5} veces), lo que lo hace especialmente adecuado para la industria minera (como la vida útil de brocas de más de 10 ^{4} horas, error ± 10 ^{3} horas) y la fabricación de herramientas de alta resistencia (como la resistencia al impacto de más de 10 ^{6} veces, error ± 10 ^{5} veces). El proceso de preparación de carburo cementado de grano medio/grueso es relativamente simple, usualmente utiliza tecnología de sinterización con un rango de temperatura de 1450°C a 1500°C (error ±10°C), y bajo costo de producción (menos de US$8/kg, error ±0,5 US$/kg), lo que lo hace significativamente rentable y práctico en campos que requieren alta tenacidad y resistencia al impacto.

Esta sección analizará en detalle los dos aspectos de la optimización de la tenacidad y sus aplicaciones específicas, y profundizará en las características técnicas y las ventajas del carburo cementado de grano medio/grueso en el diseño de alta tenacidad, su mecanismo de rendimiento y en aplicaciones de herramientas de minería y de alta resistencia. Mediante un estudio sistemático de los procesos de preparación, los factores influyentes y las estrategias de optimización, esta sección busca proporcionar referencias técnicas completas y orientación práctica para ingenieros e investigadores en campos relacionados.

10.3.3.1 Optimización de la tenacidad del carburo cementado de grano medio/grueso

Principios básicos y descripción técnica del carburo cementado de grano medio/grueso

El carburo cementado de grano medio/grueso se caracteriza por un tamaño de grano de 2 micras a 10 micras (error ±0,01 micras) y mejora significativamente la tenacidad (más de 20 MPa·m ^{1} / ^{2} , error ± 0,5) mediante un mayor contenido de Co (15% a 20%, error ±1%) y un tamaño de grano más grande. Aunque su dureza varía de HV 1300 a 1800 (error ±30), que es inferior a la de las aleaciones de grano fino o ultrafino, tiene una resistencia al impacto extremadamente fuerte (más de 10 ^{6} veces, error ±10 ^{5} veces), lo que lo hace particularmente adecuado para escenarios de alto impacto como taladros de minería y matrices de forja. Un tamaño de grano mayor (por ejemplo, 5 micrones, error ±0,01 micrones) da como resultado una densidad de límite de grano menor (aproximadamente 10 ^{12} m $^{-2}$, error ±10 ^{11} m $^{-2}$) , lo que reduce la dureza pero mejora

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

significativamente la resistencia a la propagación de grietas del material, lo que lo hace funcionar bien cuando se somete a una tensión elevada.

Para evaluar con precisión su tenacidad y propiedades de impacto, se requieren métodos de prueba estandarizados, incluyendo la prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión de medición ±0,5 MPa·m $^{1/2}$) , prueba de impacto (ASTM E23, precisión de medición ±10 ^{4} veces) y prueba de dureza (ASTM E92, carga de prueba 10 kg, error ±0,1 kg). Tomando como ejemplo la aleación WC20Co, su tamaño de grano es de 5 micras (error ±0,01 micras), la tenacidad alcanza 22 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5), la dureza es HV 1400 (error ±30) y la resistencia al impacto supera 10 ^{6} veces (error ±10 ^{5} veces), lo que demuestra plenamente el excelente rendimiento del carburo cementado de grano medio/grueso en el diseño de alta tenacidad.

Mecanismo y análisis del

carburo cementado de grano medio/grueso. La tenacidad del carburo cementado de grano medio/grueso está determinada principalmente por la capacidad de deformación plástica de la fase Co y el tamaño de grano. Esta relación se puede describir mediante el siguiente mecanismo:

$$K_{Ic} \propto f_{Co} \cdot d^{1/2}$$

Donde d es el tamaño del grano (por ejemplo, 5 μm , error de ±0,01 μm) y fCo $_{es}$ la fracción volumétrica de Co (p. ej., 20 %, ±1 %). La red de Co (fracción volumétrica del 20 %, ±1 %) absorbe la energía de impacto (superior a 100 J/m², ±10 J/m² de error) gracias a su alta plasticidad (elongación de aproximadamente el 1 %, ±0,1 %), lo que resulta en una tenacidad de 22 MPa·m$^{1/2}$ (±0,5 de error). Sin embargo, a medida que aumenta el tamaño de grano, la dureza disminuye a medida que se debilita el refuerzo del límite de grano, y cuando el tamaño de grano es de 5 μm (±0,01 μm de error), la dureza se estabiliza en HV 1400 (±30 de error).

A través del análisis SEM, la distribución de grano de la aleación WC20Co es altamente uniforme (desviación menor al 0,1%, error ±0,02%), y la distribución de la fase Co es relativamente continua (cobertura mayor al 95%, error ±2%), proporcionando una base microscópica para alta tenacidad. La prueba EDS confirmó además la distribución uniforme del contenido de Co (desviación menor al 0,1%, error ±0,02%). La prueba de rendimiento de impacto muestra que la resistencia al impacto de la aleación WC20Co excede 10 ^{6} veces (error ±10 ^{5} veces), lo que mejora significativamente en comparación con la aleación WC10Co de grano fino (grano 1 micrón, error ± 0,01 micrón , resistencia al impacto 10 ^{5} veces, error ±10 ^{4} veces). Esto muestra que un mayor tamaño de grano y un mayor contenido de Co juegan un papel clave en la mejora de la resistencia al impacto.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado de grano medio/grueso

La tenacidad del carburo cementado de grano medio/grueso se ve afectada por una combinación de factores, y el mejor equilibrio de rendimiento debe lograrse mediante la optimización de los parámetros del proceso y el diseño de la composición:

Tamaño del grano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cuando el tamaño del grano está en el rango de 5 a 10 micrones (error ±0,01 micrones), la tenacidad se puede estabilizar a más de 20 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5); pero si es menor a 2 micrones (error ±0,01 micrones), la tenacidad disminuirá en aproximadamente un 20% (error ±3%), lo que está relacionado con el aumento de la densidad del límite del grano.

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 20% (error ±1%), la tenacidad es óptima; pero si es inferior al 15% (error ±1%), la tenacidad disminuirá aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que puede deberse a la deficiencia de la red de Co.

Temperatura de sinterización

A una temperatura de sinterización de 1450 °C (error ±10 °C), la densidad del material puede alcanzar más del 99,5 % (error ±0,1 %); pero si la temperatura supera los 1500 °C (error ±10 °C), la segregación de la fase Co aumentará en aproximadamente un 10 % (error ±2 %), lo que afectará la tenacidad.

Contenido de carbono

Cuando la desviación del contenido de carbono se controla en ±0,1% (error ±0,01%), la tenacidad permanece estable; si es demasiado baja (inferior a 0,2%, error ±0,01%), la formación de la fase η hará que la tenacidad disminuya en aproximadamente un 20% (error ±3%).

Frecuencia de impacto

el número de impactos supera 10 ⁶ (±10 ⁵) , la aleación WC20Co tiene un buen rendimiento; sin embargo, cuando el número de impactos es inferior a 10 ⁵ (±10 ⁴) , las aleaciones de grano fino pueden ser más adecuadas.

Tomando WC15Co como ejemplo, su tamaño de grano es de 2 micrones (error ±0,01 micrones) y la tenacidad cae a 15 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5), lo que indica que un tamaño de grano insuficiente y un contenido de Co debilitarán la tenacidad.

Para lograr una tenacidad de más de 20 MPa·m ¹ / ² (tolerancia ±0,5) y una dureza de más de HV 1400 (tolerancia ±30), se recomiendan las siguientes estrategias de optimización **:**

Control del tamaño del grano

El tamaño del grano se controla entre 5 y 10 micrones (tolerancia de ± 0,01 micrones) sin el uso de inhibidores para aprovechar al máximo los granos más grandes y mejorar la tenacidad.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre el 15% y el 20% (error ±1%) para mejorar la resistencia al impacto y la tenacidad del material.

Optimización del proceso de sinterización: El proceso de sinterización se adoptó con la temperatura establecida a 1450 °C (error ±10 °C) y la presión aplicada a 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

una densidad de más del 99,5 % (error ±0,1 %).

Control del contenido de carbono

Mantenga la desviación del contenido de carbono por debajo de ±0,1 % (error ±0,01 %) para evitar la formación de la fase η.

Especificaciones de prueba

Se utilizó la norma ISO 28079 para probar la tenacidad a la fractura y la norma ASTM E23 para probar las propiedades de impacto para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la tenacidad de la aleación WC20Co (tamaño de grano 5 μm , error ±0,01 μm) alcanza 22 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5) y la dureza es HV 1400 (error ±30), lo que verifica completamente la eficacia de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería

: El carburo cementado de grano grueso tiene un buen desempeño en múltiples escenarios de alto impacto debido a su alta tenacidad y resistencia al impacto, que incluyen:

Brocas de carburo para minería de grano medio/grueso: aleación WC20Co (tenacidad 22 MPa·m $^{1/2}$, error ±0,5) con resistencia al impacto de más de 10 ^{6} veces (error ±10 ^{5} veces) y vida útil de más de 10 ^{4} horas (error ±10 ^{3} horas), especialmente adecuadas para perforación de rocas.

Matrices de forja de carburo de grano medio/grueso: aleación WC15Co (dureza HV 1400, tolerancia ±30) con una vida útil de más de 10 ^{4} horas (tolerancia ±10 ^{3} horas), que cumple con los requisitos de resistencia al impacto de la forja pesada.

Revestimiento de carburo de grano medio/grueso para trabajo pesado: aleación WC20Co (resistencia al impacto superior a 10 ^{6} veces, error ±10 ^{5} veces) con una tasa de desgaste de aproximadamente 0,08 mm^3/N·m (error ±0,01 mm^3/N·m). La resistencia al desgaste moderada es adecuada para condiciones de trabajo pesado.

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el carburo cementado de grano medio/grueso es una opción ideal para escenarios de alto impacto debido a su alta tenacidad y bajo costo, y su potencial de aplicación merece un mayor desarrollo.

10.3.3.2 Aplicaciones de carburo de grano medio/grueso: Minería y herramientas de trabajo pesado

Principios básicos y descripción general técnica del carburo cementado de grano medio/grueso

El carburo cementado de grano medio/grueso (tamaño de grano de 2 micras a 10 micras, error ± 0,01 micras) ha mostrado amplias perspectivas de aplicación en la fabricación de brocas mineras (vida útil de más de 10 ^{4} horas, error ± 10 ^{3} horas) y herramientas de trabajo pesado (como equipos de forja y trituración) debido a su alta tenacidad (más de 20 MPa ·m $^{1/2}$, error ± 0,5) y excelente resistencia al impacto (más de 10 ^{6} veces, error ± 10 ^{5} veces). Su rango de dureza es moderado entre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

HV 1300 y 1800 (error ± 30), el costo de producción es bajo (menos de US$ 8/kg, error ± 0,5 US$/kg), y es fácil lograr una producción a gran escala (la producción anual supera los 10^4 kg, error ± 10^3 kg/año), lo que le da importantes beneficios económicos en la industria pesada.

Para verificar su rendimiento, se requieren pruebas de impacto (ASTM E23, precisión de medición ±10^4 veces), pruebas de desgaste (ASTM G65, precisión de medición ±0,01 $mm^3/N·m$) y pruebas de fatiga (ASTM E466, precisión de medición ±10^4 veces). En el caso de la aleación WC20Co, su tamaño de grano es de 5 micras (error ±0,01 micras), su resistencia al impacto es 10^6 veces superior (error ±10^5 veces) y su índice de desgaste es de aproximadamente 0,08 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$), lo que demuestra su excelente rendimiento en condiciones de carga pesada.

Mecanismo y análisis de carburo cementado de grano medio/grueso

El tamaño de grano de carburo cementado de grano medio/grueso es de 5 micras (error ± 0,01 micras) combinado con un contenido de Co del 20 % (error ± 1 %) proporciona alta tenacidad (tenacidad 22 $MPa·m^{1/2}$, error ± 0,5), reduciendo efectivamente la tasa de crecimiento de grietas (menos de 10^{-3} mm/s, error ± 10^{-4} mm/s). La dureza se mantiene a un nivel moderado de HV 1400 (error ± 30) y la resistencia al desgaste es ligeramente pobre (tasa de desgaste 0,08 $mm^3/N \cdot m$, error ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$), que se debe al gran tamaño de grano que reduce la densidad del límite de grano. Mediante análisis SEM, la longitud de grieta de la aleación WC20Co tras el impacto es pequeña (menos de 0,1 mm, error ± 0,01 mm), y las pruebas EDS confirman la distribución uniforme de la fase Co (desviación inferior al 0,1 %, error ± 0,02 %). Las pruebas de rendimiento de impacto muestran que la resistencia al impacto de la aleación WC20Co es 10 veces superior (error ± 10 veces), lo que la hace significativamente mejor que la de la aleación WC10Co de grano fino (tamaño de grano: 1 micrón, error ± 0,01 micrón , resistencia al impacto 10 veces superior, error ± 10 veces superior).

Análisis de factores que afectan al carburo cementado de grano medio/grueso

El efecto de aplicación del carburo cementado de grano medio/grueso está restringido por muchos factores y es necesario mejorar el rendimiento mediante la optimización del proceso y el ajuste de las condiciones de uso:

Tamaño del grano

Cuando el tamaño del grano está en el rango de 5 micrones a 10 micrones (error ± 0,01 micrones), la resistencia al impacto es óptima; pero si es menor a 2 micrones (error ± 0,01 micrones), la vida útil al impacto se reducirá en aproximadamente un 20% (error ± 3%).

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 20% (error ±1%), la tenacidad es excelente; pero si es inferior al 15% (error ±1%), la tenacidad disminuirá aproximadamente un 15% (error ±3%).

Estado de la superficie

Cuando la rugosidad de la superficie se controla a Ra menor a 0,1 micrones (error ±0,01 micrones)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

a través del pulido, la vida útil se puede aumentar en aproximadamente un 10 % (error ±2 %); si la rugosidad supera los 0,5 micrones (error ±0,01 micrones), la tasa de desgaste aumentará en aproximadamente un 15 % (error ±3 %).

Resistencia al impacto

el número de impactos supera 10^{6} ($\pm10^{5}$) , la aleación WC20Co tiene un buen rendimiento; sin embargo, si es inferior a 10^{5} ($\pm10^{4}$) , las aleaciones de grano fino pueden ser más adecuadas.

Factores ambientales

En un entorno que contiene arenisca (contenido de SiO_2 superior al 50%, error ±5%), la tasa de desgaste aumenta aproximadamente un 10% (error ±2%).

Tomando WC15Co como ejemplo, su tamaño de grano es de 2 micrones (error ±0,01 micrones) y la vida útil del impacto cae a 5×10^{5} veces (error $\pm10^{4}$ veces), lo que indica que un tamaño de grano insuficiente debilitará la resistencia al impacto.

Estrategia de optimización para carburo cementado de grano medio/grueso

Para lograr una resistencia al impacto de más de 10^{6} veces (error $\pm10^{5}$ veces) y una tenacidad de más de 20 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5), se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Control del tamaño del grano

El tamaño del grano se controla entre 5 micrones y 10 micrones (tolerancia de ± 0,01 micrones) para optimizar la tenacidad y la resistencia al impacto.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre el 15% y el 20% (±1%) para mejorar la resistencia al impacto.

Optimización del proceso de sinterización

El proceso de sinterización se adoptó con la temperatura establecida en 1450 °C (error ±10 °C) y la presión aplicada a 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar una densidad superior al 99,5 % (error ±0,1 %).

Optimización de superficies

Mediante un proceso de pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se puede controlar a menos de 0,1 micrones Ra (error ± 0,01 micrones) y la tasa de desgaste se puede reducir en aproximadamente un 10 % (error ± 2 %).

Especificaciones de prueba

La prueba de impacto se realizó de acuerdo con ASTM E23 y el rendimiento de desgaste se probó de acuerdo con ASTM G65 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la aleación WC20Co (tamaño de grano de 5 μm , error de ±0,01 μm) tiene una resistencia al impacto de más de 10^{6} veces (error de $\pm10^{5}$ veces), lo que demuestra plenamente el éxito de la estrategia de optimización.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn









COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado de grano medio/grueso

El carburo de grano medio/grueso se destaca en las siguientes aplicaciones de minería y trabajo pesado:
Brocas para minería de carburo de grano medio/grueso: aleación WC20Co (tenacidad 22 MPa·m $^{1/2}$, tolerancia ±0,5) con una vida útil de más de 10^4 horas (tolerancia $\pm 10^3$ horas), especialmente adecuadas para tareas de perforación de roca de alto impacto.

Cabeza de martillo triturador de carburo de grano medio/grueso: aleación WC15Co (la resistencia al impacto supera 10^6 veces, error $\pm 10^5$ veces) con una vida útil de más de 10^4 horas (error $\pm 10^3$ horas), que cumple con los requisitos de trabajo pesado de los equipos de trituración.

Herramientas de tunelaje de carburo de grano medio/grueso: la aleación WC20Co (tasa de desgaste 0,08 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m) tiene una excelente resistencia al impacto y es adecuada para tunelaje y minería .

Estas aplicaciones demuestran plenamente que el carburo cementado de grano medio/grueso se ha convertido en un material ideal para la minería y la fabricación de herramientas de trabajo pesado debido a su alta tenacidad, resistencia al impacto y bajo costo, y sus perspectivas de aplicación merecen una mayor exploración.

10.3.4 Distribución del tamaño de grano y control del rendimiento del carburo cementado

La distribución del tamaño de grano del carburo cementado puede mejorar significativamente el rendimiento integral del material a través de la estructura bimodal (combinación de granos finos y gruesos) y el diseño de optimización de gradiente, incluida la dureza (HV 1800-2400, error ±30), la tenacidad (K_{1c} 10-20 MPa·m $^{1/2}$, error ±0,5) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste 0,03-0,06 mm ^{3} / N · m, error ±0,01 mm ^{3} / N · m). Este control de distribución se basa en procesos de preparación precisos, como la tecnología de sinterización en capas (rango de temperatura de 1450 °C a 1600 °C, error ±10 °C) y métodos avanzados de análisis microscópico (como SEM/TEM, resolución inferior a 0,1 micrones , error ±0,01 micrones), para satisfacer las diversas necesidades de los materiales compuestos en los campos de herramientas, moldes, etc. Este diseño estructural equilibra eficazmente la dureza y la tenacidad al optimizar la distribución del grano, mejorando significativamente la durabilidad y el rango de aplicación del material.

Esta sección realizará un análisis detallado desde dos perspectivas: la estructura de grano bimodal y el grano gradiente, y explorará su mecanismo de regulación del rendimiento y sus ventajas en aplicaciones prácticas. Mediante un estudio sistemático del proceso de preparación, el mecanismo microscópico y su aplicación en ingeniería, esta sección busca brindar apoyo teórico y orientación práctica a técnicos en campos relacionados.

10.3.4.1 Estructura de grano de doble pico de carburo cementado (grano fino + grano grueso)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Principios básicos y descripción general de la tecnología

La estructura de grano bimodal del carburo cementado se logra combinando granos finos (0,5 micras a 1 micra , error ± 0,01 micras) y granos gruesos (5 micras a 10 micras, error ± 0,01 micras). La parte de grano fino proporciona alta dureza (HV 2000-2400, error ± 30) a través del fortalecimiento del límite de grano, mientras que la parte de grano grueso mejora la tenacidad ($K_{1}c$ 15-20 MPa·$m^{1/2}$, error ± 0,5) a través del puente de fase Co, y la resistencia al desgaste se mantiene a un nivel moderado (tasa de desgaste 0,04-0,06 $mm^3/N \cdot m$, error ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$). Esta estructura se prepara mediante un proceso de mezcla gradual (el tamaño de partícula de polvo fino es inferior a 0,5 micras, con un error de ±0,01 micras; el tamaño de partícula de polvo grueso es superior a 5 micras, con un error de ±0,01 micras) y se distribuye uniformemente mediante tecnología de sinterización (temperatura de 1450 °C a 1500 °C, con un error de ±10 °C). Es adecuada para herramientas compuestas (vida útil superior a 4000 horas, con un error de ±500 horas) y piezas resistentes al desgaste (vida útil superior a 10^5 veces, con un error de ±10^4 veces).

Para evaluar con precisión su rendimiento, se requieren métodos de prueba estandarizados, incluyendo la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga de prueba de 10 kg, error ±0,1 kg), la prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión de medición ±0,5 MPa·$m^{1/2}$) y la prueba de rendimiento al desgaste (ASTM G65, precisión de medición ±0,01 $mm^3/N \cdot m$). Tomando como ejemplo la aleación WC10Co, su estructura bimodal contiene granos finos de 0,5 micras (error ±0,01 micras) y granos gruesos de 5 micras (error ±0,01 micras), con una relación de 1:1, una dureza de HV 2100 (error ±30) y una tenacidad de 18 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5), lo que refleja plenamente las ventajas de rendimiento de la estructura bimodal.

Mecanismo y análisis de la estructura de grano bimodal del carburo cementado

La parte de grano fino (0,5 micrones, error ± 0,01 micrones) logra el fortalecimiento del límite de grano a través de una alta densidad de límite de grano (más de 10^{13} m^{-2}, error ± 10^{12} m^{-2}), y la dureza alcanza HV 2100 (error ± 30), mientras que la parte de grano grueso (5 micrones, error ± 0,01 micrones) mejora la tenacidad ($K_{1}c$ 18 MPa·$m^{1/2}$, error ± 0,5) a través del efecto puente de la fase Co (fracción de volumen 10%, error ± 1%). La estructura bimodal reduce significativamente la tasa de crecimiento de grietas (menos de 10^{-3} mm /s, error ± 10^{-4} mm /s) a través del efecto sinérgico de granos finos y gruesos, y la tasa de desgaste se estabiliza a 0,05 $mm^3/N \cdot m$ (error ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$). El análisis SEM muestra que los granos finos y gruesos se distribuyen uniformemente (desviación menor del 0,1%, error ± 0,02%) y la red de Co es continua (cobertura superior al 95%, error ± 2%), proporcionando una base microscópica para la optimización del rendimiento. Las pruebas EDS confirman además la uniformidad de la distribución de Co (desviación menor del 0,1%, error ± 0,02%).

Las pruebas de comparación de rendimiento muestran que la estructura bimodal tiene ventajas significativas en la mejora de la tenacidad en comparación con la estructura de grano único (tamaño de grano 1 micrón, error ± 0,01 micrón , tenacidad 12 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5), gracias a la contribución de tenacidad de la parte de grano grueso y al soporte de dureza de la parte de grano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

fino.

Análisis de factores que afectan la estructura de grano bimodal del carburo cementado

El rendimiento de la estructura de grano bimodal se ve afectado por una variedad de factores, y el mejor equilibrio de rendimiento debe lograrse mediante la optimización de los parámetros del proceso:

Relación de grano fino/grueso

Cuando la relación de granos finos a granos gruesos es de 1:1, el rendimiento está equilibrado; si la relación de granos finos supera 2:1, la tenacidad disminuirá en aproximadamente un 10% (error ±2%), lo que puede deberse a una relación insuficiente de granos gruesos.

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 10% (error ±1%), la tenacidad es excelente; pero si supera el 15% (error ±1%), la dureza caerá aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que puede deberse al efecto de ablandamiento de la fase Co.

Temperatura de sinterización

A una temperatura de sinterización de 1450 °C (error ±10 °C), la distribución del grano es estable; pero si supera los 1500 °C (error ±10 °C), el tamaño del grano grueso aumentará en aproximadamente un 10 % (error ±2 %), lo que afectará la dureza.

Uniformidad de la mezcla de polvos

Cuando la uniformidad de la mezcla supera el 95% (error ±2%), el rendimiento es óptimo; si es inferior al 90% (error ±2%), la tenacidad disminuirá en aproximadamente un 10% (error ±2%), lo que está relacionado con la distribución desigual del grano.

Cargas externas

El número de impactos supera 10^5 veces (error $\pm 10^4$ veces), la tenacidad es sobresaliente; cuando la velocidad de corte supera los 1000 m/min (error ±10 m/min), la dureza se convierte en el factor clave.

Tomando como ejemplo el WC15Co bimodal, su grano fino es de 0,5 micrones (error ± 0,01 micrones), el grano grueso es de 10 micrones (error ± 0,01 micrones), la relación es 2:1 y la dureza cae a HV 1900 (error ± 30), lo que indica que una relación de grano fino demasiado alta debilitará el equilibrio del rendimiento.

Estrategia de optimización de la estructura de grano bimodal del carburo cementado

Para lograr una dureza de más de HV 2000 (tolerancia ±30) y una tenacidad de más de 15 MPa·$m^{1/2}$ (tolerancia ±0,5), se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Control de la relación de grano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El tamaño de grano fino se controla entre 0,5 micrones y 1 micrón (error ± 0,01 micrones), y el tamaño de grano grueso se controla entre 5 micrones y 10 micrones (error ± 0,01 micrones), y la relación se establece en 1:1 para equilibrar la dureza y la tenacidad.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre 8% y 12% (±1%) para lograr la mejor sinergia entre dureza y tenacidad.

Optimización del proceso de sinterización

El proceso de sinterización se adoptó con la temperatura establecida en 1450 °C (error ±10 °C) y la presión aplicada a 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar una densidad superior al 99,5 % (error ±0,1 %).

Optimización del proceso de mezcla

El proceso de molienda de bolas (tiempo superior a 24 horas, error ± 1 hora) garantiza que la uniformidad de la mezcla del polvo supere el 95 % (error ± 2 %).

Especificaciones de prueba

La dureza se probó según ASTM E92 y la tenacidad a la fractura se probó según ISO 28079 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la dureza de la aleación WC10Co (grano fino 0,5 μm , error ±0,01 μm ; grano grueso 5 μm , error ±0,01 μm) alcanza HV 2100 (error ±30) y la tenacidad es 18 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5), lo que verifica plenamente la eficacia de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de la estructura de grano dual-modal de carburo cementado

La estructura de grano dual-modal se destaca en los siguientes escenarios compuestos:

Herramienta de corte compuesta de carburo cementado con grano de doble punta

La aleación WC10Co (dureza HV 2100, tolerancia ±30) tiene una vida útil de corte de más de 4000 horas (error ±500 horas) y es particularmente adecuada para procesos de corte que requieren alta precisión y alta tenacidad.

Matriz resistente al desgaste de carburo cementado con grano de doble punta

La aleación WC12Co (tenacidad 18 MPa·m$^{1/2}$, error ±0,5) tiene una vida útil de más de 10^5 veces (error ±10^4 veces), lo que cumple con los requisitos de resistencia al desgaste de moldes complejos.

Herramientas de perforación petrolera de carburo cementado de doble grano

La aleación WC10Co (tasa de desgaste 0,05 mm³/N · m, error ±0,01 mm³/N · m) tiene una resistencia al impacto de más de 10^5 veces (error ±10^4 veces), lo que la hace adecuada para el duro entorno de la perforación petrolera.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Estas aplicaciones demuestran plenamente que la estructura de grano bimodal mejora significativamente la competitividad del carburo cementado en aplicaciones compuestas al equilibrar la dureza y la tenacidad.

10.3.4.2 Gradiente de grano del carburo cementado

Descripción general de los principios básicos y la tecnología de los granos de gradiente de carburo cementado

La estructura de grano de gradiente del carburo cementado se optimiza mediante el diseño de granos finos superficiales (0,5 micras a 1 micra, error ±0,01 micras) y granos gruesos internos (5 micras a 10 micras, error ±0,01 micras), logrando así una alta dureza superficial (HV 2000-2400, error ±30) y alta tenacidad interna (K_{Ic} 15-20 MPa·m$^{1/2}$, error ±0,5), mientras se mantiene la resistencia al desgaste a un nivel moderado (tasa de desgaste 0,04-0,06 mm^3 / N · m, error ±0,01 mm^3 / N · m). Esta estructura se produce generalmente mediante un proceso de sinterización en capas (temperatura de 1450 °C a 1600 °C, tolerancia ±10 °C) o un proceso de carburación (gradiente de carbono ±0,1 %, tolerancia ±0,01 %), y es adecuada para herramientas de alto rendimiento (vida útil de más de 4000 horas, tolerancia ±500 horas) y moldes (vida útil de más de 10^5 veces, tolerancia ±10^4 veces).

Para evaluar su rendimiento, se utilizan métodos de prueba estandarizados, incluyendo la prueba de dureza Vickers (ASTM E92, carga de prueba 10 kg, error ± 0,1 kg), prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión de medición ± 0,5 MPa·m$^{1/2}$) y prueba de rendimiento de desgaste (ASTM G65, precisión de medición ± 0,01 mm^3 / N · m). Tomando como ejemplo la aleación WC10Co, su tamaño de grano superficial es de 0,5 micras (error ± 0,01 micras), el tamaño de grano interno es de 5 micras (error ± 0,01 micras), la dureza superficial alcanza HV 2200 (error ± 30), la tenacidad interna es de 18 MPa·m$^{1/2}$ (error ± 0,5), lo que refleja las ventajas de rendimiento de la estructura de gradiente.

Mecanismo y análisis de granos de gradiente de carburo cementado

Los granos finos superficiales (0,5 micrones, error ±0,01 micrones) logran el fortalecimiento del límite de grano a través de una alta densidad de límite de grano (más de 10^{13} m^{-2}, error ±10^{12} m^{-2}), y la dureza alcanza HV 2200 (error ±30), mientras que los granos gruesos internos (5 micrones, error ±0,01 micrones) mejoran la tenacidad (K_{Ic} 18 MPa·m$^{1/2}$, error ±0,5) a través del efecto puente de la fase Co (contenido 10%, error ±1%). La estructura de gradiente reduce la concentración de tensiones (menos de 100 MPa, error ±10 MPa) gracias al efecto sinérgico de la dureza superficial y la tenacidad interna, y la tasa de desgaste se estabiliza en 0,05 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m). El análisis SEM mostró una distribución uniforme de los granos superficiales (desviación inferior al 0,1 %, error ±0,02 %), la red interna de Co era continua (cobertura superior al 95 %, error ±2 %) y las pruebas EDS confirmaron la distribución uniforme de los gradientes de Co y carbono (desviación inferior al 0,1 %, error ±0,02 %).

Las pruebas de comparación de rendimiento muestran que la estructura de gradiente tiene ventajas significativas en términos de dureza y tenacidad en comparación con la estructura de grano uniforme (tamaño de grano 1 micrón, error ± 0,01 micrón , tenacidad 12 MPa·m$^{1/2}$, error ±0,5).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Análisis de los factores que afectan los granos de gradiente de carburo cementado

El rendimiento de las estructuras de grano de gradiente se ve afectado por una variedad de factores, y el mejor equilibrio de rendimiento debe lograrse mediante la optimización de los parámetros del proceso:

gradiente de grano

El rendimiento es mejor cuando los granos de la superficie son de 0,5 micrones a 1 micrón (error ±0,01 micrones) y los granos internos son de 5 micrones a 10 micrones (error ±0,01 micrones); si el gradiente es demasiado pequeño, la tenacidad caerá aproximadamente un 10% (error ±2%).

Contenido conjunto

Cuando el contenido de Co es del 10% (error ±1%), la tenacidad es excelente; pero si supera el 15% (error ±1%), la dureza disminuirá aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que puede deberse al ablandamiento de la fase Co.

Temperatura de sinterización

A una temperatura de sinterización de 1500 °C (error ±10 °C), el gradiente de grano es estable; pero si supera los 1600 °C (error ±10 °C), el tamaño del grano aumentará en aproximadamente un 10 % (error ±2 %), lo que afectará la dureza de la superficie.

gradiente de carbono

Cuando el gradiente de carbono se controla a ±0,1% (error ±0,01%), el rendimiento está equilibrado; si supera el ±0,2% (error ±0,01%), la fase η aumenta aproximadamente un 5% (error ±1%), lo que afecta la tenacidad.

Cargas externas

A velocidades de corte superiores a 1000 m/min (tolerancia de ±10 m/min), la dureza de la superficie se vuelve crítica, mientras que la tenacidad interna se vuelve más importante cuando el número de impactos supera las 10^5 veces ($\pm 10^4$ veces).

Tomando WC15Co como ejemplo, su grano superficial es de 1 micrón (error ±0,01 micrón), el grano interno es de 2 micrones (error ±0,01 micrón) y la tenacidad cae a 12 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5), lo que indica que un gradiente insuficiente debilitará el rendimiento.

Para lograr una dureza superficial superior a HV 2000 (error ±30) y una tenacidad interna superior a 15 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5), se recomiendan las siguientes **estrategias de optimización:**

Control de granos

El tamaño del grano superficial se controla entre 0,5 micrones y 1 micrón (error ± 0,01 micrón), y el tamaño del grano interno se controla entre 5 micrones y 10 micrones (error ± 0,01 micrón) para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

optimizar la dureza y la tenacidad.

Ajuste del contenido de CO

El contenido de Co se mantiene entre 8% y 12% (±1%) para equilibrar la dureza superficial y la tenacidad interna.

Optimización del proceso de sinterización

Se utilizó un proceso de sinterización en capas con la temperatura establecida en 1500 °C (error ±10 °C) y la presión aplicada a 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar una densidad de más del 99,5 % (error ±0,1 %).

Control del contenido de carbono

El gradiente de carbono se mantuvo en ±0,1% (error ±0,01%) para evitar la formación de la fase η.

Especificaciones de prueba

La dureza se probó según ASTM E92 y la tenacidad a la fractura se probó según ISO 28079 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, la dureza superficial de la aleación WC10Co (tamaño de grano superficial 0,5 μm , error ±0,01 μm ; tamaño de grano interno 5 μm , error ±0,01 μm) alcanzó HV 2200 (error ±30) y la tenacidad interna fue de 18 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5), lo que verificó completamente el éxito de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de grano gradiente de carburo cementado

La estructura de grano gradiente funciona bien en los siguientes escenarios de alto rendimiento:

Herramienta de alta velocidad

La aleación WC10Co (dureza superficial HV 2200, tolerancia ±30) tiene una vida útil de corte de más de 4000 horas (tolerancia ±500 horas) y es adecuada para tareas de corte de alta velocidad.

Troquel de estampación

La aleación WC12Co (tenacidad interna 18 MPa·m$^{1/2}$, error ±0,5) tiene una vida útil de más de 10 ^{5} veces (error ±10 ^{4} veces), lo que satisface las necesidades de estampado de alto impacto.

Sustrato de revestimiento resistente al desgaste

La aleación WC10Co (tasa de desgaste 0,05 mm³ / N · m, error ±0,01 mm³ / N · m) tiene una adhesión de más de 50 MPa (error ±5 MPa), lo que es adecuado para el soporte de revestimientos resistentes al desgaste.

Estas aplicaciones demuestran plenamente que la estructura de grano gradiente mejora significativamente el valor de aplicación del carburo cementado en requisitos de rendimiento complejos al optimizar la dureza de la superficie y la tenacidad interna.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.4 Clasificación por función de aplicación

Los carburos cementados se clasifican según sus funciones de aplicación y satisfacen necesidades específicas al optimizar sus propiedades (como dureza HV 800-2500, error ±30, tenacidad K_1 c 8-25 MPa·m ^{1} / ^{2} , error ±0,5, resistencia al desgaste 0,02-0,1 mm³ / N · m, error ±0,01 mm³ / N · m). La clasificación se basa en la composición química (WC, TiC , Co, Ni, etc.), el tamaño de grano (0,2-10 μm , error ±0,01 μm) y el proceso de preparación (temperatura de sinterización 1450-2000 °C, error ±10 °C, presión 50-100 MPa, error ±1 MPa), y se verifica mediante análisis microscópico (resolución SEM <0,1 μm , error ±0,01 μm , precisión XRD ±0,01 μm) y pruebas de rendimiento (ASTM E92, G65). Sus aplicaciones incluyen corte (vida útil > 10 horas, error ± 1 hora), resistencia al desgaste (> 10 ^{5} veces, error ± 10 ^{4} veces), resistencia a la corrosión (pérdida de peso < 0,1 mg/cm² , error ± 0,01 mg/cm²) , alta temperatura (> 1000°C, error ± 10°C) y escenarios multifuncionales (conductividad < 12 μΩ·cm , error ± 0,1 μΩ·cm).

Esta sección comenzará desde cinco aspectos: carburo cementado para corte, carburo cementado para resistencia al desgaste, carburo cementado para resistencia a la corrosión, carburo cementado para alta temperatura y carburo cementado multifuncional, y analizará sistemáticamente el mecanismo de correspondencia entre función y aplicación.

10.4.1 Carburo cementado para corte

El carburo de corte se caracteriza por su alta dureza (HV 1600-2000, error ±30), excelente resistencia al desgaste (índice de desgaste <0,06 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m) y buena estabilidad térmica (>800 °C, error ±10 °C). Es adecuado para corte a alta velocidad (>1000 m/min, error ±10 m/min), fresado y torneado. Se utiliza ampliamente en las industrias de aviación (vida útil >10 horas, error ±1 hora), automoción y fabricación de maquinaria. Su rendimiento se consigue optimizando el tamaño de grano (0,5-2 μm , error ±0,01 μm) y el contenido de fase aglutinante (Co 6 %-10 %, error ±1 %).

En esta sección se analizan sus características técnicas desde tres aspectos: clasificación ISO, requisitos de rendimiento y grados típicos.

10.4.1.1 Clasificación ISO de carburos cementados para corte (grados P, M, K)

Clasificación ISO de carburo cementado para corte Principios básicos y descripción técnica

El carburo cementado para corte se divide en grados P (procesamiento de acero), M (acero inoxidable/acero aleado) y K (hierro fundido/metal no ferroso) según la norma ISO 513. La composición química se optimiza según el material de la pieza de trabajo y las condiciones de corte (velocidad 500-1500 m/min, error ±10 m/min). El grado P contiene TiC / TaC (5%-20%, error ±0,1%) y tiene una excelente resistencia al desgaste; el grado M tiene un alto contenido de Co (8%-12%, error ±1%) y una tenacidad excepcional; el grado K tiene un alto contenido de WC (>90%, error ±1%) y una alta dureza (HV 1800-2000, error ±30). El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) para garantizar la precisión del procesamiento (<0,1 mm, error ±0,01 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Los métodos de prueba incluyen ensayos de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), ensayos de dureza (ASTM E92, carga de 10 kg, tolerancia ±0,1 kg) y ensayos de desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 mm³/N·m). Por ejemplo, la dureza del P10 (WC8Co10TiC) es HV 1900 (tolerancia ±30) y la velocidad de corte es de hasta 1200 m/min (tolerancia ±10 m/min).
Mecanismo de clasificación ISO y análisis del carburo cementado para corte

El grado P mejora la dureza (HV 1900, error ±30) a través del fortalecimiento de la solución sólida de TiC (constante de red 4,3 Å , error ±0,01 Å) , y tiene una fuerte resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,05 mm ³ /N · m, error ±0,01 mm ³ /N · m). El grado M absorbe el impacto de corte (>50 J/m ² , error ±5 J/m ²) a través de la red de Co (fracción de volumen 10, error ±1%) , y tiene una tenacidad de K ı c 10-12 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5). El grado K se basa en la alta energía de enlace de WC (aproximadamente 700 kJ/mol, error ±10 kJ/mol) para garantizar la estabilidad térmica (>800 °C, error ±10 °C). El análisis SEM muestra que el P10 presenta granos uniformes (0,5 µm , error ±0,01 µm , desviación <0,1 %, error ±0,02 %), y el EDS confirma que el TiC se distribuye uniformemente (desviación <0,1 %, error ±0,02 %). Las pruebas de corte muestran que el P10 tiene una vida útil de más de 12 horas (error ±1 hora), superior a la del K20 (vida útil de 10 horas, error ±1 hora).

El análisis de los factores que afectan el rendimiento de corte del carburo cementado
se ve afectado por los siguientes factores:

Selección de grado
El grado P es adecuado para corte de alta velocidad (>1000 m/min, error ±10 m/min); el grado M es adecuado para requisitos de tenacidad; el grado K es adecuado para el procesamiento de hierro fundido.

Tamaño del grano
0,5-1 µm (error ±0,01 µm) tiene una excelente resistencia al desgaste; >2 µm (error ±0,01 µm) la tasa de desgaste aumenta aproximadamente un 10 % (error ±2 %).

Contenido conjunto
6%-10% (error ±1%): tenacidad moderada; >12% (error ±1%): la dureza disminuye aproximadamente un 15% (error ±3%).
revestimiento
La vida útil del revestimiento de TiAlN (espesor 2 µm , error ±0,1 µm) aumenta en un 30 % (error ±5 %).

Dureza de la pieza de trabajo
HV>1000 (error ±50), la marca P es superior; HV<500 (error ±50), la marca K es aplicable.
Por ejemplo, la tasa de desgaste del grado M (WC12Co) en el procesamiento de acero de alta velocidad aumenta a 0,08 mm³ / N · m (error ±0,01 mm³ / N · m).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La estrategia de optimización para el corte de carburo
consiste en lograr una velocidad de corte >1000 m/min (error ±10 m/min) y una vida útil >10 horas (error ±1 hora). Recomendaciones:

Coincidencia de marca
P10 (acero), M20 (acero inoxidable), K20 (hierro fundido).
Control de grano: 0,5-1 μm (error ±0,01 μm), utilizando inhibidor de VC (0,2%, error ±0,01%).

Co-optimización
6%-10% (error ±1%), equilibrio entre dureza y tenacidad.

Proceso de recubrimiento
CVD TiAlN (espesor 2-3 μm , error ±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 20% (error ±3%).

Especificaciones de prueba
ISO 3685
(corte), ASTM G99 (desgaste).
Por ejemplo, la vida útil de P10 (grano de 0,5 μm , error de ±0,01 μm , revestimiento de TiAlN) es >12 horas (error de ±1 hora).
Aplicación de ingeniería del carburo cementado para corte

Los grados ISO se destacan en los siguientes escenarios:

Marca P
P10 (procesamiento de acero, velocidad 1200 m/min, error ±10 m/min) vida útil > 12 horas (error ±1 hora).

Marca M
M20 (procesamiento de acero inoxidable, K_{1c} 12 $MPa \cdot m^{1/2}$, error ±0,5) anti-astillado, vida útil>10 horas (error ±1 hora).

Marca K
K20 (mecanizado de fundición, dureza HV 1900, error ±30) precisión <0,1 mm (error ±0,01 mm).
Estas aplicaciones demuestran que las clasificaciones ISO coinciden exactamente con los requisitos de corte.

10.4.1.2 Requisitos de rendimiento para el corte de carburo (velocidad de corte > 1000 m/min, vida útil > 10 horas)

Velocidad de corte del carburo cementado. Principios básicos y descripción técnica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El carburo de corte debe cumplir con los requisitos de alta velocidad (>1000 m/min, error ±10 m/min), larga vida útil (>10 horas, error ±1 hora) y alta precisión (<0,1 mm, error ±0,01 mm). Los requisitos principales incluyen dureza HV 1600-2000 (error ±30), resistencia al desgaste (velocidad de desgaste <0,06 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$) y estabilidad térmica (>800 °C, error ±10 °C). El tamaño de grano se controla entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm), el contenido de Co es del 6% al 10% (error ±1%) y a menudo se complementa con un revestimiento de TiAlN (espesor 2-3 μm , error ±0,1 μm).

Los métodos de prueba incluyen la prueba de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), la prueba de desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 $mm^3/N·m$) y la prueba de choque térmico (ISO 1832, precisión ±10 °C). Por ejemplo, el P10 (WC_4Co_4TiC, grano de 0,5 μm , error ±0,01 μm) tiene una velocidad de corte de 1200 m/min (error ±10 m/min) y una vida útil de 12 horas (error ±1 hora).

Mecanismo y análisis de la velocidad de corte del carburo de corte

La dureza HV 1900 (tolerancia ±30) se debe al fortalecimiento del grano fino (densidad del límite de grano $>10^{13}\ m^{-2}$, error $\pm10^{12}\ m^{-2}$), la resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,06 $mm^3/N \cdot m$, error ±0,01 $mm^3/N \cdot m$) se debe a TiC (dureza >HV 2000, error ±50) y al recubrimiento de TiAlN (coeficiente de fricción <0,3, error ±0,05). El Co (8 %, error ±1 %) proporciona tenacidad (K_{1c} 10 $MPa·m^{1/2}$, error ±0,5) y evita el astillado (<0,01 mm, error ±0,001 mm). La estabilidad térmica está garantizada por el acero inoxidable (temperatura de descomposición >2000 °C, error ±50 °C) y el TiAlN (temperatura de oxidación >1000 °C, error ±10 °C). El análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB) mostró que el P10 se desgastó uniformemente tras el corte (profundidad <0,01 mm, error ±0,001 mm), y la EDS confirmó que el TiC se distribuyó uniformemente (desviación <0,1 %, error ±0,02 %). Las pruebas de corte mostraron que el P10 tenía una vida útil de >12 horas (error ±1 hora) a 1200 m/min (error ±10 m/min).

Análisis de los factores que afectan la velocidad de corte del carburo cementado.

El rendimiento de corte se ve afectado por los siguientes factores:

Velocidad de corte

>1000 m/min (error ±10 m/min) requiere soporte de recubrimiento; se prefiere una dureza <500 m/min (error ±10 m/min).

Tamaño del grano

0,5-1 μm (error ±0,01 μm) tiene una excelente resistencia al desgaste; >2 μm (error ±0,01 μm) la tasa de desgaste aumenta en un 15 % (error ±3 %).

Contenido conjunto

6%-10% (error ±1%) anti-astillamiento del filo; >12% (error ±1%) la dureza disminuye en un 10% (error ±2%).

Espesor del recubrimiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de 2-3 μm (error ±0,1 μm) aumenta en un 30 % (error ±5 %); la tasa de pelado de >5 μm (error ±0,1 μm) aumenta en un 10 % (error ±2 %).

Material de la pieza de trabajo

Para el acero (HV>1000, error ±50), se prefiere P10; para hierro fundido, K20 es más adecuado.
Por ejemplo, la vida útil de K20 (grano de 2 μm , error de ±0,01 μm) en el procesamiento de acero de alta velocidad se reduce a 8 horas (error de ±1 hora).

La estrategia de optimización para la velocidad de corte del carburo cementado

consiste en lograr una velocidad >1000 m/min (error ±10 m/min) y una vida útil >10 horas (error ±1 hora). Se recomienda:

Control de granos

0,5-1 μm (error ±0,01 μm), utilizando VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Co-optimización

6%-10% (error ±1%), tenacidad equilibrada.

revestimiento

TiAlN (2-3 μm , error ±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 20% (error ±3%).

Tratamiento de bordes

El radio de pasivación es <0,01 mm (error ±0,001 mm) y la tasa de astillado del borde se reduce en un 15 % (error ±3 %).

Especificaciones de prueba

ISO 3685 (corte), ASTM G99 (desgaste).
Por ejemplo, la vida útil de P10 (grano de 0,5 μm , error de ±0,01 μm , revestimiento de TiAlN) es >12 horas (error de ±1 hora).

Corte de carburo Velocidad de corte Ingeniería Aplicación

El corte de carburo funciona bien en los siguientes escenarios:

Procesamiento de piezas de aviación

P10 (velocidad 1200 m/min, error ±10 m/min) precisión <0,1 mm (error ±0,01 mm), vida útil >12 horas (error ±1 hora).

Procesamiento de cigüeñales de automóviles

M20 (K_1 c 12 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) vida útil > 10 horas (error ±1 hora).
Mecanizado de fundición: K20 (dureza HV 1900, tolerancia ±30) tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m (error ±0,01 mm^3 / N · m).
Estas aplicaciones demuestran que el alto rendimiento satisface las demandas de corte de alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

velocidad.

10.4.1.3 Grados típicos: P10, K20 (dureza HV 1600-2000)

Principios básicos y descripción técnica

P10 (WC8Co10TiC) y K20 (WC6Co) son calidades de corte típicas con dureza HV 1600-2000 (error ±30), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,06 mm^3 / N · m, error ±0,01 mm^3 / N · m) y estabilidad térmica (>800 °C, error ±10 °C). P10 es adecuado para el procesamiento de acero (velocidad >1000 m/min, error ±10 m/min), y K20 es adecuado para el procesamiento de hierro fundido / metales no ferrosos (velocidad 800-1200 m/min, error ±10 m/min). Tamaño de grano 0,5-1 μm (error ±0,01 μm), contenido de Co 6%-8% (error ±1%).

Los métodos de prueba incluyen ensayos de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), ensayos de dureza (ASTM E92, carga de 10 kg, error ±0,1 kg) y ensayos de desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 mm^3/N·m). Por ejemplo, dureza P10 HV 1900 (error ±30), vida útil >12 horas (error ±1 hora); dureza K20 HV 1800 (error ±30), vida útil >10 horas (error ±1 hora).

Mecanismo y análisis

El TiC de P10 (10 %, error ±0,1 %) aumenta la dureza (HV 1900, error ±30), tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m (error ±0,01 mm^3 / N · m); Co (8 %, error ±1 %) proporciona tenacidad (K_{1c} 10 $MPa \cdot m^{1/2}$, error ±0,5). El WC de K20 (>90 %, error ±1 %) asegura la estabilidad térmica (ganancia de peso por oxidación <0,5 mg/cm^2, error ±0,05 mg/cm^2) , Co (6 %, error ±1 %) es moderado, dureza HV 1800 (error ±30). El análisis SEM muestra que el tamaño de grano P10 es de 0,5 μm (error ±0,01 μm), la distribución de TiC es uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %); el tamaño de grano K20 es de 1 μm (error ±0,01 μm) y la red de Co es continua (>95 %, error ±2 %). Las pruebas de corte muestran que la vida útil de P10 en el procesamiento de acero es de >12 horas (error ±1 hora); la tasa de desgaste de K20 en el procesamiento de hierro fundido es de 0,05 mm^3/N·m (error ±0,01 mm^3/N·m).

Análisis de factores influyentes

El rendimiento se ve afectado por los siguientes factores:

Selección de grado

P10 es adecuado para acero y K20 es adecuado para hierro fundido.

Tamaño del grano

0,5-1 μm (error ±0,01 μm) tiene una excelente resistencia al desgaste; >2 μm (error ±0,01 μm) tiene una vida útil reducida en un 10 % (error ±2 %).

Contenido conjunto

6%-8% (error ±1%): rendimiento equilibrado; >10% (error ±1%): la dureza disminuye un 10% (error ±2%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Recubrimiento: TiAlN (2 μm , error ±0,1 μm), vida útil aumentada en un 20 % (error ±3 %).

Condiciones de corte

Velocidad > 1000 m/min (error ±10 m/min), P10 es excelente; < 800 m/min (error ±10 m/min), K20 es aplicable.

Por ejemplo, la vida útil de P10 (tamaño de grano 2 μm , error ±0,01 μm) se reduce a 10 horas (error ±1 hora).

La estrategia de optimización

es lograr dureza > HV 1800 (error ±30), vida útil > 10 horas (error ±1 hora), recomendado:

Optimización de calificaciones

P10 (acero), K20 (hierro fundido).

Control de granos

0,5-1 μm (error ±0,01 μm), utilizando VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Co-optimización

6%-8% (error ±1%), rendimiento equilibrado.

Proceso de recubrimiento

TiAlN (2 μm , error ±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 20% (error ±3%).

Especificaciones de prueba

ISO 3685 (corte), ASTM E92 (dureza).

Por ejemplo, la vida útil de P10 (grano de 0,5 μm , error de ±0,01 μm , revestimiento de TiAlN) es >12 horas (error de ±1 hora).

Los grados típicos **para aplicaciones de ingeniería funcionan bien en los siguientes escenarios:**

P10: Procesamiento de acero (velocidad 1200 m/min, error ±10 m/min), vida útil > 12 horas (error ±1 hora).

K20: Mecanizado de fundición (dureza HV 1800, error ±30), precisión <0,1 mm (error ±0,01 mm).

Herramientas de aviación: P10 (tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m, error ±0,01 mm^3 / N · m), vida útil >12 horas (error ±1 hora).

Estas aplicaciones demuestran que P10 y K20 satisfacen diversas necesidades de corte.

10.4.2 Carburo cementado resistente al desgaste

Los carburos cementados resistentes al desgaste se utilizan ampliamente en entornos que requieren resistencia al desgaste a largo plazo gracias a su excelente dureza (HV 1800-2200, ±30) y su índice de desgaste extremadamente bajo (<0,06 mm^3/N·m, ±0,01 mm^3/N·m) como características

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

principales. Estos materiales se optimizan mediante un control preciso del tamaño de grano (0,5-2 μm , ±0,01 μm) y del contenido de Co en la fase aglutinante (6-8 %, ±1 %), y se fabrican mediante pulvimetalurgia avanzada (temperatura de sinterización 1450 °C, ±10 °C) para garantizar su fiabilidad bajo cargas elevadas y entornos complejos. Los carburos cementados resistentes al desgaste son especialmente adecuados para aplicaciones como moldes (vida útil >10^6 veces, ±10^5 veces), sellos y boquillas (vida útil >10^4 horas, ±10^3 horas), y su ventaja de rendimiento reside en su capacidad para soportar la fricción y el impacto continuos, manteniendo al mismo tiempo la integridad estructural. El desarrollo y la aplicación de este material no solo dependen de su composición química y microestructura, sino que también deben combinarse con procesos de fabricación avanzados y tecnologías de tratamiento de superficies para cumplir con los exigentes requisitos de durabilidad y eficiencia en el sector industrial.

Esta sección comienza desde tres aspectos: requisitos de rendimiento, grados típicos y aplicaciones, y combina un análisis detallado del mecanismo, una discusión de los factores influyentes y estrategias de optimización para analizar exhaustivamente sus características técnicas y su potencial de aplicación de ingeniería.

10.4.2.1 Requisitos de rendimiento para carburo cementado resistente al desgaste: tasa de desgaste <0,06 $mm^3/N·m$ (ASTM G65)

Descripción general de los principios básicos y tecnologías del carburo cementado resistente al desgaste

El objetivo de diseño del carburo cementado resistente al desgaste es lograr una tasa de desgaste extremadamente baja (<0,06 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$, norma de prueba ASTM G65) para garantizar una larga vida útil en entornos de alta fricción. Además, el material debe tener alta dureza (HV 1800-2200, error ±30) y tenacidad moderada (K_{1c} 10-12 $MPa·m^{1/2}$, error ±0,5) para cumplir con los requisitos duales de resistencia al desgaste y resistencia al agrietamiento para componentes tales como moldes, sellos y boquillas. El requisito típico de vida útil es >10^4 horas (error ±10^3 horas), lo que requiere el refuerzo del límite de grano mediante un control preciso del tamaño de grano (0,5-1 μm , error ±0,01 μm), mientras que el contenido de Co (6 %-8 %, error ±1 %) mejora la resistencia al agrietamiento al proporcionar cierta capacidad de deformación plástica. En entornos de alta fricción (como un coeficiente de fricción <0,5, error ±0,05), la calidad de la superficie y la estabilidad de la estructura interna del material son particularmente críticas, lo que también promueve el desarrollo de la tecnología de tratamiento de superficies.

Los métodos de prueba incluyen pruebas de desgaste (ASTM G65, carga de 130 N, error ±1 N), pruebas de dureza (ASTM E92, carga de 10 kg, error ±0,1 kg) y pruebas de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión ±0,5 $MPa·m^{1/2}$) . Por ejemplo, el YG6 (WC6Co, grano de 1 μm , error ±0,01 μm) muestra una excelente tasa de desgaste de 0,05 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$) y una dureza HV 2000 (error ±30), lo que lo convierte en un ejemplo representativo de este tipo de material.

carburo cementado resistente al desgaste.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La obtención de una dureza HV 2000 (error ±30) depende principalmente del efecto de refuerzo del grano fino. La densidad del límite de grano es de hasta >10 ^{13} m^{-2} (error ±10 ^{12} m^{-2}) , lo que mejora significativamente la resistencia a la deformación del material. La baja tasa de desgaste (<0,06 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m) se debe a la alta energía de enlace del WC (aprox. 700 kJ/mol, error ±10 kJ/mol). La estabilidad de este enlace químico resiste eficazmente la pérdida de material por fricción. El Co como fase aglutinante (6 %, error ±1 %) absorbe energía externa (>50 J/m² , error ±5 J/m²) a través de deformación plástica (elongación 1 %, error ±0,1 %) , mejorando así la tenacidad a K_{Ic} 10 MPa·m$^{1/2}$ (error ±0,5). El análisis SEM muestra que la distribución de grano de YG6 es altamente uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %) y la superficie de desgaste es lisa (Ra <0,05 μm , error ±0,01 μm), lo que está estrechamente relacionado con la microestructura optimizada. Las pruebas EDS verifican además la uniformidad de la distribución de Co (desviación <0,1 %, error ±0,02 %), proporcionando una base microscópica para el rendimiento general del material. Los datos de la prueba de desgaste muestran que la tasa de desgaste de YG6 es de 0,05 mm³ /N·m (error ±0,01 mm³/N·m), que es mejor que la de YG8 (0,06 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m), lo que destaca el efecto positivo del bajo contenido de Co en la resistencia al desgaste.

Análisis de factores que afectan al carburo cementado resistente al desgaste

El rendimiento del carburo cementado resistente al desgaste se ve afectado por una variedad de factores y debe optimizarse a través del proceso:

Tamaño del grano

Los granos finos de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm) reducen significativamente la tasa de desgaste; si el tamaño del grano supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste puede aumentar en un 15 % (error ±3 %), lo que está relacionado con la reducción del área del límite del grano y la concentración de tensión.

Contenido conjunto

Un contenido de Co del 6%-8% (error ± 1%) proporciona una tenacidad moderada; si supera el 10% (error ± 1%), la dureza disminuye aproximadamente un 10% (error ± 2%), lo que puede deberse al efecto de ablandamiento de la fase Co.

Tratamiento de superficies

Cuando la rugosidad de la superficie se controla en Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste disminuye en un 10% (error ±2%); si la rugosidad supera los 0,1 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste aumenta en un 15% (error ±3%), lo que está estrechamente relacionado con las características de fricción de la superficie.

Carga

Bajo la carga estándar ASTM G65 de 130 N (error ±1 N), el rendimiento es estable; si la carga supera los 200 N (error ±1 N), la tasa de desgaste aumenta en un 10 % (error ±2 %), lo que indica que la resistencia al desgaste del material está limitada bajo cargas elevadas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Factores ambientales

En entornos arenosos (contenido de SiO_2 > 50%, ±5%), la tasa de desgaste puede aumentar en un 20% (±3%), lo que requiere un diseño de protección o resistencia a la corrosión adicional.

^{3} /N · m (error ±0,01 mm ^{3} /N · m) en las mismas condiciones, lo que indica el impacto negativo del tamaño de grano excesivo en el rendimiento.

Estrategia de optimización para carburo cementado resistente al desgaste

Para lograr una tasa de desgaste de <0,06 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m) y una dureza de >HV 2000 (error ±30), se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Control de granos

El tamaño del grano se controló entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) y el crecimiento del grano se suprimió añadiendo un inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Co-optimización

El contenido de Co se mantiene entre el 6% y el 8% (error ±1%) para equilibrar la dureza y la tenacidad para satisfacer las necesidades de diversas aplicaciones.

Tratamiento de superficies

Se utiliza tecnología de pulido de precisión para controlar la rugosidad de la superficie a Ra < 0,05 μm (error ± 0,01 μm) para reducir la fricción y el desgaste.

Proceso de sinterización

La sinterización se lleva a cabo a una temperatura de sinterización de 1450 °C (error ±10 °C) y una presión de 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar que la densidad alcance >99,5 % (error ±0,1 %) y mejorar la densidad del material.

Especificaciones de prueba

El rendimiento del desgaste se probó según ASTM G65 y la dureza se probó según ASTM E92 para verificar el efecto de optimización.

Por ejemplo, YG6 (grano de 1 μm , error de ±0,01 μm , superficie Ra < 0,05 μm , error de ±0,01 μm) exhibió una tasa de desgaste de 0,05 mm³/N·m (error de ±0,01 mm³/N·m), lo que verifica la eficacia de la estrategia de optimización.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado resistente al desgaste

El carburo cementado resistente al desgaste muestra un excelente rendimiento en los siguientes escenarios:

Matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste

^{6} veces (error ±10 ^{5} veces) en estampado de alta frecuencia y es adecuado para la fabricación de piezas de automóviles.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Sello mecánico de carburo resistente al desgaste

YG8 (tasa de desgaste 0,06 mm^3 / N · m, error ±0,01 mm^3 / N · m) tiene una vida útil de más de 10^4 horas (error $\pm 10^3$ horas) en equipos de bombeo, lo que garantiza la estabilidad a largo plazo del rendimiento del sellado.

Boquilla de carburo resistente al desgaste

YG6 (K_{1c} 10 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) tiene una excelente resistencia al desgaste en equipos de chorro de arena y la rugosidad de la superficie Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm) extiende la vida útil. Estas aplicaciones demuestran plenamente el valor práctico del diseño de baja tasa de desgaste en entornos de alta fricción y alta carga, proporcionando soluciones de materiales confiables para la producción industrial.

10.4.2.2 Grados típicos: YG6, YG8 (contenido de Co 6%-8%)

Grados típicos de carburo cementado YG6, YG8 (contenido de Co 6%-8%) Principios básicos y descripción técnica

YG6 (WC6Co) y YG8 (WC8Co) son grados típicos de carburo cementado resistente al desgaste, con contenido de Co controlado al 6%-8% (error ±1%), rango de dureza de HV 1800-2000 (error ±30) y tasa de desgaste mantenida a <0,06 mm^3 / N · m (error ±0,01 mm^3 / N · m). El tamaño de grano se controla con precisión a 0,5-1 μm (error ±0,01 μm), lo que lo hace adecuado para moldes con altos requisitos de resistencia al desgaste (vida útil $>10^6$ veces, error ± 10^5 veces) y sellos (vida útil $>10^4$ horas, error ± 10^3 horas) . YG6 es conocido por su mayor dureza y es particularmente adecuado para aplicaciones que requieren una resistencia al desgaste extremadamente alta; mientras que YG8 tiene un contenido de Co ligeramente mayor (8%, error ±1%) y una tenacidad ligeramente mejor (K_{1c} 12 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5), por lo que funciona bien en escenarios de resistencia al impacto.

Los métodos de prueba incluyen prueba de desgaste (ASTM G65, carga 130 N, error ±1 N), prueba de dureza (ASTM E92, carga 10 kg, error ±0,1 kg) y prueba de tenacidad a la fractura (ISO 28079, precisión ±0,5 MPa·$m^{1/2}$) . Por ejemplo, la dureza de YG6 alcanza HV 2000 (error ±30) y la tasa de desgaste es de 0,05 mm^3/N·m (error ±0,01 mm^3/N·m); la dureza de YG8 es HV 1900 (error ±30) y la tenacidad K_{1c} 12 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5).

Mecanismo y análisis de los grados típicos de carburo cementado YG6 y YG8 (contenido de Co 6%-8%)

El bajo contenido de Co de YG6 (6%, error ±1%) mejora significativamente la dureza (HV 2000, error ±30) al reducir la proporción de la fase de unión, y la tasa de desgaste se reduce a 0,05 mm^3/N · m (error ±0,01 mm^3/N · m), lo que es adecuado para requisitos de alta resistencia al desgaste. El mayor contenido de Co de YG8 (8%, error ±1%) mejora la tenacidad del material (K_{1c} 12 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) y tiene una excelente resistencia al agrietamiento, lo que es particularmente adecuado para escenas que requieren una cierta resistencia al impacto. El tamaño

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de grano de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm) garantiza el efecto de fortalecimiento del límite de grano (densidad del límite de grano >10^{13} m^{-2} , error ±10^{12} m^{-2}) . El análisis SEM muestra que YG6 tiene una distribución de grano uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %) y una superficie de desgaste lisa (Ra <0,05 μm , error ±0,01 μm), lo que refleja la microestructura optimizada. Las pruebas EDS confirman que Co se distribuye uniformemente (desviación <0,1 %, error ±0,02 %), lo que proporciona una garantía de consistencia en el rendimiento. Los datos de la prueba de desgaste muestran que YG6 es superior a YG8 en resistencia al desgaste (tasa de desgaste 0,06 $mm^3/N \cdot m$, error ±0,01 $mm^3/N \cdot m$), lo que está estrechamente relacionado con la diferencia en el contenido de Co.

Análisis de los factores que afectan a los grados típicos de carburo cementado YG6 e YG8 (contenido de Co del 6 % al 8 %)

El rendimiento se ve afectado por una combinación de los siguientes factores:

Contenido conjunto
El 6% (error ±1%) de contenido de Co del YG6 garantiza una alta dureza, mientras que el 8% (error ±1%) de contenido de Co del YG8 mejora la tenacidad. Ambos deben seleccionarse según la aplicación.

Tamaño del grano
Un tamaño de grano de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm) reduce la tasa de desgaste; si supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste aumenta en un 15% (error ±3%).
Tratamiento de superficies
Una rugosidad superficial de Ra < 0,05 μm (error ± 0,01 μm) puede reducir la tasa de desgaste en un 10% (error ± 2%), lo que se consigue reduciendo el área de contacto de la superficie de fricción.

Carga
El rendimiento es estable bajo una carga de 130 N (error ±1 N); si la carga supera los 200 N (error ±1 N), la tasa de desgaste aumenta en un 10% (error ±2%).

ambiente
Un entorno arenoso (SiO_2 >50%, ±5%) aumentará la tasa de desgaste en un 20% (±3%) y requerirá medidas de protección adicionales.

^{3} /N · m (error ±0,01 mm ^{3} /N · m) en las mismas condiciones, destacando el efecto clave del tamaño del grano en la resistencia al desgaste.

La estrategia de optimización para los grados típicos de carburo cementado YG6 e YG8 (contenido de Co del 6 % al 8 %)
consiste en lograr una tasa de desgaste de <0,06 $mm^3/N \cdot m$ (error ±0,01 $mm^3/N \cdot m$) y una dureza >HV 1900 (error ±30). Se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Selección de grado

El YG6 es adecuado para requisitos de alta dureza, mientras que el YG8 es adecuado para requisitos de alta tenacidad. Seleccione según el escenario de aplicación específico.

Control de granos

El tamaño del grano se controla entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) y se utiliza un inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %) para evitar que el grano sea demasiado grande.

Co-optimización

El contenido de Co se mantiene entre el 6% y el 8% (error ±1%) para lograr el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad.

Tratamiento de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra < 0,05 μm (error ±0,01 μm) y la tasa de desgaste se reduce en un 10 % (error ±2 %).

Especificaciones de prueba

ASTM G65 se utiliza para probar el rendimiento del desgaste y ASTM E92 se utiliza para probar la dureza para garantizar que el rendimiento cumpla con los estándares.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de YG6 (tamaño de grano 0,5 μm , error ±0,01 μm) alcanza 0,05 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$), lo que verifica la eficacia de la estrategia de optimización.

Los grados típicos de carburo cementado YG6 e YG8 (contenido de Co del 6 % al 8 %) se utilizan en aplicaciones de ingeniería

y funcionan bien en los siguientes escenarios:

YG6

Las matrices de estampación (dureza HV 2000, tolerancia ±30) tienen una vida útil de más de 10^6 veces (tolerancia ±10^5 veces) en estampación de alta frecuencia y se utilizan ampliamente en el conformado de metales.

YG8

Los sellos mecánicos (K_{1c} 12 $MPa·m^{1/2}$, tolerancia ±0,5) tienen una vida útil de más de 10^4 horas (tolerancia ±10^3 horas) en equipos de bombeo, lo que garantiza un efecto de sellado a largo plazo.
boquilla

YG6 (tasa de desgaste 0,05 $mm^3 / N · m$, error ±0,01 $mm^3 / N · m$) tiene una excelente resistencia al desgaste en equipos de chorro de arena y cumple condiciones de alto caudal.

Estas aplicaciones demuestran que YG6 y YG8 satisfacen con éxito las diversas necesidades en el campo de la resistencia al desgaste al centrarse en diferentes rendimientos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.4.2.3 Aplicaciones de YG6 y YG8 (contenido de Co 6%-8%): moldes, sellos y boquillas

) **Principios básicos y descripción técnica**

El carburo cementado resistente al desgaste tiene un excelente rendimiento en aplicaciones tales como moldes (vida útil> 10^6 veces, error ± 10^5 veces), sellos (vida útil> 10^4 horas, error ± 10^3 horas) y boquillas (vida útil de impacto de fluido> 10^4 horas, error ± 10^3 horas) con dureza HV 1800-2000 (error ± 30) y baja tasa de desgaste (<0,06 $mm^3 / N \cdot m$, error ± 0,01 $mm^3 / N \cdot m$). El tamaño de grano se controla con precisión entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm), el contenido de Co es del 6 % al 8 % (error ±1 %), y la resistencia al desgaste y la vida útil se mejoran aún más mediante el pulido de la superficie (Ra < 0,05 μm , error ±0,01 μm). Las excelentes propiedades de estos materiales los convierten en la opción preferida para piezas de alta resistencia al desgaste en el sector industrial, especialmente en equipos que requieren un funcionamiento estable a largo plazo.

Los métodos de prueba incluyen pruebas de desgaste (ASTM G65, carga de 130 N, error ±1 N), pruebas de fatiga (ASTM E466, precisión ±10^4 veces) y pruebas de rugosidad superficial (ISO 4287, precisión ±0,001 μm). Por ejemplo, el YG6 (grano de 1 μm , error ±0,01 μm) tiene una vida útil de más de 10^6 veces (error ±10^5 veces) en aplicaciones de moldeo, y la tasa de desgaste de la boquilla se mantiene en 0,05 $mm^3/N \cdot m$ (error ±0,01 $mm^3/N \cdot m$).

Mecanismo y análisis de carburo cementado YG6, YG8 (contenido de Co 6%-8%)

La estructura de grano fino (0,5-1 μm , error ±0,01 μm) proporciona dureza (HV 2000, error ±30) a través de una alta densidad de límite de grano (>10^{13} m^{-2}, error ±10^{12} m^{-2}), y el contenido de Co (6%, error ±1%) asegura tenacidad (K_{1c} 10 $MPa \cdot m^{1/2}$, error ± 0,5) a través de la deformación plástica (elongación 1%, error ±0,1%) y la tasa de desgaste se mantiene a <0,06 $mm^3 / N \cdot m$ (error ±0,01 $mm^3 / N \cdot m$). El pulido de la superficie (Ra<0,05 μm , error ±0,01 μm) reduce significativamente el coeficiente de fricción (<0,5, error ±0,05) y reduce el desgaste. El análisis SEM muestra que la distribución del desgaste de YG6 en aplicaciones de molde es uniforme (profundidad <0,05 mm, error ±0,01 mm), lo que refleja la microestructura optimizada. Las pruebas EDS confirman que el Co se distribuye uniformemente (desviación <0,1 %, error ±0,02 %), lo que proporciona una garantía para la estabilidad de las propiedades del material. Los datos de la prueba de fatiga muestran que la vida útil de YG6 es >10^6 veces (error ±10^5 veces), que es mejor que YG8 (10^5 veces, error ±10^4 veces, Co 8 %, error ±1 %), que está estrechamente relacionado con el menor contenido de Co y la mayor dureza.

Análisis de factores que afectan la aplicación de carburo cementado YG6 y YG8 (contenido de Co 6%-8%)

El efecto de la aplicación se ve afectado por muchos factores:

Tamaño del grano

0,5-1 μm (error ±0,01 μm) aumenta la vida útil; si supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste aumenta en un 15% (error ±3%), probablemente debido a la reducción de los límites de grano.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Contenido conjunto

Un contenido de Co del 6%-8% (error ±1%) logra un rendimiento equilibrado; si supera el 10% (error ±1%), la dureza disminuye en un 10% (error ±2%), lo que afecta la resistencia al desgaste.

Rugosidad de la superficie

Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm) aumenta la vida útil en un 15 % (error ±3 %); si la rugosidad es >0,1 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste aumenta en un 10 % (error ±2 %).

Condiciones de trabajo

Cuando la velocidad de impacto del fluido es >10 m/s (error ±0,1 m/s), YG6 funciona bien; en condiciones de baja carga, YG8 es más adecuado.

Factores ambientales

El entorno arenoso provoca que el índice de desgaste aumente en un 20% (error ±3%) y requiere una protección específica.

Por ejemplo, la vida útil de YG8 (rugosidad de la superficie Ra>0,1 μm , error ±0,01 μm) en la aplicación de boquilla cae a 5×10^3 horas (error ±500 horas), lo que indica la importancia de la calidad de la superficie.

La estrategia de optimización para el carburo cementado YG6 e YG8 (contenido de Co del 6% al 8%)

consiste en lograr una vida útil >10^6 veces (error ±10^5 veces) y una tasa de desgaste <0,06 $mm^3/N\cdot m$ (error ±0,01 $mm^3/N\cdot m$). Se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Selección de grado

El YG6 es adecuado para moldes y el YG8 para sellos. Seleccione según los requisitos de la aplicación.

Control de granos

El tamaño del grano se controló entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) y el crecimiento del grano fue suprimido por VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Optimización de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra < 0,05 μm (error ±0,01 μm) y la tasa de desgaste se reduce en un 10 % (error ±2 %).

Proceso de sinterización

La sinterización se realizó a 1450 °C (±10 °C) con una presión de 50 MPa (±1 MPa) para garantizar una densidad de >99,5 % (±0,1 %).

Especificaciones de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Utilice ASTM G65 para probar el desgaste e ISO 4287 para probar la rugosidad de la superficie para garantizar que el rendimiento cumpla con los estándares.
Por ejemplo, la vida útil de YG6 (grano de 0,5 μm , error de ±0,01 μm , Ra < 0,05 μm , error de ±0,01 μm) en el molde superó 10 ⁶ veces (error de ±10 ⁵ veces), lo que verifica el éxito de la estrategia de optimización.

carburo cementado resistente al desgaste **para aplicaciones de ingeniería YG6, YG8 (contenido de Co 6%-8%) tiene un buen desempeño en los siguientes escenarios:**

Troquel de estampación
⁶ veces (error ±10 ⁵ veces) en estampado de alta frecuencia y se utiliza ampliamente en fabricación de precisión.

Sello mecánico
YG8 (K_{Ic} 12 MPa·m ¹ / ² , error ±0,5) tiene una vida útil de >10 ⁴ horas (error ±10 ³ horas) en equipos de bombeo, lo que garantiza una confiabilidad operativa a largo plazo.

Boquilla de chorro de arena
YG6 (tasa de desgaste 0,05 $mm^3 / N \cdot m$, error ±0,01 $mm^3 / N \cdot m$) tiene una vida útil de > 10^4 horas (error ± 10^3 horas) en arenado de alta velocidad , satisfaciendo las necesidades industriales.

Estas aplicaciones demuestran plenamente el excelente rendimiento del carburo cementado resistente al desgaste en escenarios de alta duración y alta resistencia al desgaste, proporcionando opciones de materiales eficientes y duraderos para industrias relacionadas.

10.4.3 Carburo cementado para resistencia a la corrosión

El carburo cementado resistente a la corrosión se caracteriza por su baja tasa de corrosión (<0,1 mm/año, error ±0,01 mm/año) y excelente estabilidad química (pérdida de peso <0,1 mg/cm^2 , error ±0,01 mg/cm^2) , y se usa ampliamente en condiciones extremas como entornos ácido-base (pH 2-12, error ±0,1), entornos de niebla salina (NaCl>5%, error ±0,1%). Estos materiales forman una capa protectora de pasivación eficiente mediante el diseño optimizado de la base de Ni (contenido de Ni 8%-15%, error ±1%) y la adición de Cr (contenido de Cr 0,5%-2%, error ±0,01%), lo que mejora significativamente la resistencia a la corrosión. El carburo cementado resistente a la corrosión ofrece un excelente rendimiento en equipos químicos (vida útil >5 años, error ±0,5 años) e ingeniería naval (vida útil >3 años, error ±0,3 años), y su estabilidad de rendimiento proporciona una garantía de material fiable para estas industrias. El proceso de preparación del material emplea tecnología pulvimetalúrgica precisa, combinada con control del tamaño de grano (0,5-2 μm , error ±0,01 μm) y sinterización a alta temperatura (1450 °C, error ±10 °C), lo que garantiza el desarrollo coordinado de la microestructura y las macropropiedades.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Esta sección comienza desde los dos aspectos de la optimización del rendimiento y los escenarios de aplicación de las aleaciones basadas en Ni y con Cr agregado, y combina un análisis detallado del mecanismo, la discusión de los factores influyentes y las estrategias de optimización para analizar en profundidad sus características técnicas y el valor de la aplicación de ingeniería.

10.4.3.1 Aleaciones a base de Ni y con Cr añadido: tasa de corrosión <0,1 mm/año

Descripción general de los principios básicos y las tecnologías del carburo cementado resistente a la corrosión

El carburo cementado a base de Ni (contenido de Ni del 8 % al 15 %, error ±1 %) y la aleación con Cr añadido (contenido de Cr del 0,5 % al 2 %, error ±0,01 %) inhiben eficazmente la velocidad de corrosión a <0,1 mm/año (error ±0,01 mm/año) mediante la formación de una capa de pasivación de NiO /Cr_2O_3 (espesor aproximado de 10 nm, error ±1 nm) en la superficie. Estos materiales también presentan una dureza moderada (HV 1500-1800, error ±30) y tenacidad (K_{1c} 10-12 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5), lo que les permite funcionar de forma estable durante un largo periodo en entornos ácidos (pH <3, error ±0,1) o de alta salinidad (NaCl >5 %, error ±0,1 %). El tamaño del grano se controla con precisión entre 0,5 y 2 μm (error ±0,01 μm), y se logra una alta densidad y una estructura uniforme mediante un proceso de sinterización a 1450 °C (error ±10 °C), cumpliendo con los requisitos integrales de las aplicaciones industriales en cuanto a resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas.

Los métodos de prueba incluyen la prueba de corrosión por niebla salina (ISO 9227, temperatura 35 °C, error ±1 °C), la prueba electroquímica (ASTM G59, velocidad de barrido 0,1 mV/s, error ±0,01 mV/s) y la prueba de desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3/N·m). Por ejemplo, el WC10Ni0.5Cr (grano de 1 μm , error ±0,01 μm) mostró una velocidad de corrosión de 0,08 mm/año (error ±0,01 mm/año) y una dureza de HV 1600 (error ±30), lo que verificó plenamente sus ventajas de rendimiento.

Mecanismo y análisis del carburo cementado resistente a la corrosión

La estabilidad electroquímica del Ni (E_corr aproximadamente 0,1 V, error ±0,02 V frente a SCE) es significativamente mejor que la de las aleaciones tradicionales basadas en Co (0,3 V, error ±0,02 V), y la penetración de iones Cl^- se bloquea eficazmente mediante la formación de una capa de pasivación de NiO (espesor 10 nm, error ±1 nm) (tasa de penetración <10^{-10} cm^2/s, error ±10^{-11} cm^2/s). La adición de Cr reduce aún más la densidad de corriente de corrosión (i_corr <10^{-6} A/cm^2 , error ±10^{-7} A/cm^2) al generar una capa de Cr_2O_3 (espesor 10 nm, error ±1 nm), mejorando así la resistencia del material a la corrosión por picaduras. La dureza de HV 1600 (error ±30) se proporciona principalmente por una alta proporción de WC (>80%, error ±1%), mientras que Ni como fase aglutinante (contenido 10%, error ±1%) asegura una tenacidad de K_{1c} 10 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5) mediante deformación plástica (elongación 1%, error ±0,1%). El análisis SEM muestra que la distribución de grano de WC10Ni0.5Cr es altamente uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %), y la espectroscopia XPS confirma además la presencia de NiO (Ni_{23} aprox. 854 eV, error ±0,1 eV) y Cr_2O_3 (Cr_{33} aprox. 577 eV, error ±0,1 eV). La prueba de corrosión por niebla salina (1000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

horas de duración, error ±100 horas) mostró que la velocidad de corrosión de WC10Ni0.5Cr se mantuvo estable en 0,08 mm/año (error ±0,01 mm/año), mostrando una excelente resistencia a la corrosión.

Análisis de los factores que afectan a la resistencia a la corrosión del carburo cementado

La resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas de los materiales se ven afectadas significativamente por muchos factores:

Contenido de Ni

La resistencia a la corrosión es mejor cuando el contenido de Ni es del 10% (error ±1%); si supera el 15% (error ±1%), la dureza disminuye aproximadamente un 10% (error ±2%), lo que puede deberse al efecto de ablandamiento de la fase de Ni.

Contenido de Cr

Un contenido de Cr de 0,5%-1% (error ±0,01%) forma una capa de pasivación estable; si supera el 2% (error ±0,01%), la tenacidad K_{IC} disminuye aproximadamente un 15% (error ±3%) y la fragilidad puede aumentar debido al exceso de Cr.

Tamaño del grano

Un tamaño de grano de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm) minimiza la tasa de corrosión; si supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la tasa de picaduras aumenta en un 15% (error ±3%), lo que está relacionado con la reducción de los límites de grano.

Condiciones ambientales

En un entorno fuertemente ácido (pH < 2, error ± 0,1), la densidad de corriente de corrosión i_corr aumenta en un 20% (error ± 5%); en un entorno de alta salinidad (NaCl > 5%, error ± 0,1%), la tasa de picaduras aumenta en un 10% (error ± 2%).

Tratamiento de superficies

Cuando la rugosidad de la superficie Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm), la tasa de corrosión disminuye en un 15% (error ±3%); si la rugosidad es >0,1 μm (error ±0,01 μm), la tasa de corrosión puede aumentar.

Por ejemplo, la tasa de corrosión de WC15Ni (sin adición de Cr) aumentó a 0,12 mm/año (error ±0,01 mm/año) en las mismas condiciones, lo que indica el papel clave de la adición de Cr en la resistencia a la corrosión.

Estrategia de optimización para carburo cementado resistente a la corrosión

Para lograr una tasa de corrosión de <0,1 mm/año (error ±0,01 mm/año) y una dureza de >HV 1600 (error ±30), se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de ingredientes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El contenido de Ni se controla entre el 8% y el 12% (error ±1%) y el contenido de Cr se controla entre el 0,5% y el 1% (error ±0,01%) para formar una capa de pasivación eficiente.

Control de granos

El tamaño del grano se mantuvo entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) y se evitó el crecimiento del grano añadiendo un inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Tratamiento de superficies

Se utiliza tecnología de pulido de precisión para controlar la rugosidad de la superficie a Ra < 0,05 μm (error ± 0,01 μm), reduciendo la tasa de picaduras en un 15 % (error ± 3 %).

Proceso de sinterización

El proceso de sinterización se lleva a cabo a una temperatura de sinterización de 1450 °C (tolerancia de ±10 °C) y una presión de 50 MPa (tolerancia de ±1 MPa) para garantizar una densidad de >99,5 % (±0,1 %) y mejorar la resistencia a la corrosión.

Especificaciones de prueba

Se utilizaron la prueba de corrosión por niebla salina según ISO 9227 y la prueba de rendimiento electroquímico según ASTM G59 para verificar el efecto de optimización.
Por ejemplo, la tasa de corrosión de WC10Ni0.5Cr (tamaño de grano 1 μm , error ±0,01 μm) se estabilizó en 0,08 mm/año (error ±0,01 mm/año) después de la optimización, lo que muestra una mejora significativa del rendimiento.

Para aplicaciones de ingeniería de carburo cementado resistentes a la corrosión,
funcionan bien en los siguientes escenarios:

Bombas químicas

La vida útil de WC10Ni0.5Cr (tasa de corrosión 0,08 mm/año, error ±0,01 mm/año) en medio ácido supera los 5 años (error ±0,5 años), lo que garantiza el funcionamiento a largo plazo del equipo.

válvulas marinas

WC12Ni1Cr (dureza HV 1600, error ±30) tiene una vida útil de más de 3 años (error ±0,3 años) en entornos de agua de mar y tiene una resistencia excepcional a la corrosión por niebla salina.

Pipa de ácido

WC10Ni (K_{1} c 10 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) tiene una vida útil de más de 5 años (error ±0,5 años) en condiciones ácidas de pH < 3 (error ±0,1), cumpliendo los requisitos de entornos altamente corrosivos.

Estas aplicaciones demuestran plenamente la confiabilidad y practicidad de las aleaciones basadas en Ni y con Cr agregado en entornos hostiles, brindando un soporte material eficiente para la ingeniería química y marina.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.4.3.2 Aplicación de carburo cementado resistente a la corrosión: equipos químicos e ingeniería marina

Descripción general de los principios básicos y las tecnologías de las aplicaciones del carburo cementado resistente a la corrosión.

Gracias a su baja tasa de corrosión (<0,1 mm/año, error ±0,01 mm/año) y su excelente estabilidad química, el carburo cementado resistente a la corrosión se utiliza ampliamente en equipos químicos (bombas, válvulas, vida útil >5 años, error ±0,5 años) e ingeniería naval (válvulas, herramientas de perforación, vida útil >3 años, error ±0,3 años). El efecto sinérgico del contenido de Ni (8%-15%, error ±1%) y el contenido de Cr (0,5%-2%, error ±0,01%) forma una capa de pasivación de NiO /Cr_2O_3 con un tamaño de grano controlado de 0,5-2 μm (error ±0,01 μm) y un rango de dureza de HV 1500-1800 (error ±30). El pulido superficial (Ra < 0,05 μm , error ± 0,01 μm) mejora aún más la durabilidad y la resistencia a la corrosión del material, permitiéndole funcionar durante mucho tiempo en ambientes ácidos y de alta salinidad. Estas propiedades lo convierten en un material indispensable en los sectores químico y marino.

Los métodos de prueba incluyen la prueba de corrosión por niebla salina (ISO 9227, 1000 horas, error ±100 horas), la prueba de rendimiento electroquímico (ASTM G59, precisión ±0,001 V) y la prueba de rendimiento por fatiga (ASTM E466, precisión $\pm 10^4$ veces). Por ejemplo, el WC10Ni0.5Cr (grano de 1 μm , error ±0,01 μm) tiene una vida útil de más de 3 años (error ±0,3 años) en un entorno de NaCl al 5 % (error ±0,1 %), lo que demuestra su potencial de aplicación en ingeniería naval.

de **carburo cementado para resistencia a la corrosión**

La capa de pasivación NiO / Cr_2O_3 (espesor 10 nm, error ±1 nm) protege el material de la matriz al reducir la tasa de corrosión (0,08 mm/año, error ±0,01 mm/año), WC (contenido >80%, error ±1%) proporciona dureza (HV 1600, error ±30), y Ni (contenido 10%, error ±1%) asegura tenacidad (K_{1c} 10 $MPa \cdot m^{1/2}$, error ±0,5) a través de deformación plástica (elongación 1%, error ±0,1%), previniendo eficazmente la expansión de la corrosión por picaduras (<0,01 mm, error ±0,001 mm). El análisis SEM muestra que la superficie de WC10Ni0.5Cr es lisa después de la corrosión (Ra < 0,05 μm , error ± 0,01 μm), y el espectro XPS confirma la presencia de NiO (Ni 2p alrededor de 854 eV, error ± 0,1 eV) y Cr_2O_3 (Cr 3p alrededor de 577 eV, error ± 0,1 eV). Los datos de la prueba de corrosión por niebla salina muestran que la aleación tiene una vida útil de más de 3 años (error ± 0,3 años). En comparación, el rendimiento de la aleación tradicional WC10Co (tasa de corrosión 0,5 mm/año, error ± 0,01 mm/año) es significativamente inferior, lo que destaca la superioridad de la adición de Ni y Cr.

Análisis de factores que afectan la aplicación de carburo cementado resistente a la corrosión

El efecto de la aplicación se ve afectado por una combinación de factores:

Contenido de Ni/Cr

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La resistencia a la corrosión es mejor cuando el contenido de Ni es del 10% (error ±1%) y el contenido de Cr es del 0,5% (error ±0,01%); si el Ni supera el 15% (error ±1%), la dureza disminuye en un 10% (error ±2%); si el Cr supera el 2% (error ±0,01%), la tenacidad disminuye.

Tamaño del grano

Un tamaño de grano de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm) reduce la corrosión por picaduras; si supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la tasa de picaduras aumenta en un 15 % (error ±3 %).

Rugosidad de la superficie

Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm) aumenta la vida útil en un 15% (error ±3%); si la rugosidad es >0,1 μm (error ±0,01 μm), la tasa de corrosión aumenta en un 10% (error ±2%).

Condiciones ambientales

En un entorno fuertemente ácido (pH < 2, error ±0,1), la tasa de corrosión aumenta en un 20% (error ±3%); en un entorno de alta salinidad (NaCl> 10%, error ±0,1%), la tasa de picaduras aumenta en un 15% (error ±3%).

Condiciones de carga

Cuando la velocidad de impacto del fluido es >10 m/s (error ±0,1 m/s), se requiere mayor tenacidad para resistir daños mecánicos.

Por ejemplo, la vida útil de WC15Ni (rugosidad superficial Ra>0,1 μm , error ±0,01 μm) en un entorno marino se reduce a 2 años (error ±0,2 años), lo que indica la influencia decisiva de la calidad de la superficie en la vida útil.

La estrategia de optimización para la aplicación de carburo cementado resistente a la corrosión

consiste en lograr una vida útil de >3 años (error ±0,3 años) y una tasa de corrosión de <0,1 mm/año (error ±0,01 mm/año). Se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Optimización de ingredientes

El contenido de Ni se controla entre el 8% y el 12% (error ±1%) y el contenido de Cr se controla entre el 0,5% y el 1% (error ±0,01%) para mejorar el efecto de pasivación.

Control de granos

El tamaño de grano se mantuvo entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) y la microestructura se optimizó con inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Optimización de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra < 0,05 μm (error ± 0,01 μm) y la tasa de picaduras se reduce en un 15 % (error ± 3 %).

Proceso de sinterización

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La sinterización se realizó a una temperatura de sinterización de 1450°C (error ±10°C) y una presión de 50 MPa (error ±1 MPa), asegurando una densidad de >99,5% (error ±0,1%).

Especificaciones de prueba

La norma ISO 9227 se utiliza para pruebas de corrosión por niebla salina y la norma ASTM G59 se utiliza para pruebas de rendimiento electroquímico para garantizar que el rendimiento cumpla con los estándares.

Por ejemplo, la vida útil de WC10Ni0.5Cr (rugosidad superficial Ra < 0,05 μm , error ± 0,01 μm) después de la optimización superó los 3 años (error ± 0,3 años), lo que verifica la eficacia de la estrategia.

Aplicaciones de carburo cementado resistente a la corrosión Aplicaciones de ingeniería

El carburo cementado resistente a la corrosión funciona bien en los siguientes escenarios:

Válvulas químicas de carburo resistentes a la corrosión

WC10Ni0.5Cr (tasa de corrosión 0,08 mm/año, error ±0,01 mm/año) tiene una vida útil de más de 5 años (error ±0,5 años) en medios ácidos y es adecuado para el control de procesos químicos.

Herramientas de perforación offshore de carburo cementado resistentes a la corrosión

WC12Ni1Cr (dureza HV 1600, error ±30) tiene una vida útil de más de 3 años (error ±0,3 años) en entornos de agua de mar, lo que satisface las necesidades de la minería en aguas profundas.

Reactor ácido de carburo cementado para resistencia a la corrosión

WC10Ni (K_{Ic} 10 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) tiene una vida útil de más de 5 años en condiciones ácidas de pH <3 (error ±0,1)
(error ±0,5 años), garantizando el funcionamiento seguro del reactor.

Estas aplicaciones demuestran plenamente el excelente rendimiento del carburo cementado resistente a la corrosión en la ingeniería química y marina, proporcionando soluciones de materiales eficientes y duraderas para industrias relacionadas.

10.4.4 Carburo cementado para aplicaciones de alta temperatura

Los carburos cementados de alta temperatura se usan ampliamente en aplicaciones que requieren durabilidad en entornos de temperaturas extremadamente altas, con su excelente resistencia a la oxidación (>1000 °C, ±10 °C, ganancia de peso por oxidación <0,5 mg/cm^2 , ±0,05 mg/cm^2) y excelente estabilidad térmica (pérdida de dureza <10 %, ±2 %) como sus características principales. Estos materiales sobresalen en aplicaciones aeroespaciales (vida útil de la herramienta >5000 horas, ±500 horas) y componentes energéticos (vida útil >10^4 horas, ±10^3 horas), gracias a sus sistemas de materiales basados en TiC o WC, combinados con adiciones de refuerzo de Mo/Nb (contenido 2 %-10 %, ±0,1 %) y un control preciso del tamaño de grano (1-2 μm , ±0,01 μm). Mediante un proceso de sinterización a 1500°C (±10°C), estas aleaciones logran una alta densidad y una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

microestructura homogénea, asegurando confiabilidad a largo plazo en condiciones de alta temperatura.

Esta sección parte de los dos aspectos de los requisitos de rendimiento y las aplicaciones, y combina el análisis del mecanismo, la discusión de los factores influyentes y las estrategias de optimización para analizar exhaustivamente sus características técnicas y el potencial de aplicación de ingeniería.

10.4.4.1 Requisitos de rendimiento del carburo cementado de alta temperatura: resistencia a la oxidación (>1000 °C)

carburo cementado de alta temperatura

El carburo cementado de alta temperatura está diseñado para mantener la resistencia a la oxidación (ganancia de peso por oxidación <0,5 mg/cm² , error ±0,05 mg/cm²) a temperaturas extremadamente altas superiores a 1000 °C (error ±10 ° C) , al tiempo que mantiene una alta dureza (HV 1800-2000, error ±30) y una resistencia a la fractura moderada (resistencia a la fractura 6-10 MPa·m¹ / ², error ±0,5). El material se basa principalmente en TiC (contenido 60%-80%, error ±1%) o WC (contenido >80%, error ±1%), con Mo/Nb (contenido 2%-5%, error ±0,1%) añadido para formar una fase de refuerzo de Mo_2C/ NbC . El tamaño de grano se controla a 1-2 μm (error ±0,01 μm). Se prepara mediante un proceso de sinterización a 1500 °C (error ±10 °C). Este diseño garantiza la estabilidad del material bajo oxidación a alta temperatura y estrés mecánico, lo que lo hace especialmente adecuado para componentes críticos en las industrias aeroespacial y energética.

Los métodos de prueba incluyen la prueba de oxidación a alta temperatura (ASTM E1876, temperatura 1000 °C, error ±10 °C), la prueba de dureza (ASTM E92, carga 10 kg, error ±0,1 kg) y la prueba de desgaste (ASTM G99, carga 10 N, error ±0,1 N). Por ejemplo, el $TiC_{24}Ni_3Mo$ (grano de 1 μm , error ±0,01 μm) presenta una ganancia de peso por oxidación de tan solo 0,3 mg/cm² (error ±0,05 mg/cm²) a alta temperatura y una dureza de HV 1900 (error ±50), lo que demuestra su excelente rendimiento.

Mecanismo y análisis del carburo cementado de alta temperatura

La alta energía de enlace covalente del TiC (aproximadamente 500 kJ/mol, error ±10 kJ/mol) le proporciona una excelente estabilidad térmica. La fase de fortalecimiento de Mo_2C (temperatura de formación 1000 °C, error ±10 °C) mejora significativamente la resistencia a la oxidación al mejorar la resistencia de la unión de la interfaz (>100 MPa, error ±10 MPa), y la ganancia de peso de oxidación se controla a <0,5 mg/cm² (error ±0,05 mg/cm²) . El Ni como fase aglutinante (contenido 20 %, error ±1 %) garantiza que la resistencia a la fractura alcance 8 MPa·m¹ /² (error ±0,5) a través de la deformación plástica (elongación 1 %, error ±0,1 %) , previniendo eficazmente la propagación de grietas a altas temperaturas. El análisis SEM muestra que la distribución de grano de TiC_2Ni_3Mo es uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %), y las partículas de Mo_2C (tamaño 0,1 μm , error ±0,01 μm) están incrustadas uniformemente en la interfaz, optimizando aún más la microestructura. La espectroscopia XPS confirma las capas de TiO_2 (Ti_{23} de aproximadamente 459 eV, error ±0,1 eV) y NiO generadas en la superficie tras la oxidación a alta temperatura , lo que mejora la resistencia a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la oxidación del material. Los resultados de las pruebas de alta temperatura muestran que la ganancia de peso por oxidación de TiC20Ni5Mo es de 0,3 mg/cm² (error ±0,05 mg/cm²) , lo que es significativamente mejor que el WC10Co tradicional (ganancia de peso por oxidación de 0,8 mg/cm², error ±0,05 mg/cm²) .

Análisis de factores que afectan al carburo cementado de alta temperatura

El rendimiento de los materiales se ve afectado por una combinación de factores:

Contenido de Mo/Nb

La resistencia a la oxidación es mejor cuando el contenido de Mo/Nb es del 5% (error ±0,1%); si supera el 10% (error ±0,1%), la resistencia a la fractura disminuye aproximadamente un 15% (error ±3%), lo que puede deberse a una fase de fortalecimiento excesiva que conduce a una mayor fragilidad.

Tamaño del grano

El tamaño de grano de 1-2 μm (error ±0,01 μm) minimiza la ganancia de peso por oxidación; si supera los 5 μm (error ±0,01 μm), la ganancia de peso por oxidación aumenta en un 15% (error ±3%), lo que está relacionado con la reducción de los límites de grano.

Contenido de Ni

Un contenido de Ni del 20% (error ±1%) proporciona la mejor resistencia a la fractura; si supera el 30% (error ±1%), la dureza disminuye aproximadamente un 10% (error ±2%) debido al efecto de ablandamiento de la fase Ni.

Temperatura ambiente

A >1200 °C (error ±10 °C), la ganancia de peso por oxidación aumentó en un 20 % (error ±3 %) y es necesario optimizar aún más el recubrimiento antioxidante.

Tratamiento de superficies

Cuando la rugosidad de la superficie Ra < 0,05 μm (error ±0,01 μm), la tasa de oxidación disminuye en un 10 % (error ±2 %); si la rugosidad es mayor, la tasa de oxidación puede acelerarse.

Por ejemplo, la resistencia a la fractura de TiC20Ni10Mo (contenido de Mo > 10 %, error ± 0,1 %) a alta temperatura cae a 5 MPa·m $^{1/2}$ (error ± 0,5), lo que indica el impacto negativo del contenido excesivo de Mo/Nb en el rendimiento.

Estrategia de optimización para carburo cementado de alta temperatura

Para lograr una ganancia de peso por oxidación <0,5 mg/cm² (error ±0,05 mg/cm²) y una dureza >HV 1800 (error ±50), se recomienda la siguiente estrategia de optimización:

Optimización de ingredientes

El contenido de Mo/Nb se controla entre el 2% y el 5% (error ±0,1%) y el contenido de Ni se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

controla entre el 15% y el 20% (error ±1%) para equilibrar la resistencia a la oxidación y las propiedades mecánicas.

Control de granos

El tamaño de grano se mantuvo en 1-2 μm (error ±0,01 μm) y se evitó que el tamaño de grano fuera demasiado grande agregando inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Tratamiento de superficies

Se utiliza tecnología de pulido de precisión para controlar la rugosidad de la superficie a Ra < 0,05 μm (error ± 0,01 μm), reduciendo la tasa de oxidación en un 10 % (error ± 2 %).

Proceso de sinterización

El proceso de sinterización se lleva a cabo a una temperatura de sinterización de 1500 °C (error ±10 °C) y una presión de 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar una densidad de >99,5 % (error ±0,1 %) y mejorar la estabilidad a altas temperaturas.

Especificaciones de prueba

Se utilizó ASTM E1876 para probar el rendimiento de oxidación a alta temperatura y se utilizó ASTM G99 para probar el rendimiento de desgaste para verificar el efecto de optimización.
Por ejemplo, la ganancia de peso de oxidación de TiC20Ni5Mo (tamaño de grano 1 μm , error ±0,01 μm) después de la optimización es de solo 0,3 mg/cm² (error ±0,05 mg/cm²) , lo que verifica la eficacia de la estrategia.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado de alta temperatura

El carburo cementado de alta temperatura funciona bien en los siguientes escenarios:

herramientas de aviación

TiC20Ni5Mo (dureza HV 1900, error ±50) tiene una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas) en corte a alta temperatura, satisfaciendo las necesidades de la fabricación de aviación.

turbina de gas

WC10Ni5Nb (ganancia de peso de oxidación 0,3 mg/cm² , error ±0,05 mg/cm²) tiene una vida útil de más de 10^4 horas (error $\pm 10^3$ horas) en un entorno de gas de alta temperatura, lo que garantiza un funcionamiento eficiente.

Molde de alta temperatura

TiC15Ni5Mo (resistencia a la fractura 8 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) tiene una vida útil de más de 10^5 veces (error $\pm 10^4$ veces) en el conformado en caliente y es adecuado para el procesamiento a alta temperatura.
Estas aplicaciones demuestran plenamente la confiabilidad y el valor práctico del carburo cementado de alta temperatura en entornos térmicos extremos, proporcionando un soporte material eficiente para las industrias aeroespacial y energética.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.4.4.2 Aplicaciones de carburo cementado de alta temperatura: componentes aeroespaciales y energéticos

Principios básicos y descripción técnica de los componentes aeroespaciales y energéticos de carburo cementado de alta temperatura

El carburo cementado de alta temperatura se usa ampliamente en el campo aeroespacial (herramientas, álabes de turbinas, vida útil> 5000 horas, error ± 500 horas) y en componentes energéticos (turbinas de gas, componentes de energía nuclear, vida útil> 10^4 horas, error ± 10^3 horas) debido a su excelente resistencia a la oxidación (> 1000 °C, error ± 10 °C, ganancia de peso por oxidación < 0,5 mg/cm², error ± 0,05 mg/cm²). El material se basa en TiC o WC, con un contenido de Mo/Nb del 2% al 5% (error ±0,1%) para formar una fase de refuerzo, un tamaño de grano controlado de 1 a 2 μm (error ±0,01 μm) y un rango de dureza de HV 1800 a 2000 (error ±50). Estas características le permiten operar de forma estable y duradera en condiciones de alta temperatura y carga, lo que lo convierte en un material indispensable para las industrias aeroespacial y energética.

Los métodos de prueba incluyen la prueba de oxidación a alta temperatura (ASTM E1876, temperatura de 1000 °C, error de ±10 °C), la prueba de rendimiento por fatiga (ASTM E466, precisión de $\pm 10^4$ veces) y la prueba de desgaste (ASTM G99, precisión de ±0,01 mm³/N·m). Por ejemplo, el $TiC_{24}Ni_3Mo$ (grano de 1 μm , error de ±0,01 μm) tiene una vida útil de más de 5000 horas (error de ±500 horas) en aplicaciones de herramientas de aviación, lo que demuestra su potencial en escenarios de alto rendimiento.

Mecanismo y análisis de componentes aeroespaciales y energéticos de carburo cementado de alta temperatura

La estabilidad térmica de TiC y WC (temperatura de descomposición >2000 °C, error ±50 °C) combinada con la fase de fortalecimiento Mo_2 C / NbC (dureza >HV 1500, error ±50) garantiza la resistencia a la oxidación del material (ganancia de peso por oxidación 0,3 mg/cm² , error ±0,05 mg/cm²) . Ni (contenido 20%, error ±1%) proporciona resistencia a la fractura a través de la deformación plástica (resistencia a la fractura 8 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5), previniendo eficazmente el agrietamiento térmico a alta temperatura (ancho de grieta <0,01 mm, error ±0,001 mm). El análisis SEM muestra que la superficie de TiC20Ni5Mo permanece densa después de la oxidación a alta temperatura (rugosidad superficial Ra<0,05 μm , error ±0,01 μm), y la espectroscopia XPS confirma la formación de TiO_2 (Ti_2p es de aproximadamente 459 eV, error ±0,1 eV). Los resultados de la prueba de fatiga muestran que la aleación tiene una vida útil de más de 10^4 horas (error $\pm 10^4$ horas), lo cual es significativamente mejor que WC10Co (vida útil 5×10^4 horas, error ±500 horas).

Análisis de los factores que afectan la aplicación de componentes aeroespaciales y energéticos de carburo cementado de alta temperatura

El efecto de la aplicación se ve afectado por una combinación de factores:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Contenido de Mo/Nb

El rendimiento es mejor cuando el contenido de Mo/Nb es del 5% (error ±0,1%); si supera el 10% (error ±0,1%), la resistencia a la fractura disminuye en un 15% (error ±3%), lo que puede deberse a una fase de fortalecimiento excesiva.

Tamaño del grano

Un tamaño de grano de 1-2 μm (error ±0,01 μm) prolonga la vida útil; si supera los 5 μm (error ±0,01 μm), la ganancia de peso por oxidación aumenta en un 15% (error ±3%).

Rugosidad de la superficie

Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm) aumenta la vida útil en un 10% (error ±2%); si la rugosidad es >0,1 μm (error ±0,01 μm), la tasa de oxidación aumenta en un 15% (error ±3%).

Temperatura de funcionamiento

A >1200 °C (±10 °C), la ganancia de peso oxidativa aumentó en un 20 % (±3 %) y fue necesario optimizar la protección antioxidante.

Condiciones de carga

vibraciones de alta frecuencia (tolerancia > 10 Hz, ±1 Hz), se requiere una mayor resistencia a la fractura para resistir el daño por fatiga.

Por ejemplo, la vida útil de TiC20Ni10Mo (tamaño de grano de 5 μm , error de ±0,01 μm) a alta temperatura cae a 3000 horas (error de ±500 horas), lo que indica la influencia significativa del tamaño de grano y el contenido de Mo en el rendimiento.

La estrategia de optimización para componentes aeroespaciales y energéticos de carburo cementado de alta temperatura

consiste en lograr una vida útil de >5000 horas (error ±500 horas) y una ganancia de peso por oxidación de <0,5 mg/cm² (error ±0,05 mg/ cm²) . Se recomiendan las siguientes estrategias de optimización:

Optimización de ingredientes

El contenido de Mo/Nb se controla entre el 2% y el 5% (error ±0,1%) y el contenido de Ni se controla entre el 15% y el 20% (error ±1%) para mejorar la resistencia a la oxidación y a las fracturas.

Control de granos

El tamaño de grano se mantuvo en 1-2 μm (error ±0,01 μm) y la microestructura se optimizó con inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Optimización de superficies

Mediante un pulido de precisión, la rugosidad de la superficie se controla a Ra < 0,05 μm (error ±0,01 μm) y la tasa de oxidación se reduce en un 10 % (error ±2 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Proceso de sinterización

La sinterización se realizó a una temperatura de sinterización de 1500°C (error ±10°C) y una presión de 50 MPa (error ±1 MPa), asegurando una densidad de >99,5% (error ±0,1%).

Especificaciones de prueba

La norma ASTM E1876 se utiliza para probar el rendimiento de oxidación a alta temperatura y la norma ASTM E466 se utiliza para probar el rendimiento de fatiga para garantizar que el rendimiento cumpla con los estándares.

Por ejemplo, la vida útil de TiC20Ni5Mo (rugosidad superficial Ra < 0,05 μm , error ± 0,01 μm) después de la optimización superó las 5000 horas (error ± 500 horas), lo que verifica la eficacia de la estrategia.

Carburo cementado de alta temperatura Componentes aeroespaciales y energéticos Aplicaciones de ingeniería

El carburo cementado de alta temperatura funciona bien en los siguientes escenarios:

Herramientas de aviación de carburo cementado de alta temperatura

TiC20Ni5Mo (dureza HV 1900, error ±50) tiene una vida útil de más de 5000 horas (error ±500 horas) en corte a alta temperatura, cumpliendo con los requisitos de alta precisión de la fabricación de aviación.

Álabes de turbina de gas de carburo cementado de alta temperatura

WC10Ni5Nb (ganancia de peso de oxidación 0,3 mg/cm² , error ±0,05 mg/cm²) tiene una vida útil de más de 10^4 horas (error ±10^3 horas) en un entorno de gas de alta temperatura , lo que garantiza una generación de energía eficiente.

Componentes de energía nuclear de carburo cementado de alta temperatura

TiC15Ni5Mo (resistencia a la fractura 8 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) puede soportar altas temperaturas en reactores nucleares y tiene una vida útil de más de 10^4 horas (error ±10^3 horas), lo que garantiza un funcionamiento seguro.

Estas aplicaciones demuestran plenamente el excelente rendimiento del carburo cementado de alta temperatura en los campos aeroespacial y energético, proporcionando soluciones de materiales confiables para entornos térmicos extremos.

10.4.5 Carburo cementado multifuncional

El carburo cementado multifuncional se usa ampliamente en el campo de la electrónica (vida útil del electrodo >10^4 horas, error ±10^3 horas) y en las pilas de combustible (eficiencia catalítica >90%, error ±2%) debido a su excelente conductividad eléctrica (resistividad <12 μΩ·cm , error ±0,1 μΩ·cm), rendimiento catalítico (corriente de reacción de oxidación del metanol >450 mA/cm², error ±10 mA/cm²) y buenas propiedades mecánicas (dureza HV 1500-1800, error ± 30). El material se basa principalmente en WC, con Co/Ni (contenido 6%-10%, error ±1%) añadido para mejorar la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

conductividad y la actividad catalítica, y el tamaño de grano se controla con precisión a 0,5-1 μm (error ±0,01 μm). Mediante el proceso de sinterización a 1450°C (error ±10°C), estas aleaciones logran alta densidad y microestructura uniforme, satisfaciendo las necesidades de aplicaciones multifuncionales.

Esta sección comienza desde los dos aspectos de la conductividad y el rendimiento catalítico, así como la aplicación, y combina el análisis del mecanismo, la discusión de los factores influyentes y las estrategias de optimización para analizar en profundidad sus características técnicas y el valor de la aplicación de ingeniería.

10.4.5.1 Conductividad eléctrica y propiedades catalíticas

Principios básicos y descripción general de la tecnologíaMultifuncional

El carburo cementado está diseñado para lograr una excelente conductividad eléctrica (resistividad <12 μΩ·cm , error ±0,1 μΩ·cm) y rendimiento catalítico (corriente de reacción de oxidación de metanol >450 mA/cm ² , error ±10 mA/cm ²) , a la vez que mantiene una alta dureza (HV 1500-1800, error ±30) y una resistencia a la fractura moderada (resistencia a la fractura 8-10 MPa·m ¹ / ² , error ±0,5). El material se basa en WC (contenido >80%, error ±1%), que proporciona las principales propiedades mecánicas, mientras que Co/Ni (contenido 6%-10%, error ±1%) mejora significativamente la conductividad eléctrica y la actividad catalítica. El tamaño de grano se controla entre 0,5-1 μm (error ±0,01 μm) y se prepara mediante un proceso de sinterización a 1450°C (error ±10°C), lo que garantiza la uniformidad microestructural y la estabilidad del rendimiento del material.

Los métodos de prueba incluyen la medición de resistividad (método de cuatro sondas, precisión ±0,1 μΩ·cm), prueba de rendimiento electrocatalítico (reacción de oxidación de metanol, metanol 0,1 M, precisión ±10 mA/cm²) y prueba de dureza (ASTM E92, carga 10 kg, error ±0,1 kg). Por ejemplo, WC8Ni (grano de 0,5 μm , error ±0,01 μm) exhibe una resistividad de 10 μΩ·cm (error ±0,1 μΩ·cm) y una corriente de reacción de oxidación de metanol de 500 mA/cm² (error ±10 mA/cm²) , verificando su rendimiento multifuncional.

Mecanismo y análisis del carburo cementado multifuncional

La alta conductividad del Ni/Co (resistividad de 7 μΩ·cm , error de ±0,1 μΩ·cm) reduce eficazmente la resistividad del material total a 10 μΩ·cm (error de ±0,1 μΩ·cm). La actividad catalítica del WC (energía superficial de 1 J/m² , error de ±0,1 J/ m²) y el efecto sinérgico del Ni promueven significativamente la reacción de oxidación del metanol, y la corriente alcanza los 500 mA/cm² (error de ±10 mA/cm²) . La dureza HV 1600 (error ±30) se debe principalmente a los granos finos (0,5 μm , error ±0,01 μm), y la resistencia a la fractura de 8 MPa·m¹ /² (error ±0,5) se debe a la capacidad de deformación plástica del Ni/Co. El análisis SEM muestra que la distribución de grano del WC8Ni es altamente uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %), y la fase de Ni forma una red continua (cobertura >95 %, error ±2 %), lo que optimiza la conductividad y el rendimiento catalítico. Las pruebas EDS confirmaron además la uniformidad de la distribución del Ni (desviación <0,1 %, error ±0,02 %). Las pruebas de rendimiento electrocatalítico muestran que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la corriente de reacción de oxidación de metanol de WC8Ni (500 mA/cm² , error ±10 mA/cm²) es significativamente mejor que la de WC8Co (400 mA/cm² , error ±10 mA/cm²) .

El análisis de los factores que afectan el rendimiento de los materiales de carburo cementado multifuncionales
se ve afectado por una combinación de factores:

Contenido de Ni/Co
La conductividad es mejor cuando el contenido de Ni/Co es del 8% (error ±1%); si supera el 12% (error ±1%), la dureza disminuye aproximadamente un 10% (error ±2%), lo que puede deberse a un ablandamiento debido al exceso de fase aglutinante.

Tamaño del grano
El rendimiento catalítico es mejor cuando el tamaño de grano es de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm); si supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la corriente de reacción de oxidación del metanol disminuye en un 15% (error ±3%), lo que está relacionado con la reducción de la actividad superficial.

Tratamiento de superficies
Cuando la rugosidad de la superficie Ra es menor que 0,05 μm (error ± 0,01 μm), la eficiencia catalítica aumenta en un 10% (error ± 2%); si la rugosidad es mayor que 0,1 μm (error ± 0,01 μm), la resistividad aumenta en un 10% (error ± 2%).

Condiciones electrolíticas
En una solución de metanol 0,1 M, la corriente de la reacción de oxidación del metanol es alta; si el pH < 2 (error ± 0,1), la corriente cae un 20 % (error ± 3 %).

Condiciones de carga
El electrodo funciona a una densidad de corriente >1 A/cm² (error ±0,1 A/cm²) , se requiere una mayor conductividad para mantener el rendimiento.

Por ejemplo, la corriente de WC12Ni (granos de 2 μm , error de ±0,01 μm) en la reacción de oxidación del metanol cae a 400 mA/cm² (error de ± 10 mA/cm²) , lo que indica el efecto significativo del tamaño del grano en el rendimiento catalítico.

Para lograr una resistividad de <12 μΩ·cm (error ±0,1 μΩ·cm) y una corriente de reacción de oxidación de metanol de >450 mA/cm² (error ±10 mA/ cm²) , se recomiendan las siguientes estrategias **de optimización :**

Optimización de ingredientes
El contenido de Ni/Co se controla entre el 6% y el 10% (error ±1%) y el contenido de WC se mantiene en >80% (error ±1%) para equilibrar la conductividad, las propiedades catalíticas y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

mecánicas.

Control de granos

El tamaño del grano se mantuvo entre 0,5 y 1 μm (error ±0,01 μm) y se evitó el crecimiento del grano añadiendo un inhibidor de VC (0,2 %, error ±0,01 %).

Optimización de superficies

Se utiliza tecnología de pulido de precisión para controlar la rugosidad de la superficie a Ra < 0,05 μm (error ± 0,01 μm), mejorando la eficiencia catalítica en un 10 % (error ± 2 %).

Proceso de sinterización

a una temperatura de sinterización de 1450°C (error ±10°C) y una presión de 50 MPa (error ±1 MPa) para garantizar una densidad de >99,5% (error ±0,1%), mejorando la conductividad eléctrica y la estabilidad estructural.

Especificaciones de prueba

La resistividad se probó mediante el método de cuatro sondas y el rendimiento catalítico se evaluó mediante la prueba de reacción de oxidación del metanol.

Por ejemplo, después de la optimización, la resistividad de WC8Ni (tamaño de grano 0,5 μm , error ±0,01 μm) alcanzó 10 μΩ·cm (error ±0,1 μΩ·cm), y la corriente de reacción de oxidación del metanol alcanzó 500 mA/cm² (error ±10 mA/cm²) , verificando la eficacia de la estrategia.

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado multifuncional

El carburo cementado multifuncional funciona bien en los siguientes escenarios:

Electrodos multifuncionales de carburo cementado para pilas de combustible

WC8Ni (corriente de reacción de oxidación de metanol 500 mA/cm² , error ±10 mA/cm²) tiene una eficiencia catalítica de más del 90 % (error ±2 %) en celdas de combustible, lo que favorece una conversión eficiente de energía.

Contactos electrónicos de carburo multifuncionales

^{4} horas (error ±10 ^{3} horas) en equipos electrónicos, lo que garantiza un funcionamiento estable a largo plazo.

Portador de catalizador de carburo cementado multifuncional

WC8Ni (dureza HV 1600, tolerancia ±30) tiene una eficiencia de más del 90% (error ±2%) en reacciones catalíticas y una vida útil de más de 10 ^{4} horas (error ±10 ^{3} horas), satisfaciendo las necesidades industriales.

Estas aplicaciones demuestran plenamente la confiabilidad y practicidad del carburo cementado multifuncional en los campos de la electrónica y la catálisis, proporcionando un soporte de material multifuncional eficiente para las industrias relacionadas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.5 Clasificación por proceso de fabricación

El proceso de fabricación del carburo cementado afecta directamente su microestructura (tamaño de grano 0,2-10 μm , error ± 0,01 μm), rendimiento (dureza HV 800-2500, error ± 30, resistencia a la fractura 8-25 MPa·m $^{1/2}$, error ± 0,5) y rango de aplicación (vida útil > 10 horas, error ± 1 hora a > 10^6 veces, error ± 10^5 veces). La selección del proceso se basa en la composición química (WC, TiC , Co, Ni, etc.), las características del polvo (tamaño de partícula 0,1-5 μm , error ± 0,01 μm) y el rendimiento objetivo, que se verifica mediante microscopía electrónica de barrido (resolución < 0,1 μm , error ± 0,01 μm), difracción de rayos X (precisión ± 0,01 μm) y pruebas de rendimiento (ASTM E92, G65).

Las categorías incluyen sinterización convencional (densidad > 99%, error ± 0,1%), prensado isostático en caliente (porosidad < 0,1%, error ± 0,01%), proceso de recubrimiento (resistencia al desgaste mejorada en un 30% - 50%, error ± 5%) y fabricación aditiva (libertad de forma > 95%, error ± 2%), que satisfacen respectivamente las diversas necesidades de corte, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y alta temperatura.

En esta sección se analizan las características y aplicaciones del proceso desde cuatro aspectos: carburo cementado sinterizado convencional, carburo cementado prensado isostático en caliente (HIP), carburo cementado recubierto y carburo cementado fabricado de forma aditiva.

10.5.1 Carburo cementado sinterizado convencional

El carburo cementado sinterizado convencional se prepara mediante pulvimetalurgia, que implica la mezcla de polvos (WC, Co, etc., tamaño de partícula 0,5-2 μm , error ±0,01 μm), prensado (presión 100-300 MPa, error ±1 MPa) y sinterización (1350-1500 °C, error ±10 °C) para formar una estructura densa. Se utiliza ampliamente en herramientas de corte (vida útil >10 horas, error ±1 hora), moldes (>10^6 veces, error ±10^5 veces) y piezas resistentes al desgaste (tasa de desgaste <0,06 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$). El proceso es maduro y el coste de producción es bajo (<50 yuanes/kg, error ±5 yuanes/kg).
En esta sección se analizan sus características técnicas desde dos vertientes: sinterización al vacío y características de rendimiento.

10.5.1.1 Sinterización al vacío (1350-1500 °C)

Principios básicos y descripción técnica.
La sinterización al vacío se realiza a 1350-1500 °C (error ±10 °C) y un grado de vacío <10^{-2} Pa (error ±0,01 Pa). Se utiliza polvo (contenido de WC 80 %-95 %, error ±1 %, contenido de Co 5 %-15 %, error ±1 %) para formar una estructura densa (densidad >99 %, error ±0,1 %) mediante sinterización en fase líquida (punto de fusión de Co ~1350 °C, error ±10 °C). El proceso optimiza la pureza del material eliminando gases e impurezas volátiles (contenido de oxígeno <0,05 %, error ±0,01 %), y el tamaño de grano se controla entre 0,5 y 2 μm (error ±0,01 μm), la dureza alcanza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

HV 1600-2000 (error ±30) y la resistencia a la fractura alcanza 10-15 MPa·m ¹ / ² (error ±0,5).

El equipo incluye un horno de vacío (potencia 100-500 kW, error ±10 kW), y los métodos de prueba cubren medición de densidad (ISO 3369, precisión ±0,01 g/cm³) , prueba de dureza (ASTM E92, carga 10 kg, error ±0,1 kg) y análisis de microestructura (microscopio electrónico de barrido, resolución <0,1 μm , error ±0,01 μm). Por ejemplo, YG6 (WC6Co) sinterizado a 1450 °C (error ±10 °C) tiene una densidad de 14,9 g/cm³ (error ±0,01 g/cm³) y una dureza de HV 2000 (error ±30).

Análisis del mecanismo

Durante el proceso de sinterización en fase líquida, Co humedece WC (ángulo de contacto <10°, error ±1°) en forma líquida (viscosidad 0,01 Pa·s , error ±0,001 Pa·s), promueve la reorganización de partículas (aumento de densidad >20%, error ±2%) y la difusión (coeficiente de difusión 10 ⁻ ⁸ cm ² /s, error ±10 ⁻ ⁹ cm ² /s), y forma una interfaz WCCo (resistencia de enlace >100 MPa, error ±10 MPa). El entorno de vacío reduce la oxidación (contenido de oxígeno <0,01%, error ±0,001%), mientras que la adición de VC (0,2%, error ±0,01%) inhibe el crecimiento del grano y mantiene el tamaño del grano a 0,5-1 μm (error ±0,01 μm). La microscopía electrónica de barrido muestra que los granos de YG6 están distribuidos uniformemente (desviación <0,1 %, error ±0,02 %) y la fase Co está distribuida continuamente (cobertura >95 %, error ±2 %). La difracción de rayos X confirmó la presencia de la fase WC (2θ aproximadamente 35,6°, error ±0,1°) y la ausencia de la fase η (ratio carbono/tungsteno <1,0, error ±0,1). Las pruebas de rendimiento mostraron que la tasa de desgaste de YG6 fue de tan solo 0,05 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m), lo cual fue mejor que la de la sinterización atmosférica (0,08 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m).

Análisis de factores influyentes

El rendimiento se ve afectado por muchos factores:

Temperatura de sinterización

A 1450°C (error ±10°C), la densidad es >99% (error ±0,1%); si supera los 1500°C (error ±10°C), los granos crecen y la dureza disminuye un 10% (error ±2%).

Contenido conjunto

La mejor resistencia a la fractura es del 6%-10% (error ±1%); si supera el 15% (error ±1%), la dureza disminuye en un 15% (error ±3%).

Tamaño del grano

La resistencia al desgaste es fuerte cuando el diámetro es de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm); si supera los 2 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste aumenta en un 15% (error ±3%).

Grado de vacío

<10 ⁻ ² Pa (error ±0,01 Pa), hay menos impurezas; si >10 ⁻ ¹ Pa (error ±0,01 Pa), la porosidad aumenta en un 10% (error ±2%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tiempo de aislamiento

La estructura es uniforme después de 1-2 horas (error ±0,1 horas); si supera las 3 horas (error ±0,1 horas), el tamaño del grano crecerá un 10% (error ±2%).

Por ejemplo, el tamaño de grano de YG8 (1450 °C, error ±10 °C, Co 8 %, error ±1 %) crece a 2 μm (error ±0,01 μm) y la dureza disminuye a HV 1900 (error ±30).

La estrategia de optimización

consiste en lograr una densidad > 99 % (error ± 0,1 %) y una dureza > HV 1900 (error ± 30 %). Se recomienda:

Control de temperatura: Mantener a 1450°C (±10°C) para evitar un tamaño de grano excesivo.

Cooptimización: El contenido se controla en 6%-10% (error ±1%), equilibrando la dureza y la resistencia a la fractura.

Control de grano: se agrega VC (0,2 %, error ±0,01 %) y el tamaño de grano se mantiene en 0,5-1 μm (error ±0,01 μm).

Grado de vacío: $<10^{-2}$ Pa (error ±0,01 Pa), reduciendo la porosidad.

Especificaciones de prueba: ISO 3369 (densidad), ASTM E92 (dureza).

Por ejemplo, YG6 (1450 °C, error ±10 °C, VC 0,2 %, error ±0,01 %) tiene una densidad de 14,9 g/cm³ (error ±0,01 g/cm³) y una dureza de HV 2000 (error ±30).

Aplicaciones de ingeniería

El carburo cementado sinterizado al vacío funciona bien en los siguientes escenarios:

Herramientas de corte

YG6 (dureza HV 2000, error ±30) vida útil > 10 horas (error ±1 hora).

Troquel de estampación

YG8 (resistencia a la fractura 12 MPa·$m^{1/2}$, error ±0,5) vida útil > 10^{6} veces (error ±10^{5} veces).

Piezas resistentes al desgaste

YG6 (índice de desgaste 0,05 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m), vida útil >10^{4} horas (error ±10^{3} horas) . Estas aplicaciones demuestran que la sinterización al vacío cumple con los requisitos generales de alto rendimiento .

10.5.1.2 Características de rendimiento: densidad > 99%

Principios básicos y descripción técnica

El carburo cementado sinterizado convencional tiene una densidad de >99% (error ±0,1%), una densidad teórica de 14,5-15,0 g/cm³ (error ±0,01 g/cm³), una porosidad de <0,5% (error ±0,1%), una dureza de HV 1600-2000 (error ±30) y una resistencia a la fractura de 10-15 MPa·$m^{1/2}$ (error ±0,5), que es adecuada para entornos de alta carga (>100 MPa, error ±10 MPa) y alta fricción (coeficiente de fricción <0,5, error ±0,05). El tamaño de grano es de 0,5-2 μm (error ±0,01 μm) y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el contenido de Co es de 6%-15% (error ±1%).

Las pruebas incluyen medición de densidad (ISO 3369, precisión ±0,01 g/cm³) , análisis de porosidad (ISO 4505, precisión ±0,01 %) y pruebas de rendimiento (ASTM G65, precisión ±0,01 mm³/N·m). Por ejemplo, la densidad de YG6 (WC6Co) es de 14,9 g/cm³ (error ±0,01 g/ cm³) , la porosidad es del 0,3 % (error ±0,05 %) y la dureza es HV 2000 (error ±30).

Se logra una alta densidad mediante sinterización en fase líquida (fracción de volumen de Co >10%, error ±1%), reordenamiento de partículas (aumento de densidad >20%, error ±2%) y relleno de poros (porosidad <0,5%, error ±0,1%) para optimizar la estructura. La interfaz WCCo (energía de enlace ~100 kJ/mol, error ±10 kJ/mol) asegura una dureza de HV 2000 (error ±30), y la red de Co (cobertura >95%, error ±2%) proporciona una resistencia a la fractura de 10 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5). La microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de poro de YG6 es <0,1 μm (error ±0,01 μm) y la distribución es uniforme (desviación <0,1%, error ±0,02%). La espectroscopia de energía dispersiva confirma la distribución uniforme de Co (desviación <0,1%, error ±0,02%).

Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste de YG6 es de solo 0,05 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m), lo que es mejor que la baja densidad (<98 %, error ±0,1 %, tasa de desgaste 0,08 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m).

Análisis de factores influyentes

El rendimiento se ve afectado por muchos factores:

Densidad

Cuando el error es >99% (error ±0,1%), la resistencia al desgaste es excelente; si es <98% (error ±0,1%), la tasa de desgaste aumenta en un 20% (error ±3%).

Tamaño del grano

La dureza es alta cuando el diámetro es de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm); si es >2 μm (error ±0,01 μm), la dureza disminuye en un 10% (error ±2%).

Contenido conjunto

El rendimiento está equilibrado cuando el valor está entre 6% y 10% (error ±1%); si el valor es >15% (error ±1%), la resistencia a la fractura aumenta pero la dureza disminuye en un 15% (error ±3%).

Temperatura de sinterización

La porosidad es baja a 1450°C (error ±10°C); si es >1500°C (error ±10°C), la porosidad aumenta en un 10% (error ±2%).

Tamaño de las partículas de polvo

La densidad es alta cuando el diámetro es de 0,5-1 μm (error ±0,01 μm); si es >2 μm (error ±0,01 μm), la porosidad aumenta en un 15% (error ±3%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Por ejemplo, la tasa de desgaste de YG8 (densidad 98%, error ±0,1%) aumenta a 0,07 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m).

La estrategia de optimización

consiste en lograr una densidad > 99 % (error ± 0,1 %) y una dureza > HV 1900 (error ± 30). Se recomienda:

Optimización del polvo: tamaño de partícula 0,5-1 μm (error ± 0,01 μm), pureza > 99,9% (error ± 0,01%).

Cooptimización: contenido 6%-10% (error ±1%), rendimiento equilibrado.

Parámetros de sinterización: 1450°C (error ±10°C), mantener caliente durante 1-2 horas (error ±0,1 hora).

Control de grano: se agrega VC (0,2 %, error ±0,01 %) y el tamaño de grano se mantiene en 0,5-1 μm (error ±0,01 μm).

Especificaciones de prueba: ISO 3369 (densidad), ASTM G65 (abrasión).

La tasa de desgaste de YG6 (densidad 14,9 g/ cm³, error ±0,01 g/ cm³) es de 0,05 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m).

Aplicaciones de ingeniería

El carburo cementado de alta densidad funciona bien en los siguientes escenarios:

Herramienta de corte: YG6 (densidad 14,9 g/ cm³, error ±0,01 g/cm³) , vida útil > 10 horas (error ±1 hora).

Molde : YG8 (dureza HV 1900, error ±30) vida útil > 10^6 veces (error ±10^5 veces).

Sellos: YG6 (índice de desgaste 0,05 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m), vida útil >10^4 horas (error ±10^3 horas) . Estas aplicaciones demuestran que la alta densidad cumple con los requisitos de alto rendimiento.

1 0.5.2 Prensado isostático en caliente (HIP) de carburo cementado

El prensado isostático en caliente (HIP) de carburo cementado elimina con éxito la porosidad (porosidad <0,1 %, error ±0,01 %) y mejora significativamente la resistencia (>2000 MPa, error ±50 MPa) y la fiabilidad (resistencia a la fatiga >10^6 veces, error ±10^5 veces) mediante tratamientos a alta temperatura (1300-1500 °C, error ±10 °C) y alta presión (100-200 MPa, error ±1 MPa) . Este proceso es especialmente adecuado para herramientas de alta fiabilidad, como las de aviación (vida útil >5000 horas, error ±500 horas) y piezas resistentes al desgaste (índice de desgaste <0,04 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m). Sin embargo, debido a la complejidad del proceso, su costo de producción es relativamente alto (>100 yuanes/kg, error ±10 yuanes/kg).

En esta sección se analizan sus características técnicas y su valor ingenieril desde la doble vertiente de ventajas de proceso y aplicaciones.

10.5.2.1 Ventajas del proceso: Porosidad <0,1%

de

argón (presión 100-200 MPa, error ± 1 MPa, temperatura 1300-1500 °C, error ± 10 °C) y utiliza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

polvo (contenido de WC 85 %-95 %, error ± 1 %, contenido de Co 5 %-10 %, error ± 1 %) para preparar una estructura densa con una porosidad de menos de 0,1 % (error ± 0,01 %). La dureza del material alcanza HV 1800-2200 (error ±30), la resistencia a la fractura es de 12-15 MPa·m $^{1/2}$ (error ±0,5) y el tamaño de grano se controla a 0,5-1 μm (error ±0,01 μm).

El equipo es un horno HIP (volumen 0,1-1 m^3 , error ±0,01 m^3) , y los métodos de prueba incluyen medición de porosidad (ISO 4505, precisión ±0,01%), prueba de resistencia (ISO 3327, precisión ±10 MPa) y análisis de microestructura (microscopio electrónico de barrido, resolución <0,1 μm , error ±0,01 μm). Por ejemplo, la porosidad de YG6HIP (WC6Co) es de tan solo el 0,05% (error ±0,01%) y la dureza es HV 2100 (error ±30).

Mecanismo y análisis

La alta presión (100 MPa, error ±1 MPa) impulsa el cierre de poros (tamaño de poro <0,05 μm , error ±0,01 μm), y la alta temperatura (1400 °C, error ±10 °C) promueve la difusión atómica (el coeficiente de difusión es de aproximadamente 10^{-7} cm^2 /s, error ±10^{-8} cm^2 /s), logrando una estructura cercana a la densidad teórica (>99,9 %, error ±0,01 %). La interfaz WCCo (resistencia de enlace >150 MPa, error ±10 MPa) mejora significativamente la resistencia del material (>2000 MPa, error ±50 MPa). La microscopía electrónica de barrido muestra que el número de poros de YG6HIP es escaso (densidad <10^4 cm^{-2} , error ±10^3 cm^{-2}) y los granos son uniformes (0,5 μm , error ±0,01 μm , desviación <0,1 %, error ±0,02 %). La espectroscopia de dispersión de energía confirmó que el Co se distribuyó de manera uniforme (desviación <0,1 %, error ±0,02 %). Los resultados de la prueba de fatiga mostraron que la vida útil por fatiga de YG6HIP superó las 10^6 veces (error ±10^5 veces), lo que fue significativamente mejor que la sinterización convencional (5×10^5 veces, error ±5×10^4 veces).

Análisis de factores influyentes

El rendimiento se ve afectado por muchos factores:

presión

La porosidad es <0,1% (error ±0,01%) a 100-150 MPa (error ±1 MPa); si es inferior a 50 MPa (error ±1 MPa), la porosidad aumenta un 20% (error ±3%).

temperatura

La densidad es máxima a 1400°C (error ±10°C); si supera los 1500°C (error ±10°C), los granos crecen y la dureza disminuye un 10% (error ±2%).

Contenido conjunto

La resistencia a la fractura es mejor cuando es del 6%-10% (error ±1%); si supera el 15% (error ±1%), la resistencia disminuye en un 15% (error ±3%).

Cuerpo presinterizado

El efecto HIP es bueno cuando la densidad es >95% (error ±0,1%); si es inferior al 90% (error

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

±0,1%), la porosidad aumenta en un 10% (error ±2%).

Tiempo de aislamiento

La estructura es uniforme después de 1-2 horas (error ±0,1 horas); si supera las 3 horas (error ±0,1 horas), el tamaño del grano crecerá un 10% (error ±2%).

Por ejemplo, la porosidad de YG8HIP (presión 50 MPa, error ±1 MPa) aumentó al 0,2% (error ±0,01%).

La estrategia de optimización

consiste en lograr una porosidad <0,1 % (error ±0,01 %) y una dureza >HV 2000 (error ±30). Se recomienda:

Optimización de la presión: mantenida en 100-150 MPa (error ±1 MPa), eliminando eficazmente la porosidad.

Control de temperatura: 1400°C (error ±10°C) para evitar un tamaño de grano excesivo.

Cooptimización: contenido 6%-10% (error ±1%), equilibrando resistencia y resistencia a la fractura.

Optimización de presinterización: densidad del cuerpo presinterizado > 95 % (error ±0,1 %), tamaño de grano 0,5-1 μm (error ±0,01 μm).

Especificaciones de prueba: ISO 4505 (porosidad), ISO 3327 (resistencia).

Por ejemplo, YG6HIP (1400 °C, error ±10 °C, 150 MPa, error ±1 MPa) tiene una porosidad del 0,05 % (error ±0,01 %) y una dureza de HV 2100 (error ±30).

Para aplicaciones de ingeniería

funciona bien en los siguientes escenarios:

Herramienta de aviación de carburo: YG6HIP (dureza HV 2100, error ±30) vida útil > 5000 horas (error ±500 horas).

Molde de precisión de carburo: YG8HIP (resistencia a la fractura 15 MPa·m $^{1/2}$, error ±0,5) vida útil > 10^6 veces (error ±10^5 veces).

Piezas de carburo resistentes al desgaste: YG6HIP (índice de desgaste 0,04 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m), vida útil > 10 horas (error ± 10 horas) . Estas aplicaciones demuestran que el proceso HIP cumple con altos requisitos de fiabilidad.

10.5.2.2 Aplicación: Herramientas de carburo de alta confiabilidad

Principios básicos y descripción general de la tecnología HIP

El carburo cementado es adecuado para herramientas de alta fiabilidad, incluyendo herramientas de aviación (vida útil > 5000 horas, error ± 500 horas), dispositivos médicos (precisión < 0,01 mm, error ± 0,001 mm) y moldes de precisión (> 10^6 veces, error ± 10^5 veces) debido a su baja porosidad (< 0,1 %, error ± 0,01 %) y alta resistencia (> 2000 MPa, error ± 50 MPa) . El tamaño de grano es de 0,5-1 μm (error ± 0,01 μm), el contenido de Co es del 6 % al 10 % (error ± 1 %) y el rango de dureza es HV 1800-2200 (error ± 30).

Los métodos de prueba incluyen pruebas de rendimiento por fatiga (ASTM E466, precisión ±10^4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

veces), pruebas de desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3 / N · m) y medición de porosidad (ISO 4505, precisión ±0,01%). Por ejemplo, la vida útil del YG6HIP (grano de 0,5 μm , error ±0,01 μm) en herramientas de aviación supera las 5000 horas (error ±500 horas), y la tasa de desgaste es de tan solo 0,04 mm^3 / N · m (error ±0,01 mm^3 / N · m).

Análisis del mecanismo:

La baja porosidad (<0,1 %, error ±0,01 %) reduce la concentración de tensiones (factor de concentración de tensiones <1,1, error ±0,05), lo que mejora la resistencia a la fatiga (>10^6 veces, error ±10^5 veces). La interfaz WCCo (energía de enlace de aproximadamente 150 kJ/mol, error ±10 kJ/mol) garantiza una dureza HV 2100 (error ±30), y el Co (contenido del 6 %, error ±1 %) proporciona una resistencia a la fractura de 15 $MPa \cdot m^{1/2}$ (error ±0,5). La microscopía electrónica de barrido muestra que el YG6HIP presenta una baja densidad de poros (<10^4 cm^{-2} , error ±10^3 cm^{-2}) y una superficie lisa (rugosidad Ra<0,05 μm , error ±0,01 μm). La espectroscopia de energía dispersiva confirma que el Co se distribuye uniformemente (desviación <0,1 %, error ±0,02 %). Los resultados de las pruebas de fatiga muestran que el YG6HIP es superior a la sinterización convencional (vida útil 5×10^5 veces, error $\pm5\times10^4$ veces).

El análisis de factores de influencia

se ve afectado por muchos factores:

Porosidad

Cuando es <0,1% (error ±0,01%), la vida es larga; si es >0,5% (error ±0,01%), la vida por fatiga disminuye en un 20% (error ±3%).

Tamaño del grano

0,5-1 μm (error ±0,01 μm); si es >2 μm (error ±0,01 μm), la resistencia disminuye en un 10% (error ±2%).

Contenido conjunto

La resistencia a la fractura es buena cuando es del 6%-10% (error ±1%); si es >15% (error ±1%), la dureza disminuye en un 15% (error ±3%).

Rugosidad de la superficie

Cuando Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste disminuye en un 10% (error ±2%); si es >0,1 μm (error ±0,01 μm), la tasa de desgaste aumenta en un 15% (error ±3%).

Condiciones de carga

Se requiere una baja porosidad para resistir la fatiga a vibraciones de alta frecuencia (>10 Hz, tolerancia ±1 Hz).

Por ejemplo, la vida útil de YG8HIP (porosidad 0,2 %, error ±0,01 %) se reduce a 3000 horas (error ±500 horas).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La estrategia de optimización

consiste en lograr una vida útil de >5000 horas (error ±500 horas) y una porosidad de <0,1 % (error ±0,01 %). Se recomienda lo siguiente:

Parámetros HIP: temperatura 1400°C (error ±10°C), presión 150 MPa (error ±1 MPa).

Control de grano: mantenido en 0,5-1 μm (error ±0,01 μm), añadiendo VC (0,2%, error ±0,01%).

Cooptimización: contenido 6%-10% (error ±1%), rendimiento equilibrado.

Optimización de la superficie: mediante el pulido, la rugosidad se controla en Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm) y la tasa de desgaste se reduce en un 10% (error ±2%).

Especificaciones de prueba: ASTM E466 (fatiga), ISO 4505 (porosidad).

Por ejemplo, la vida útil de YG6HIP (rugosidad Ra<0,05 μm , error ±0,01 μm) supera las 5000 horas (error ±500 horas).

Aplicación de ingeniería

El carburo cementado HIP funciona bien en los siguientes escenarios:

Herramientas de corte de carburo para aviación

YG6HIP (dureza HV 2100, error ±30) vida útil > 5000 horas (error ±500 horas).

brocas médicas de carburo

YG8HIP (precisión <0,01 mm, error ±0,001 mm) vida útil >10^4 veces (error ±10^3 veces).

Molde de precisión de carburo

YG6HIP (índice de desgaste 0,04 $mm^3/N \cdot m$, error ±0,01 $mm^3/N \cdot m$) vida útil >10^6 veces (error ±10^5 veces). Estas aplicaciones demuestran plenamente el excelente rendimiento del carburo cementado HIP en requisitos de alta fiabilidad.

10.5.3 Carburo revestido

El carburo cementado recubierto mejora significativamente la resistencia al desgaste (incremento del 30%-50%, error ±5%), la resistencia a la corrosión (reducción del índice de corrosión del 50%, error ±5%) y la vida útil (>20 horas, error ±2 horas) mediante la aplicación de un recubrimiento (espesor 1-10 μm , error ±0,1 μm) sobre un sustrato (WCCo , dureza HV 1600-2000, error ±30). Este material es apto para corte a alta velocidad (>1500 m/min, error ±10 m/min) y entornos hostiles (pH 2-12, error ±0,1).

En esta sección se analizan las características técnicas y el valor de aplicación de los recubrimientos HVOF, PVD y CVD y la mejora del rendimiento.

10.5.3.1 Recubrimientos HVOF, PVD y CVD

Principios básicos y descripción técnica del carburo cementado revestido

El carburo cementado revestido utiliza tecnología de pulverización de oxígeno combustible a alta velocidad (HVOF), deposición física de vapor (PVD) o deposición química de vapor (CVD) para depositar un recubrimiento de TiN , TiAlN o Al_2O_3 sobre el sustrato (contenido de WC 85%-95%,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

error ±1%, contenido de Co 5%-10%, error ±1%), y el espesor del recubrimiento es de 2-5 μm (error ±0,1 μm). La velocidad de pulverización de HVOF supera los 500 m/s (error ±10 m/s), la temperatura de deposición de PVD es inferior a 500 °C (error ±10 °C) y la temperatura de deposición de CVD es superior a 800 °C (error ±10 °C). La dureza del recubrimiento alcanza HV 2000-3000 (error ±50) y el coeficiente de fricción es inferior a 0,3 (error ±0,05).
Hornos de PVD (vacío <10 $^{-3}$ Pa, error ±0,001 Pa) y hornos de CVD (presión de gas 1-10 kPa, error ±0,1 kPa). Los métodos de prueba cubren la medición del espesor del recubrimiento (ISO 18452, precisión ±0,01 μm), pruebas de adhesión (ISO 26443, precisión ±1 MPa) y evaluación de la resistencia al desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 mm³ / N · m). Por ejemplo, la dureza del recubrimiento TiAlN (PVD, espesor 3 μm , error ±0,1 μm) es HV 2800 (error ±50), y la tasa de desgaste es solo 0,03 mm³ / N · m (error ±0,01 mm³ / N · m).

carburo cementado recubierto HVOF El PVD
forma un recubrimiento denso (porosidad <1 %, error ±0,1 %) mediante deposición de partículas a alta velocidad (>500 m/s, error ±10 m/s) y la adhesión supera los 70 MPa (error ±5 MPa). El PVD utiliza bombardeo de iones (energía 100 eV, error ±10 eV) para generar recubrimientos de grano fino (granos <0,1 μm , error ±0,01 μm) y la dureza alcanza HV 2800 (error ±50). El CVD forma un recubrimiento uniforme (desviación de espesor <0,1 μm , error ±0,01 μm) mediante reacciones químicas (velocidad de reacción 10 $^{-6}$ mol/s, error ±10 $^{-7}$ mol/s) y tiene resistencia a altas temperaturas (>1000 °C, error ±1000 °C). ±10 °C). La microscopía electrónica de barrido mostró que el recubrimiento de TiAlN (PVD) era denso (poros <0,01 %, error ±0,001 %), y la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X confirmó la distribución de Ti y Al (Ti 2p era de aproximadamente 459 eV, error ±0,1 eV).

Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste del recubrimiento TiAlN (PVD) es de solo 0,03 mm³/N·m (error ±0,01 mm³/N·m), lo que es significativamente mejor que el del sustrato sin recubrimiento (0,06 mm³/N·m, error ±0,01 mm³/N·m).

El análisis de los factores que afectan
el rendimiento del carburo cementado recubierto se ve afectado por muchos factores:

Tipo de recubrimiento
TiAlN (PVD) tiene un 50% más de resistencia al desgaste (error ±5%); Al_2O_3 (CVD) tiene mejor resistencia a altas temperaturas.

espesor
El rendimiento está equilibrado cuando el diámetro es de 2-5 μm (error ±0,1 μm); si supera los 10 μm (error ±0,1 μm), la tasa de pelado aumenta en un 20% (error ±3%).

Dureza de la matriz
Cuando HV>1800 (error ±30), la adhesión es fuerte; si <1600 (error ±30), la tasa de pelado aumenta en un 15% (error ±3%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Temperatura de deposición

Cuando el PVD es <500 °C (error ±10 °C), el rendimiento del sustrato permanece sin cambios; cuando el CVD es >800 °C (error ±10 °C), la resistencia a la fractura del sustrato disminuye en un 10 % (error ±2 %).

Rugosidad de la superficie

Cuando Ra < 0,05 μm (error ±0,01 μm), la resistencia al desgaste mejora en un 10 % (error ±2 %). Por ejemplo, la tasa de pelado de TiN (CVD, espesor 10 μm , error ±0,1 μm) aumentó al 20% (error ±3%).

Estrategia de optimización para carburo cementado revestido

Para lograr una mejora de la resistencia al desgaste > 30 % (error ± 5 %) y una adhesión > 70 MPa (error ± 5 MPa), se recomienda:

Opciones de recubrimiento: TiAlN (PVD, adecuado para corte a alta velocidad), Al_2O_3 (CVD, adecuado para entornos de alta temperatura).

Control de espesor: Mantener entre 2-5 μm (error ±0,1 μm) para evitar que se pele.

Optimización de la matriz: dureza HV>1800 (error ±30), tamaño de grano 0,5-1 μm (error ±0,01 μm).

Pretratamiento de la superficie: Pulido a Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm), adhesión aumentada en un 10% (error ±2%).

Especificaciones de prueba: ISO 26443 (adhesión), ASTM G99 (abrasión).

Por ejemplo, la tasa de desgaste de TiAlN (PVD, espesor 3 μm , error ±0,1 μm) es 0,03 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$).

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado revestido

El carburo cementado revestido funciona bien en los siguientes escenarios:

Herramienta de alta velocidad: TiAlN (PVD, dureza HV 2800, error ±50), vida útil > 20 horas (error ±2 horas).

Molde: Al_2O_3 (CVD, resistencia a altas temperaturas >1000°C, error ±10°C), vida útil $>10^6$ veces (error $\pm 10^5$ veces).

Piezas resistentes al desgaste: HVOF WC-Co (índice de desgaste 0,03 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$), vida útil > 10 horas (error ± 10 horas) . Estas aplicaciones demuestran plenamente la importancia de la tecnología de recubrimiento para mejorar el rendimiento.

10.5.3.2 Mejora del rendimiento del carburo revestido: la resistencia al desgaste aumentó entre un 30% y un 50%.

Principios básicos y descripción técnica del carburo cementado revestido

La resistencia al desgaste del carburo cementado revestido se mejora en un 30%-50% (error ± 5%), la tasa de desgaste se reduce a <0,04 $mm^3/N \cdot m$ (error ± 0,01 $mm^3/N \cdot m$), la vida útil aumenta en> 50% (error ± 5%, > 20 horas, error ± 2 horas), el rango de dureza es HV 2000-3000 (error ± 50) y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el coeficiente de fricción es <0,3 (error ± 0,05). Los materiales de recubrimiento incluyen TiN , TiAlN , Al_2O_3 , el espesor es de 2-5 μm (error ± 0,1 μm) y el tamaño de grano de la matriz es de 0,5-1 μm (error ± 0,01 μm).
Los métodos de prueba incluyen pruebas de desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 $mm^3/N·m$), pruebas de adhesión (ISO 26443, precisión ±1 MPa) y evaluación del rendimiento a alta temperatura (ISO 1832, precisión ±10 °C). Por ejemplo, la tasa de desgaste de TiAlN (PVD, espesor 3 μm , error ±0,1 μm) es de 0,03 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$), lo que aumenta la vida útil en un 50 % (error ±5 %).

Mecanismo y análisis
La alta dureza del recubrimiento (HV 2800, error ±50) reduce efectivamente la tasa de desgaste (<0,04 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$), y el bajo coeficiente de fricción (<0,3, error ±0,05) reduce el calor en el proceso de corte (reducción de temperatura del 20%, error ±3%). El recubrimiento de TiAlN genera Al_2O_3 a alta temperatura (>800°C, error ±10°C), lo que mejora la resistencia a la oxidación (ganancia de peso por oxidación <0,5 mg/cm^2 , error ±0,05 mg/cm^2) . La microscopía electrónica de barrido muestra que el recubrimiento de TiAlN se desgasta uniformemente (profundidad <0,01 mm, error ±0,001 mm), y la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X confirma la presencia de Al_2O_3 (Al_{23} es de aproximadamente 74 eV, error ±0,1 eV). Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste de TiAlN (PVD) es de 0,03 $mm^3/N·m$ (error ±0,01 $mm^3/N·m$), que es mejor que la del sustrato sin recubrimiento (0,06 $mm^3/N·m$, error ±0,01 $mm^3/N·m$).

Análisis de factores influyentes
El rendimiento se ve afectado por muchos factores:

Tipo de recubrimiento
La resistencia al desgaste de TiAlN se mejora en un 50% (error ±5%); la de TiN se mejora en un 30% (error ±5%).

espesor
La resistencia al desgaste es mejor cuando el diámetro es de 2-5 μm (error ±0,1 μm); si es >10 μm (error ±0,1 μm), la tasa de pelado aumenta en un 20% (error ±3%).

Dureza de la matriz
Cuando HV>1800 (error ±30), la vida útil es larga; si <1600 (error ±30), la tasa de falla del recubrimiento aumenta en un 15% (error ±3%).

Condiciones de trabajo
TiAlN es mejor cuando la velocidad de corte es >1500 m/min (error ±10 m/min); <500 m/min (error ±10 m/min)
Se aplica TiN .

Condiciones ambientales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El $_2O_3$ tiene un mejor rendimiento a altas temperaturas (>800 °C, ±10 °C).
Por ejemplo, la tasa de desgaste de TiN (PVD, espesor 10 μm , tolerancia ±0,1 μm) aumenta a 0,05 $mm^3/N·m$ (tolerancia ±0,01 $mm^3/N·m$).

La estrategia de optimización
consiste en lograr una mejora de la resistencia al desgaste de >30 % (error ±5 %) y un aumento de la vida útil de >50 % (error ±5 %). Se recomienda:
Optimización del recubrimiento: TiAlN (PVD, adecuado para corte a alta velocidad), Al_2O_3 (CVD, adecuado para entornos de alta temperatura).
Control de espesor: Mantener entre 2-5 μm (error ±0,1 μm) para evitar que se pele.
Optimización de la matriz: dureza HV>1800 (error ±30), tamaño de grano 0,5-1 μm (error ±0,01 μm).
Tratamiento de superficie: Pulido a Ra<0,05 μm (error ±0,01 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 10% (error ±2%).
Especificaciones de prueba: ASTM G99 (abrasión), ISO 1832 (rendimiento a alta temperatura).
Por ejemplo, la vida útil del TiAlN (PVD, espesor 3 μm , error ±0,1 μm) aumenta en un 50 % (error ±5 %).

para aplicaciones de ingeniería
funciona bien en los siguientes escenarios:
Herramientas de aviación: TiAlN (PVD, tasa de desgaste 0,03 $mm^3 / N · m$, error ±0,01 $mm^3 / N · m$), vida útil > 20 horas (error ±2 horas).
Matriz de estampación: Al_2O_3 (CVD, dureza HV 2500, error ±50) vida útil>10^6 veces (error ±10^5 veces).
Boquilla: HVOF WC-Co (coeficiente de fricción <0,3, error ±0,05), vida útil >10^4 horas (error ±10^3 horas). Estas aplicaciones demuestran el importante efecto de la tecnología de recubrimiento en la mejora de la resistencia al desgaste y la prolongación de la vida útil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tipos de carburo revestido

Clasificación de acuerdo con	revestimiento tipo	Materiales representativos	Rendimiento clave	Aplicaciones típicas
Recubrimiento a presión Material de la capa material	Nitruración cosa	Estaño	Dureza: HV 20002300±50, Coeficiente de fricción: 0,40,6±0,05, Resistencia a la temperatura: <600°C±10°C	Herramientas de corte (como brocas)
		CrN	Dureza: HV 15002000±50, Coeficiente de fricción: 0,30,5±0,05, Aumento de la resistencia a la corrosión: 20%30%±5%	Moldes, piezas petroquímicas
		AlTiN	Dureza: HV 30003500±50, Coeficiente de fricción: 0,30,4±0,05, Resistencia a la temperatura: <900°C±10°C	Fresa de alta velocidad
		ZGar	Dureza: HV 20002500±50, Coeficiente de fricción: 0,40,5±0,05	Molde decorativo
	carburo	Tic	Dureza: HV 28003200±50, Coeficiente de fricción: 0,30,5±0,05, Tenacidad: K_{1c} < 8 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5	Troquel de estampación
		Baño/C	Dureza: HV 10001500±50, Coeficiente de fricción: 0,10,2±0,01	Piezas deslizantes (como cojinetes)
	Óxido	Al_2O_3	Dureza: HV 18002200±50, Coeficiente de fricción: 0,40,6±0,05, Resistencia a la temperatura: <1000°C±10°C	herramienta de torneado
	Boruro	TiB_2	Dureza: HV 30003500±50, Coeficiente de fricción: 0,40,5±0,05, Tenacidad: K_{1c} < 6 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5	Herramientas de mecanizado de cerámica
	Carbono similar al diamante	Contenido descargable	Dureza: HV 20008000±100, Coeficiente de fricción: 0,050,2±0,01, Pérdida de peso por corrosión: <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²	Anillo de sellado, molde
	complejo /Multicapa	TiN / AlTiN	Dureza: HV 25003500±50, espesor de capa: 0,52 μm±0,1 μm /capa, resistencia a la temperatura: <900 °C±10 °C	Herramientas de corte complejas
		CrN /DLC	Dureza: HV 20004000±100, Coeficiente de fricción: 0,050,2±0,01, Aumento de la resistencia a la corrosión: 20%30%±5%	Piezas y moldes petroquímicos
Según el proceso de preparación	Degradación fotovoltaica	TiN , CrN , AlTiN , DLC	Dureza: HV 15003500±50, Adhesión: >50 MPa±5 MPa, Superficie: Ra<0,05 μm±0,01 μm	Herramientas de precisión, sellos
	ECV	TiC , TiN , Al_2O_3	Dureza: HV 20003000±50, Espesor: 510 μm±0,5 μm , Resistencia a la temperatura: <1000 °C±10 °C	Herramientas y moldes para trabajos pesados
	Plasma Pulverización	WC/ Compañía, Cr_3C_2 / NiCr	Dureza: HV 8001200±50, Espesor: 50500 μm±10 μm , Superficie: Ra>0,5 μm±0,1 μm	Válvulas, piezas resistentes al desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Clasificación de acuerdo con	revestimiento tipo	Materiales representativos	Rendimiento clave	Aplicaciones típicas
	Implantación de iones	N^+ , Cr^+	Aumento de dureza: 10%20%±5%, Disminución del coeficiente de fricción : 10%±2%, Dosificación: 10^{17} 10^{18} cm^{-2} ± 10^{16} cm^{-2}	Cojinetes deslizantes, sellos
Por escenario de aplicación	Herramientas de corte	Estaño , AlTiN , TiC , Estaño / AlTiN	Dureza: HV 20003500±50, Tasa de desgaste: <0,05 /N · m ± 0,01 mm^3 /N · m, Vida útil: >5000 ±500 m	Fresa, broca
	Moho	CrN , DLC, WC/C, CrN /DLC	Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Pérdida de peso por corrosión: <0,1 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Fuerza de desmoldeo: <10 N ± 1 N	Moldes de estampación, moldes de inyección
	Piezas resistentes al desgaste y a la corrosión	CrN , Al_2O_3 , DLC, Cr_3C_2/ NiCr	Aumento de la resistencia a la corrosión: 20% 30% ± 5%, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10^4 horas ± 10^3 horas	Válvulas y piezas de bombas petroquímicas
	Piezas autolubricantes	Compuesto de DLC, WC/C y MoS_2	Coeficiente de fricción: 0,050,2 ± 0,01, Adhesión: <1 N ± 0,1 N, Calor por fricción: <100 °C ± 1 °C	Cojinetes deslizantes, sellos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Proceso de producción de recubrimiento de carburo cementado

Tipo de proceso	paso	Descripción detallada	Parámetros clave	Equipos y tecnología	Pros y contras
Deposición física de vapor (PVD) (corriente principal: pulverización catódica con magnetrón, arco catódico)	Matriz Preparar	Limpie el sustrato de carburo (WCCo) para eliminar el aceite y los óxidos y asegurar una superficie lisa. Método: limpieza ultrasónica (alcohol/agua desionizada), limpieza alcalina, limpieza ácida. Pula a Ra < 0,05 ± 0,01 μm .	Tiempo de limpieza: 1030 min ± 1 min, rugosidad superficial: Ra < 0,05 μm ± 0,01 μm , tensión residual: < 50 MPa ± 5 MPa	Máquina de limpieza ultrasónica (frecuencia 40 kHz ± 1 kHz), máquina pulidora (abrasivo de diamante <1 μm ± 0,1 μm)	Ventajas: Limpieza profunda y alta calidad de la superficie. Desventajas: La limpieza en varios pasos aumenta el tiempo empleado.
	Reprimición y Precalentar	Fije el sustrato al soporte de la cámara de vacío y gírelo para asegurar una deposición uniforme. Precaliente para eliminar la humedad superficial y mejorar la adhesión del recubrimiento.	Temperatura de precalentamiento: 150-300 °C ± 10 °C, Grado de vacío: <10^{-3} Pa ± 10^{-4} Pa, Velocidad de rotación: 510 rpm ± 1 rpm	Cámara de vacío PVD (volumen >1 m^3 ± 0,1 m^3) , fijación (resistencia a la temperatura >500 °C ± 10 °C)	Ventajas: El precalentamiento uniforme mejora la resistencia de la unión (>50 MPa ± 5 MPa). Desventajas: Fijación compleja.
	3. Limpieza iónica	El sustrato se bombardea con plasma de Ar^+ o N^+ para eliminar las capas de óxido traza y activar la superficie.	Tensión de polarización: 100 a 300 V ± 10 V, Corriente iónica: 10^{16} 10^{17} cm^{-2} ± 10^{15} cm^{-2} , Tiempo: 515 min ± 1 min	Fuente de iones (RF/CC, potencia 15 kW ± 0,1 kW), bomba de vacío (caudal > 1000 L/s ± 100 L/s)	Ventajas: La activación superficial mejora la adhesión entre un 10 % y un 20 % ± 5 %. Desventajas: El bombardeo excesivo puede dañar el sustrato (aumento de la tensión entre un 5 % y un 1 %).
	4. Excitación y deposición del objetivo	Pulverización catódica con magnetrón: partículas de alta energía (Ar^+) bombardean el objetivo (como Ti o Cr) y los átomos pulverizados se depositan sobre el sustrato. Arco catódico: el arco evapora el objetivo (como AlTi) para formar un depósito de plasma. Se introduce gas de reacción (como N_2 o CH_4) para generar TiN , CrN , DLC, etc.	Pureza objetivo: >99,9 % ± 0,01 %, tasa de deposición: 0,11 μm /min ± 0,01 μm /min, voltaje de polarización: 50 a 200 V ± 10 V, presión de gas: 0,11 Pa ± 0,01 Pa	Objetivo de pulverización catódica con magnetrón (potencia 520 kW ± 0,1 kW), fuente de arco catódico (corriente 50200 A ± 1 A), medidor de flujo de gas (precisión ± 1 sccm)	Ventajas: deposición uniforme y control preciso del espesor (desviación <0,1 ±0,01 μm). Desventajas: baja tasa de pulverización catódica por magnetrón y arco catódico propenso a la formación de gotas (<1 μm ±0,1).
	5. Control del gas reactivo	Controle con precisión el flujo de N_2 , C_2, H_2 , O_2 y otros gases para formar recubrimiento de nitruro (TiN , CrN), carburo (TiC) o DLC.	Pureza del gas: >99,99 % ± 0,01 %, caudal: 10100 sccm ± 1 sccm , tiempo de reacción: 30120 min ± 1 min	Controlador de caudal másico (MFC, precisión ±0,1 sccm), manómetro de cámara de vacío (precisión ±0,01 Pa)	Ventajas: La composición del recubrimiento es ajustable (p. ej., dureza CrN HV 1500-2000 ± 50). Desventajas: La desviación de la relación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tipo de proceso	paso	Descripción detallada	Parámetros clave	Equipos y tecnología	Pros y contras
					de gas (>5 % ± 1 %) afecta el rendimiento.
	6. Enfriamiento y posprocesamiento	Tras la deposición, enfríe lentamente a temperatura ambiente para evitar el estrés térmico. Compruebe el espesor y la uniformidad del recubrimiento y pula para optimizar la superficie (Ra < 0,05 µm ± 0,01 µm).	Velocidad de enfriamiento: <5 °C/min ± 1 °C/min, espesor del recubrimiento: 15 µm ± 0,5 µm , desviación de uniformidad: <5 % ± 1 %	Sistema de enfriamiento de cámara de vacío (refrigeración por agua, caudal > 10 L/min ± 1 L/min), máquina pulidora (precisión Ra ± 0,01 µm)	Ventajas: Reduce la tasa de agrietamiento (<0,1 % ± 0,02 %). Desventajas: Tiempo de enfriamiento prolongado (12 h ± 0,1 h).
	7. Pruebas de rendimiento	Ensayo de dureza (Vickers), adhesión (método de rayado), coeficiente de fricción (ensayo de pasador sobre disco), resistencia a la corrosión (niebla salina).	Dureza: HV 15003500±50, Adhesión: >50 MPa±5 MPa, Coeficiente de fricción: 0,050,6±0,05, Pérdida de peso por corrosión: <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²	Probador de dureza Vickers (carga 10 kg ± 0,1 kg), probador de rayado (carga 0100 N ± 1 N), probador de fricción (ASTM G99)	Ventajas: Garantiza la consistencia del rendimiento (desviación <5%±1%) Desventajas: Detección que consume mucho tiempo (>1 h±0,1 h/lote).
Deposición química de vapor (CVD) (corriente principal: CVD térmica, CVD mejorada con plasma)	1. Preparación de la matriz	Limpie el sustrato de carburo cementado y pula para eliminar los defectos superficiales y garantizar un Ra < 0,1 µm ± 0,01 µm . Método: limpieza ultrasónica, grabado químico.	Tiempo de limpieza: 1530 min ± 1 min, rugosidad superficial: Ra < 0,1 µm ± 0,01 µm , limpieza: residuos < 0,01 % ± 0,001 %	Máquina de limpieza ultrasónica (frecuencia 40 kHz ± 1 kHz), tanque de grabado (pH ácido < 2 ± 0,1)	Ventajas: Pocos defectos superficiales (<0,1% ± 0,02%). Desventajas: El grabado químico requiere protección ambiental.
	2. Sujeción y precalentamiento	El sustrato se coloca en un reactor de CVD, se fija en una bandeja de grafito y se precalienta a la temperatura de reacción para promover la descomposición del gas.	Temperatura de precalentamiento: 800-1000 °C ± 10 °C, Grado de vacío: <10 Pa ± 1 Pa, Rotación de la bandeja: 15 rpm ± 0,5 rpm	Reactor CVD (resistencia a la temperatura >1200 °C ± 10 °C), bandeja de grafito (pureza >99,9 % ± 0,01 %)	Ventajas: La temperatura alta activa la matriz (la resistencia de unión aumenta un 10 % ± 2 %). Desventajas: La temperatura alta puede reducir la tenacidad de la matriz (el K_{1c} disminuye un 5 % ± 2 %).
	3. Introducción de gas de reacción	gases precursores (como $TiCl_4$, CH_4 , N_2 , H_2) y TiC , Los recubrimientos de TiN , Al_2O_3 y otros se generan en la superficie del sustrato a través de descomposición térmica o descomposición mejorada por plasma.	Caudal de gas: 50500 sccm ± 5 sccm , presión de gas: 101000 Pa ± 10 Pa, temperatura: 8001000 °C ± 10 °C	Sistema de distribución de gas (precisión ±1 sccm), generador de plasma (potencia 110 kW ±0,1 kW, PECVD)	Ventajas: Recubrimiento grueso (510 µm ± 0,5 µm), alta resistencia a la temperatura (<1000 °C ± 10 °C). Desventajas: El $TiCl_4$ es altamente tóxico y requiere una manipulación segura.
	4. Deposición de	Controle el tiempo de reacción, la temperatura	Tasa de deposición: 0,52 µm/h ± 0,1	Horno de CVD térmico	Ventajas: recubrimiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tipo de proceso	paso	Descripción detallada	Parámetros clave	Equipos y tecnología	Pros y contras
	revestimiento	y la presión del gas para garantizar la deposición uniforme del recubrimiento. La CVD térmica se basa en la descomposición térmica, mientras que la PECVD utiliza plasma para reducir la temperatura (600-800 °C ± 10 °C).	µm /h, espesor: 510 µm ± 0,5 µm , desviación de uniformidad: <5 % ± 1 %	(precisión de calentamiento ±5 °C), electrodo PECVD (polarización de 100 a 500 V ±10 V)	denso (porosidad <0,1% ± 0,02%) Desventajas: alta temperatura térmica de CVD y equipo PECVD complejo.
	5. Enfriamiento y posprocesamiento	Enfríe lentamente en el horno a <200 °C ± 10 °C para evitar el agrietamiento del recubrimiento. La superficie puede optimizarse mediante arenado o pulido (Ra < 0,1 µm ± 0,01 µm).	de enfriamiento : 24 h ± 0,1 h, tensión residual: <100 MPa ± 10 MPa, rugosidad superficial: Ra < 0,1 µm ± 0,01 µm	Sistema de refrigeración (protección de nitrógeno, caudal > 20 L/min ± 1 L/min), máquina de chorro de arena (presión 0,10,5 MPa ± 0,01 MPa)	Ventajas: Reduce el agrietamiento por tensión térmica (<0,1% ± 0,02%) Desventajas: Ciclo de enfriamiento largo y mayor costo.
	6. Pruebas de rendimiento	Pruebe la dureza, la adhesión, el coeficiente de fricción, la resistencia a la corrosión y verifique la calidad del recubrimiento.	Dureza: HV 20003000±50, Adhesión: >60 MPa±5 MPa, Coeficiente de fricción: 0,40,6±0,05, Pérdida de peso por corrosión: <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²	Probador de dureza Vickers (carga 10 kg ± 0,1 kg), comprobador de rayado (ASTM C1624), cámara de prueba de niebla salina (ISO 9227)	Ventajas: Rendimiento confiable (consistencia > 95% ± 2%) Desventajas: Las pruebas multiparamétricas requieren equipo especializado.

10.5.4 Fabricación aditiva de carburo cementado

Fabricación aditiva (impresión 3D) de carburo cementado mediante SLM (fusión selectiva por láser) o inyección de aglutinante para lograr formas complejas (grados de libertad > 95 % ± 2 %), aptas para herramientas personalizadas (precisión < 0,1 mm ± 0,01 mm) y piezas complejas (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas). Los retos incluyen el control del grano (> 2 µm ± 0,01 µm) y la densidad (< 99 % ± 0,1 %).

Esta sección comienza con la impresión 3D (SLM, Binder Jetting) y sus desafíos, y analiza sus características.

10.5.4.1 Impresión 3D (SLM, inyección de aglutinante)

Descripción general de los principios básicos y las tecnologías de la fabricación aditiva de carburo cementado

El SLM utiliza un láser (potencia 200500 W ± 10 W) para fundir polvo (WC 85% 95% ± 1%, Co 5% 10% ± 1%, tamaño de partícula 1050 µm ± 0,01 µm), espesor de capa 20100 µm ± 1 µm , densidad > 98% ± 0,1%. La inyección de aglutinante solidifica el polvo a través de un aglutinante (volumen de inyección 0,11 g/s ± 0,01 g/s) y luego se sinteriza (1450 °C ± 10 °C), densidad > 97% ± 0,1%. Dureza HV 1500 1800 ± 30, tamaño de grano 15 µm ± 0,01 µm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El equipo incluye una impresora SLM (resolución <0,1 mm ± 0,01 mm) y un sistema de inyección de aglutinante (precisión de la boquilla ± 0,01 mm). Las pruebas abarcan la densidad (ISO 3369, precisión ± 0,01 g/cm³), el tamaño de grano (ASTM E112, precisión ± 0,01 μm) y el rendimiento (ASTM G65, precisión ± 0,01 mm³/ N·m). Por ejemplo, el SLMWC6Co tiene una densidad del 98,5 % ± 0,1 % y una dureza de HV 1700 ± 30.

Mecanismo y análisis de la fabricación aditiva de carburo cementado

La alta tasa de enfriamiento de SLM (>10 ⁶ K/s ± 10 ⁵ K/s) forma granos finos (12 μm ± 0,01 μm), pero el estrés térmico (>500 MPa ± 50 MPa) causa fácilmente grietas (<0,1 mm ± 0,01 mm). La contracción de sinterización de Binder Jetting (10% 20% ± 1%) afecta la precisión (desviación <0,1 mm ± 0,01 mm), y los granos tienden a crecer (>2 μm ± 0,01 μm). SEM muestra que los granos de SLMWC6Co son uniformes (desviación <0,1% ± 0,02%), pero hay microporos (<0,1 μm ± 0,01 μm). EDS confirma la distribución de Co (desviación <0,1% ± 0,02%). Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste de SLMWC6Co es de 0,06 mm³ /N·m±0,01 mm³/ N·m , que es ligeramente superior a la de la sinterización convencional (0,05 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m).

Análisis de los factores que afectan al carburo cementado en la fabricación aditiva

El rendimiento se ve afectado por:

Tamaño de partícula de polvo: 1030 μm ± 0,01 μm , alta densidad; > 50 μm ± 0,01 μm , porosidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

Potencia del láser: 300400 W ± 10 W, fusión suficiente; < 200 W ± 10 W, la densidad disminuye un 5 % ± 1 %.

Espesor de capa: 5080 μm ± 1 μm , alta precisión; >100 μm ± 1 μm , porosidad aumentada en un 15 % ± 3 %.

Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C (inyección de aglutinante), tamaño de grano moderado; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento del tamaño de grano del 20 % ± 3 %.

Post-tratamiento: HIP reduce la porosidad en un 10% ± 2%.

Por ejemplo, la densidad de Binder Jetting WC6Co (espesor de capa 100 μm ± 1 μm) cayó al 97% ± 0,1%.

Estrategia de optimización para la fabricación aditiva de carburo cementado

Para lograr una densidad >98%±0,1% y una dureza >HV 1700±30, se recomienda:

Optimización del polvo: tamaño de partícula 1030 μm ± 0,01 μm , esfericidad > 95% ± 2%.

Parámetros SLM: potencia del láser 300400 W ± 10 W, espesor de capa 5080 μm ± 1 μm .

Optimización del Binder Jetting: sinterización a 1450°C ± 10°C, añadiendo VC (0,2% ± 0,01%).

Post-tratamiento: HIP (1400°C±10°C, 150 MPa±1 MPa), reducción de porosidad 10%±2%.

Especificaciones de prueba: ISO 3369 (densidad), ASTM E112 (grano).

Por ejemplo, la densidad de SLMWC6Co (después de HIP) es del 99 % ± 0,1 % y la dureza es HV 1800 ± 30.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado en fabricación aditiva
La fabricación aditiva de carburo cementado funciona bien en los siguientes escenarios:

Fabricación aditiva de herramientas de carburo personalizadas
SLMWC6Co (precisión <0,1 mm ± 0,01 mm) vida útil > 10 horas ± 1 hora.

Fabricación aditiva de moldes complejos de carburo
Chorro de aglutinante WC8Co (dureza HV 1700 ± 30) Vida útil > 10^5 veces ± 10^4 veces.

Fabricación aditiva de piezas aeroespaciales de carburo
SLMWC6Co (tasa de desgaste 0,06 $mm^3/N·m$±0,01 $mm^3/ N·m$) vida útil > 10^4 horas ±10^3 horas.
Estas aplicaciones demuestran que la fabricación aditiva puede satisfacer las necesidades de formas complejas.

10.5.4.2 Desafíos: Control de grano y optimización de la densidad

Principios básicos y descripción técnica
La fabricación aditiva de carburo cementado se enfrenta a desafíos en el control de grano (objetivo 0,51 μm ± 0,01 μm , real 15 μm ± 0,01 μm) y la optimización de la densidad (objetivo > 99 % ± 0,1 %, real 97 % 99 % ± 0,1 %), que afectan a la dureza (HV 15001800 ± 30) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste 0,060,08 $mm^3/ N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$). La tensión térmica SLM (> 500 MPa ± 50 MPa) y la contracción por chorro de aglutinante (10 % 20 % ± 1 %) son los principales problemas.

Las pruebas incluyen el tamaño de grano (ASTM E112, precisión ±0,01 μm), la densidad (ISO 3369, precisión ±0,01 g/cm^3) y el rendimiento (ASTM G65, precisión ±0,01 $mm^3/ N·m$). Por ejemplo, el SLMWC6Co tiene un tamaño de grano de 2 μm ±0,01 μm , una densidad del 98,5 % ±0,1 % y una dureza de HV 1700 ±30.

Mecanismo y análisis
El alto gradiente de temperatura de SLM (>10^6 K/m ± 10^5 K/m) conduce al crecimiento del grano (>2 μm ± 0,01 μm) y los microporos (<0,1 μm ± 0,01 μm) reducen la densidad (<99 % ± 0,1 %). La contracción de sinterización por chorro de aglutinante (10 % 20 % ± 1 %) causa poros (0,10,5 μm ± 0,01 μm) y los granos son propensos a superar el estándar (>3 μm ± 0,01 μm). El SEM muestra que los granos de SLMWC6Co son desiguales (desviación <0,2 % ± 0,02 %), y el chorro de aglutinante tiene más poros (densidad <10^5 cm^{-2} ± 10^4 cm^{-2}). El análisis EDS confirma la distribución de Co (desviación <0,1 % ± 0,02 %). Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste del SLMWC6Co es de 0,06 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$, superior a la del HIP (0,04 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$).

Análisis de factores influyentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El rendimiento se ve afectado por:
Tamaño de grano: >2 μm±0,01 μm , la dureza disminuye en un 10%±2%; <1 μm±0,01 μm , la resistencia al desgaste aumenta en un 15%±3%.
Densidad: <99%±0,1%, tasa de desgaste aumentada en 20%±3%; >99%±0,1%, excelente rendimiento.
Tamaño de partícula de polvo: 1030 μm ± 0,01 μm , alta densidad; > 50 μm ± 0,01 μm , porosidad aumentada en un 10 % ± 2 %.
Parámetros del proceso: Potencia SLM <200 W ± 10 W, reducción de densidad 5 % ± 1 %; Sinterización por chorro de aglutinante > 1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 20 % ± 3 %.
Post-tratamiento: Sin HIP, la porosidad aumentó en un 15% ± 3%.

Por ejemplo, la dureza del Binder Jetting WC6Co (grano de 5 μm ± 0,01 μm) cae a HV 1600 ± 30.

Estrategia de optimización
Para lograr un tamaño de grano <1 μm ± 0,01 μm y una densidad >99 % ± 0,1 %, se recomienda:
Optimización del polvo: tamaño de partícula 1030 μm ± 0,01 μm , VC añadido (0,2% ± 0,01%).
Optimización SLM: potencia 300400 W ± 10 W, velocidad de enfriamiento > 10^6 K/s ± 10^5 K/s.
Optimización del Binder Jetting: sinterización a 1450°C ± 10°C, mantenimiento a 12 h ± 0,1 h.
Post-tratamiento: HIP (1400°C±10°C, 150 MPa±1 MPa), densidad incrementada en 2%±0,5%.
Especificaciones de prueba: ASTM E112 (grano), ISO 3369 (densidad).

Por ejemplo, SLMWC6Co (después de HIP, tamaño de grano 1 μm ± 0,01 μm) tiene una densidad del 99 % ± 0,1 % y una dureza de HV 1800 ± 30.

Aplicación de ingeniería
La fabricación aditiva de carburo cementado funciona bien en los siguientes escenarios:
Herramientas complejas: SLMWC6Co (grano 1 μm ± 0,01 μm), vida útil > 10 horas ± 1 hora.
Piezas personalizadas: Binder Jetting WC8Co (densidad 98,5% ± 0,1%) vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas.
Molde de aviación: SLMWC6Co (tasa de desgaste 0,06 $mm^3/N·m$±0,01 $mm^3/N·m$) precisión <0,1 mm±0,01 mm.
Estas aplicaciones muestran que la fabricación aditiva rompe las limitaciones de forma, pero es necesario optimizar el grano y la densidad.

1 0.6 Clasificación por forma

La clasificación de forma del carburo cementado cubre la morfología de las partículas de polvo y la geometría del producto terminado, lo que afecta directamente el proceso de fabricación (prensado, sinterizado, fabricación aditiva), el rendimiento (dureza HV 8002500±30, tenacidad K_1 c 825 $MPa·m^{1/2}$±0,5, resistencia al desgaste 0,020,1 $mm^3/N·m$±0,01 $mm^3/N·m$) y la aplicación (vida útil de corte >10 horas ±1 hora, piezas resistentes al desgaste >10^4 horas ±10^3 horas). La morfología de las partículas (esfericidad 80% 95% ± 2%) determina la fluidez (13,020 segundos/50 g ± 0,1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

segundos/50 g) y la densidad (4,555,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³). La forma del producto final (lámina, varilla, geometría compleja) afecta la distribución de la tensión (factor de concentración de tensión <1,5 ± 0,1) y la adaptación funcional. Verificado mediante SEM (resolución <0,1 μm ± 0,01 μm), escaneo 3D (precisión <5 μm ± 0,1 μm) y pruebas de rendimiento (ASTM B213, G65), satisface las necesidades de corte, resistencia al desgaste y mecanizado de precisión.

Esta sección analiza sistemáticamente las características de la forma y las aplicaciones desde cuatro aspectos: clasificación por morfología de partículas de polvo, clasificación por geometría del producto terminado, influencia de la forma en el rendimiento y el proceso, y métodos de prueba y caracterización.

10.6.1 Clasificación por morfología de partículas de polvo

La morfología de las partículas de polvo se divide en esférica (esferoidización > 95 % ± 2 %), casi esférica (80 % ± 95 % ± 2 %), irregular y con forma de escama/aguja, lo que afecta la fluidez (13,0 ± 20 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g), la densidad aparente (4,5 ± 5,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³) y la uniformidad del prensado (desviación < 5 % ± 1 %). La morfología está determinada por el proceso de preparación (esferoidización por plasma, secado por aspersión, molienda de bolas) y se utiliza en pulverización térmica, herramientas de corte y materiales compuestos.
En esta sección se analizan las características de las partículas esféricas, partículas casi esféricas, partículas irregulares y partículas en forma de escamas/agujas.

10.6.1.1 Partículas esféricas (esfericidad > 95%)

10.6.1.1.1 Método de preparación: esferoidización de plasma (potencia 3050 kW)

Principio básico y descripción técnica

. Las partículas esféricas se preparan mediante esferoidización por plasma. El polvo (WC, Co, tamaño de partícula 1050 μm ± 0,01 μm) se funde y solidifica en plasma (temperatura > 10 000 °C ± 100 °C, potencia 3050 kW ± 1 kW), y la esfericidad es > 95 % ± 2 %. El proceso controla el flujo de gas (Ar /H_2 , caudal 50 100 L/min ± 1 L/min) y la velocidad de enfriamiento (> 10^4 K/s ± 10^3 K/s) para garantizar una superficie lisa (Ra < 0,1 μm ± 0,01 μm).

El equipo es un horno de plasma de esferoidización (vida útil del electrodo >100 horas ± 10 horas) y las pruebas incluyen esfericidad (ISO 13322, precisión ± 1%) y tamaño de partícula (analizador láser de tamaño de partícula, precisión ± 0,01 μm). Por ejemplo, la esfericidad del polvo esférico de WC6Co (tamaño de partícula 20 μm ± 0,01 μm) es del 98% ± 1%, y el defecto superficial es < 0,01% ± 0,001%.

Mecanismo y análisis

El plasma de alta temperatura (grado de ionización >90%±2%) funde el polvo (punto de fusión~2800°C±50°C), la tensión superficial (1 N/m±0,1 N/m) impulsa las partículas a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

esferoidizarse, y el enfriamiento rápido (>10 ⁴ K/s±10³ K/s) fija la morfología. El SEM muestra que la superficie de la partícula es lisa (Ra<0,1 μm±0,01 μm) y no tiene bordes ni esquinas (desviación<0,01%±0,001%). XRD confirma la fase WC (2θ35,6°±0,1°) y ningún óxido (O<0,05%±0,01%). La prueba de esfericidad muestra que el 98%±1% es mejor que el secado por pulverización (90%±2%).

Análisis de factores influyentes

Potencia: 40 kW ± 1 kW, esfericidad > 95% ± 2%; < 30 kW ± 1 kW, la esfericidad disminuye un 10% ± 2%.

Tamaño de partícula: 1030 μm ± 0,01 μm , alta tasa de esferoidización; >50 μm ± 0,01 μm , la esfericidad disminuye en un 5% ± 1%.

Flujo de aire: 80 L/min ± 1 L/min, enfriamiento uniforme; <50 L/min ± 1 L/min, la tasa de defectos aumenta en un 10 % ± 2 %.

Pureza del polvo: >99,9%±0,01%, menor oxidación; <99,5%±0,01%, el contenido de O aumentó en un 20%±3%.

Tasa de enfriamiento: >10 ⁴ K/s ±10³ K/s, superficie lisa; <10³ K/s ±10² K/s, aumento de Ra del 15% ± 3%.

Por ejemplo, la esfericidad de WC6Co (potencia 30 kW ± 1 kW) cae al 90% ± 2%.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una esfericidad > 95% ± 2%. Se recomienda lo siguiente:

Optimización de potencia: 4050 kW ± 1 kW, fusión completa.

Control del tamaño de partícula: 1030 μm ± 0,01 μm , mejora la tasa de esferoidización.

Ajuste del flujo de aire: 80100 L/min ±1 L/min, enfriamiento uniforme.

Pureza del polvo: >99,9% ± 0,01%, reduciendo defectos.

Especificación de prueba: ISO 13322 (esfericidad), análisis del tamaño de partículas láser.

Por ejemplo, WC6Co (40 kW ± 1 kW, 20 μm ± 0,01 μm) tiene una esfericidad del 98% ± 1%.

10.6.1.1.2 Impacto en el rendimiento: fluidez 13,0 14,0 segundos/50 g, densidad aparente 4,8 5,1 g/cm³

Principio básico y descripción técnica:

Las partículas esféricas presentan una fluidez de 13,0 ± 14,0 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g (ASTM B213), una densidad aparente de 4,8 ± 5,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³ y una alta esfericidad (>95 % ± 2 %) para reducir la fricción entre partículas (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05). Son aptas para pulverización térmica (densidad de recubrimiento >99 % ± 0,1 %) e impresión 3D (uniformidad de dispersión del polvo <0,1 mm ± 0,01 mm).

Las pruebas incluyen fluidez (ASTM B213, precisión ±0,1 s/50 g), densidad aparente (ASTM B212, precisión ±0,01 g/cm³) y morfología aparente (MEB, resolución <0,1 μm ±0,01 μm). Por ejemplo, la fluidez del polvo esférico de WC6Co es de 13,5 s/50 g ±0,1 s/50 g, y la densidad aparente es de 5,0 g/cm³ ±0,01 g/cm³.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Mecanismo y análisis

Las partículas esféricas tienen menos puntos de contacto (<5 puntos/partícula ±1 punto), baja resistencia a la rodadura (<0,1 N ± 0,01 N) y una fluidez de 13,5 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g. El apilamiento regular (factor de apilamiento ~0,64 ± 0,01) aumenta la densidad aparente (5,0 g/cm³ ± 0,01 g/cm³). El SEM muestra que los espacios entre partículas son uniformes (<0,1 μm ± 0,01 μm) y no hay puentes (desviación <0,01 % ± 0,001 %). La prueba de fluidez muestra que 13,5 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g es mejor que la de partículas casi esféricas (15,0 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g).

Análisis de factores influyentes

Esfericidad: >95%±2%, excelente fluidez; <90%±2%, fluidez disminuida en 10%±2%.
Tamaño de partícula: 1030 μm ± 0,01 μm , alta densidad; > 50 μm ± 0,01 μm , porosidad aumentada en un 10 % ± 2 %.
Rugosidad superficial: Ra<0,1 μm±0,01 μm , la fluidez aumenta un 5%±1%; >0,2 μm±0,01 μm , la fluidez disminuye un 10%±2%.
Distribución de partículas: pico único (D50~20 μm±0,01 μm), empaquetamiento uniforme; distribución amplia, caída de densidad 5%±1%.
Humedad: <0,1%±0,01%, la fluidez es estable; >0,5%±0,01%, la fluidez disminuye un 15%±3%.
Por ejemplo, la fluidez de WC6Co (esfericidad 90% ± 2%) cae a 15,0 seg/50 g ± 0,1 seg/50 g.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una fluidez de 13,0 ± 14,0 segundos/50 g y una densidad aparente de 4,8 ± 5,1 g/cm³. Se recomienda:
Control de esfericidad: >95%±2%, parámetros de plasma optimizados.
Tamaño de partícula optimizado: 1030 μm ± 0,01 μm , distribución unimodal.
Tratamiento de superficie: Ra<0,1 μm±0,01 μm , reduce la fricción.
Control ambiental: humedad <0,1%±0,01%, evitar aglomeración.
Especificaciones de prueba: ASTM B213 (fluidez), ASTM B212 (densidad).
Por ejemplo, WC6Co (esfericidad 98%±1%) tiene una fluidez de 13,5 s/50 g±0,1 s/50 g y una densidad de 5,0 g/cm³±0,01 g/cm³.

10.6.1.1.3 Aplicación: Proyección térmica (HVOF, porosidad del recubrimiento <1%) e impresión 3D

Principios básicos y descripción técnica

Las partículas esféricas son adecuadas para la pulverización térmica HVOF (porosidad del recubrimiento <1 % ± 0,1 %) y la impresión 3D (SLM, densidad > 98 % ± 0,1 %) debido a su excelente fluidez (13,5 s/50 g ± 0,1 s/50 g) y densidad aparente (5,0 g/cm³ ± 0,01 g/cm³). Velocidad de pulverización HVOF > 500 m/s ± 10 m/s, espesor de la capa de impresión 3D 50100 μm ± 1 μm , cumpliendo los requisitos de resistencia al desgaste (tasa de desgaste < 0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m) y alta precisión (<0,1 mm ± 0,01 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Las pruebas incluyen la porosidad del recubrimiento (ISO 4505, precisión ±0,01%), la densidad (ISO 3369, precisión ±0,01 g/cm³) y el desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm³/ N·m). Por ejemplo, la porosidad del recubrimiento WC6CoHVOF es del 0,8 % ± 0,1 %, y la densidad de las piezas SLM es del 98,5 % ± 0,1 %.

Mecanismo y análisis:

El flujo uniforme de partículas esféricas (desviación <0,1 % ± 0,01 %) garantiza la densidad del recubrimiento HVOF (porosidad 0,8 % ± 0,1 %), y la alta densidad de empaquetamiento (5,0 g/cm³ ± 0,01 g/cm³) mejora la estabilidad del baño de fusión del SLM (profundidad del baño de fusión ~100 μm ± 10 μm). El SEM muestra que el recubrimiento HVOF presenta poros pequeños (<0,1 μm ± 0,01 μm) y que los granos de las piezas del SLM son uniformes (12 μm ± 0,01 μm). Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste del revestimiento HVOF es de 0,03 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m , y la de las piezas SLM es de 0,06 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m .

Análisis de factores influyentes

Esfericidad: >95%±2%, el recubrimiento es denso; <90%±2%, la porosidad aumenta en un 20%±3%.

Tamaño de partícula: 1030 μm ± 0,01 μm , pulverización uniforme; > 50 μm ± 0,01 μm , porosidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

Velocidad de pulverización: >500 m/s±10 m/s, el recubrimiento es denso; <300 m/s±10 m/s, la porosidad aumenta en un 15%±3%.

Potencia de impresión: 300400 W ± 10 W, alta densidad; <200 W ± 10 W, la densidad cae un 5 % ± 1 %.

Post-tratamiento: HIP reduce la porosidad en un 10% ± 2%.

Por ejemplo, la porosidad del recubrimiento HVOF WC6Co (esfericidad 90% ± 2%) aumenta a 1,5% ± 0,1%.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una porosidad del recubrimiento de <1 % ± 0,1 % y una densidad de impresión 3D de >98 % ± 0,1 %. Se recomienda lo siguiente:

Optimización de partículas: esfericidad>95%±2%, tamaño de partícula 1030 μm±0,01 μm .

Parámetros HVOF: velocidad >500 m/s±10 m/s, potencia 50100 kW±5 kW.

Parámetros SLM: potencia 300400 W±10 W, espesor de capa 5080 μm±1 μm .

Post-tratamiento: HIP (1400°C±10°C, 150 MPa±1 MPa).

Especificaciones de prueba: ISO 4505 (porosidad), ASTM G65 (abrasión).

Aplicación de ingeniería

Recubrimiento resistente al desgaste

HVOFWC6Co (porosidad 0,8%±0,1%) vida útil >10⁴horas ± 10³horas.

Piezas personalizadas

SLMWC6Co (densidad 98,5%±0,1%) precisión <0,1 mm±0,01 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn









COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Boquilla de aviación

HVOFWC6Co (tasa de desgaste 0,03 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m) vida útil > 10 ⁴ horas ±10³ horas. Estas aplicaciones demuestran que las partículas esféricas mejoran la calidad del recubrimiento y la impresión.

10.6.1.2 Partículas casi esféricas de carburo cementado (esfericidad 80%-95%)

10.6.1.2.1 Método de preparación de partículas casi esféricas de carburo cementado: secado por pulverización y sinterización

Partículas de carburo cementado Principios básicos y descripción técnica

Las partículas casi esféricas se preparan mediante secado por pulverización (suspensión WC, Co, contenido sólido 50%70%±1%) y sinterización (10001200°C±10°C), con una esfericidad de 80%95%±2%. El secado por pulverización controla la boquilla (apertura 0,52 mm±0,01 mm) y el flujo de aire (100200 L/min±1 L/min), la sinterización elimina el aglutinante (PVA<5%±0,1%) y forma partículas (1050 μm±0,01 μm).

El equipamiento incluye una torre de secado por atomización (altura 510 m±0,1 m) y un horno de sinterización (potencia 50100 kW±5 kW).

Las pruebas incluyen esfericidad (ISO 13322, precisión ±1%) y tamaño de partícula (analizador láser de tamaño de partícula, precisión ±0,01 μm). Por ejemplo, la esfericidad del polvo casi esférico de WC8Co es del 90% ±2% y el tamaño de partícula es de 30 μm ±0,01 μm .

Mecanismo y análisis de partículas casi esféricas

de carburo cementado El secado por pulverización forma gotitas (diámetro 50200 μm ± 1 μm), la tensión superficial (0,07 N/m ± 0,01 N/m) impulsa la casi esfericalización , morfología de solidificación por sinterización (contracción <5% ± 1%). El SEM muestra que la superficie de la partícula es ligeramente rugosa (Ra0,2 μm ± 0,01 μm) y la esfericidad es del 90% ± 2%. La XRD confirma la fase WC (2θ ~ 35,6° ± 0,1°) y ninguna fase de impurezas (C/W < 1,0 ± 0,1).

La prueba de esfericidad mostró que el 90% ± 2% era menor que el de esferoidización del plasma (98% ± 1%).

Análisis de los factores que afectan la forma casi esférica de las partículas de carburo cementado

Concentración de la suspensión: 60% ± 1%, alta esfericidad; <50% ± 1%, la esfericidad disminuye en un 10% ± 2%.

Flujo de aire: 150 L/min ± 1 L/min, gotas uniformes; <100 L/min ± 1 L/min, la esfericidad disminuye un 5% ± 1%.

Temperatura de sinterización: 1100°C ± 10°C, morfología estable; >1200°C ± 10°C, adhesión de partículas 10% ± 2%.

Apertura de la boquilla: 1 mm ± 0,01 mm, tamaño de partícula moderado; > 2 mm ± 0,01 mm, la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

desviación del tamaño de partícula aumenta en un 15 % ± 3 %.
Aglutinante: <5%±0,1%, poco residuo; >10%±0,1%, porosidad aumentada en 10%±2%.

Por ejemplo, la esfericidad de WC8Co (suspensión 50% ± 1%) se reduce a 85% ± 2%.

La estrategia de optimización para
partículas casi esféricas de carburo cementado consiste en lograr una esfericidad del 80 % al 95 % ± 2 %. Se recomienda lo siguiente:
Optimización de la suspensión: contenido de sólidos 60%70%±1%, viscosidad 0,10,5 Pa·s±0,01 Pa·s .
Control de flujo de aire: 150200 L/min ± 1 L/min, gotas uniformes.
Optimización de sinterización: 1100°C ± 10°C, tiempo de mantenimiento 12 h ± 0,1 h.
Boquilla: apertura 1 mm ± 0,01 mm, para controlar el tamaño de partícula.
Especificación de prueba: ISO 13322 (esfericidad), análisis del tamaño de partículas láser.

Por ejemplo, WC8Co (suspensión 60% ± 1%) tiene una esfericidad del 90% ± 2%.

10.6.1.2.2 Impacto de las partículas de carburo casi esféricas en las propiedades
Fluidez 14,516,0 segundos/50 g, uniformidad de prensado mejorada en un 10 %

Partículas de carburo cementado Principios básicos y descripción técnica
Las partículas casi esféricas tienen una fluidez de 14,5 ± 16,0 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g, y la uniformidad del prensado se mejora en un 10 % ± 2 % (desviación de densidad < 0,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³), lo que es adecuado para la pulvimetalurgia (densidad > 99 % ± 0,1 %). La esfericidad del 80 % ± 95 % ± 2 % equilibra la fluidez y el coste, y la densidad aparente es de 4,5 ± 4,8 g/cm³ ± 0,01 g/cm³.

Las pruebas incluyen la fluidez (ASTM B213, precisión ±0,1 s/50 g), la densidad de prensado (ISO 3927, precisión ±0,01 g/cm³) y la morfología de las partículas (SEM, resolución <0,1 μm ±0,01 μm). Por ejemplo, la fluidez del polvo casi esférico de WC8Co es de 15,0 s/50 g ±0,1 s/50 g, y la densidad de prensado es de 7,5 g/cm³ ±0,01 g/cm³.

Mecanismo y análisis de partículas casi esféricas
de carburo cementado. Las partículas casi esféricas presentan puntos de contacto moderados (510 puntos/partícula ± 1 punto), un coeficiente de fricción de 0,30,5 ± 0,05 y una fluidez de 15,0 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g. La densidad aparente de 4,5 g/cm³ ± 0,01 g/cm³ se debe a la morfología regular (factor de apilamiento ~0,60 ± 0,01). El SEM muestra que los espacios entre las partículas son ligeramente mayores (0,10,2 μm ± 0,01 μm) y la densidad es uniforme después del prensado (desviación <0,1 % ± 0,01 %).

La prueba de fluidez muestra que 15,0 s/50 g ± 0,1 s/50 g es mejor que las partículas irregulares (> 16 s/50 g ± 0,1 s/50 g).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Análisis de los factores que afectan la forma casi esférica de las partículas de carburo cementado

Esfericidad: 90%±2%, excelente fluidez; <80%±2%, la fluidez disminuye en un 10%±2%.

Tamaño de partícula: 2040 μm ± 0,01 μm , prensado uniforme; >50 μm ± 0,01 μm , la desviación de densidad aumenta en un 10 % ± 2 %.

Rugosidad de la superficie: Ra~0,2 μm±0,01 μm , fluidez moderada; >0,5 μm±0,01 μm , la fluidez disminuye en un 15 % ± 3 %.

Distribución de partículas: D50~30 μm±0,01 μm , buen apilamiento; amplia distribución, reducción de densidad 5%±1%.

Presión de prensado: 200 MPa ± 1 MPa, alta uniformidad; <100 MPa ± 1 MPa, la desviación aumenta en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, la fluidez de WC8Co (esfericidad 80% ± 2%) cae a 16,0 seg/50 g ± 0,1 seg/50 g.

La estrategia de optimización para partículas casi esféricas de carburo cementado consiste en lograr una fluidez de 14,5 ± 16,0 segundos/50 g (± 0,1 segundos/50 g) y un aumento de la uniformidad del 10 % ± 2 %. Recomendaciones:

Optimización de esfericidad: 80% 95% ± 2%, ajuste los parámetros de pulverización.

Control de tamaño de partícula: 2040 μm ± 0,01 μm , distribución unimodal.

Optimización de la superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , fricción reducida.

Optimización de prensado: presión 200300 MPa ± 1 MPa, densidad uniforme.

Especificaciones de prueba: ASTM B213 (fluidez), ISO 3927 (densidad prensada).

Por ejemplo, WC8Co (esfericidad 90%±2%) tiene una fluidez de 15,0 seg/50 g±0,1 seg/50 g y un aumento de uniformidad del 10%±2%.

10.6.1.2.3 Aplicaciones de partículas casi esféricas de carburo cementado: herramientas de carburo cementado y piezas resistentes al desgaste

Principios básicos y descripción técnica.

Las partículas casi esféricas son adecuadas para herramientas de carburo cementado (vida útil > 10 horas ± 1 hora) y piezas resistentes al desgaste (índice de desgaste < 0,05 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$) debido a su fluidez (15,0 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g) y uniformidad de compactación (aumento del 10 % ± 2 %). El proceso de pulvimetalurgia (sinterización a 1450 °C ± 10 °C) forma una estructura densa (> 99 % ± 0,1 %).

Las pruebas incluyen vida útil de la herramienta (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 $mm^3/ N·m$) y densidad (ISO 3369, precisión ±0,01 g/cm^3).

Por ejemplo, la vida útil de la herramienta WC8Co es de 12 horas ± 1 hora y la tasa de desgaste de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

las piezas resistentes al desgaste es de 0,05 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m .

Mecanismo y análisis:

Las partículas casi esféricas se apilan uniformemente (desviación <0,1 % ± 0,01 %), lo que reduce los defectos de sinterización (porosidad <0,5 % ± 0,1 %), y la dureza es HV 1900 ± 30. La uniformidad del prensado (desviación de densidad <0,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³) mejora la precisión de la herramienta (<0,1 mm ± 0,01 mm). El microscopio electrónico de barrido (SEM) muestra que el cuerpo sinterizado presenta granos uniformes (0,51 μm ± 0,01 μm) y poros pequeños (<0,1 μm ± 0,01 μm).

Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste de WC8Co es de 0,05 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m , que es mejor que la de las partículas irregulares (0,07 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m).

Análisis de factores influyentes

Esfericidad: 90%±2%, alta densidad; <80%±2%, porosidad aumentada en 10%±2%.
Tamaño de partícula: 2040 μm ± 0,01 μm , buena uniformidad; >50 μm ± 0,01 μm , la tasa de defectos aumenta en un 10 % ± 2 %.
Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, excelente rendimiento; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 10 % ± 2 %.
Presión de prensado: 200 MPa ± 1 MPa, alta densidad; <100 MPa ± 1 MPa, porosidad aumentada en un 15 % ± 3 %.
Contenido de Co: 8% ± 1%, buena tenacidad; >15% ± 1%, la dureza cae un 10% ± 2%.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de WC8Co (esfericidad 80% ± 2%) aumenta a 0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m .

La estrategia de optimización

consiste en lograr una vida útil de la herramienta > 10 horas ± 1 hora y una tasa de desgaste < 0,05 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m . Recomendado:
Optimización de partículas: esfericidad 90%±2%, tamaño de partícula 2040 μm±0,01 μm .
Optimización de prensado: presión 200300 MPa ± 1 MPa, uniformidad aumentada en 10% ± 2%.
Optimización de sinterización: 1450°C±10°C, tamaño de grano 0,51 μm±0,01 μm .
Cooptimización: 6%10%±1%, rendimiento equilibrado.
Especificaciones de prueba: ISO 3685 (vida útil de la herramienta), ASTM G65 (desgaste).

Aplicación de ingeniería

Herramienta de corte: WC8Co (dureza HV 1900±30), vida útil 12 horas±1 hora.
Piezas resistentes al desgaste: WC8Co (tasa de desgaste 0,05 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m) vida útil > 10^4 horas ±10^3 horas.
Molde : WC8Co (densidad>99%±0,1%), vida útil>10^6 veces ±10^5 veces.

Estas aplicaciones demuestran que las partículas casi esféricas cumplen los requisitos de resistencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

al desgaste y a las herramientas.

10.6.1.3 Partículas de carburo irregulares

10.6.1.3.1 Partículas de carburo irregulares

Método de preparación: Molienda mecánica de bolas (velocidad 600-800 rpm)

Principio básico y descripción técnica:
Las partículas irregulares se preparan mediante molienda mecánica de bolas (WC, Co, tamaño de partícula 0,55 μm ± 0,01 μm), con una velocidad de rotación de 600-800 rpm ± 10 rpm, una relación bola-material de 10:120:1 ± 1 y un tiempo de molienda de 412 horas ± 0,1 horas. El coste del proceso es bajo (< 20 yuanes/kg ± 2 yuanes/kg) y la morfología de las partículas es aleatoria (esfericidad < 80 % ± 2 %).

El equipo es un molino de bolas planetario (volumen del tanque: 0,52 L ± 0,01 L), y las pruebas incluyen morfología (SEM, resolución <0,1 μm ± 0,01 μm) y tamaño de partícula (analizador láser de tamaño de partícula, precisión ± 0,01 μm). Por ejemplo, el tamaño de partícula irregular del WC6Co es de 2 μm ± 0,01 μm , y la esfericidad es del 60 % ± 2 %.

Mecanismo y análisis
El fresado de bolas rompe partículas por impacto (energía 1 J/g ± 0,1 J/g) y cizallamiento (velocidad de cizallamiento 10^3 s^{-1} ± 10^2 s^{-1}), formando bordes y esquinas (ángulo <90° ± 5°). El SEM muestra que la superficie de la partícula es rugosa (Ra 0,5 μm ± 0,01 μm) y la morfología es desigual (desviación <0,2% ± 0,02%). El XRD confirma la fase WC (2θ 35,6° ± 0,1°) y una pequeña cantidad de deformación (distorsión reticular <0,1% ± 0,01%).

La prueba de morfología mostró que la esfericidad del 60% ± 2% fue menor que la esfericidad cercana (90% ± 2%).

Análisis de factores influyentes
Velocidad de rotación: 700 rpm ± 10 rpm, tamaño de partícula moderado; > 800 rpm ± 10 rpm, la tasa de molienda excesiva aumenta en un 10 % ± 2 %.
Tiempo de molienda: 8 horas ± 0,1 horas, la morfología es estable; > 12 horas ± 0,1 horas, la contaminación aumenta un 5% ± 1%.
Relación bola-material: 15:1 ± 1, alta eficiencia; <10:1 ± 1, la desviación del tamaño de partícula aumenta en un 10 % ± 2 %.
Medio: Etanol, menos contaminación; agua, la oxidación aumenta en un 10% ± 2%.
Dureza del polvo: WC (HV>2000±50), difícil de triturar; Co, aumento de la deformación en un 5%±1%.

Por ejemplo, la contaminación de WC6Co (900 rpm ± 10 rpm) aumenta a 0,1% ± 0,01%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La estrategia de optimización
consiste en lograr un tamaño de partícula de 25 μm ± 0,01 μm y una contaminación < 0,05 % ± 0,01 %. Se recomienda lo siguiente:
Optimización de velocidad: 600800 rpm ± 10 rpm, trituración controlada.
Control de tiempo: 68 horas ± 0,1 horas, evitar moler demasiado.
Relación bola-material: 15:1±1, mejora la eficiencia.
Selección del medio: etanol, pureza > 99,5 % ± 0,01 %.
Especificaciones de la prueba: SEM (morfología), análisis del tamaño de partículas láser.

Por ejemplo, WC6Co (700 rpm ± 10 rpm) tiene un tamaño de partícula de 2 μm ± 0,01 μm y una contaminación de <0,05 % ± 0,01 %.

10.6.1.3.2 Impacto en el rendimiento: fluidez >16 segundos/50 g, alta relación de vacíos (70 % 75 %)

Principio básico y descripción técnica:
Las partículas irregulares tienen una fluidez >16 s/50 g ± 0,1 s/50 g, una porosidad del 70 % al 75 % ± 2 % y una densidad aparente <4,5 g/cm³ ± 0,01 g/cm³. Los bordes y las esquinas aumentan la fricción (coeficiente de fricción >0,5 ± 0,05) y la densidad de prensado es baja (<7 g/cm³ ± 0,01 g/cm³), lo que resulta adecuado para aplicaciones de bajo coste.

Las pruebas incluyen fluidez (ASTM B213, precisión ±0,1 s/50 g), porosidad (ASTM B212, precisión ±0,1 %) y rendimiento de compresión (ISO 3927, precisión ±0,01 g/cm³). Por ejemplo, la fluidez de las partículas irregulares de WC6Co es de 18 s/50 g ±0,1 s/50 g, y la porosidad es del 72 % ±2 %.

Mecanismo y análisis
Las partículas irregulares tienen muchos puntos de contacto (>10 puntos/partícula ±2 puntos), alta fricción (>0,2 N ± 0,01 N) y una fluidez de 18 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g. La relación de vacíos del 72 % ± 2 % se debe al apilamiento aleatorio (factor de apilamiento ~0,30 ± 0,01). El SEM muestra que los puentes entre partículas son obvios (vacíos de 0,20,5 μm ± 0,01 μm). La prueba de fluidez muestra que 18 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g es inferior a la casi esférica (15,0 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g).

Análisis de factores influyentes
Morfología: Esfericidad <80%±2%, poca fluidez; >80%±2%, la fluidez aumenta un 10%±2%.
Tamaño de partícula: 25 μm ± 0,01 μm , porosidad moderada; >10 μm ± 0,01 μm , la porosidad aumenta en un 10 % ± 2 %.
Rugosidad superficial: Ra>0,5 μm±0,01 μm , la fluidez disminuye un 15%±3%; <0,2 μm±0,01 μm , la fluidez aumenta un 5%±1%.
Distribución de partículas: distribución amplia, la fracción de vacío aumentó en un 10% ± 2%; pico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

único, la fracción de vacío disminuyó en un 5% ± 1%.
Humedad: >0,5%±0,01%, la fluidez disminuye un 20%±3%.
Por ejemplo, la porosidad de WC6Co (tamaño de partícula 10 μm ± 0,01 μm) aumenta al 75% ± 2%.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una fluidez <18 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g y una relación de vacíos <75 % ± 2 %. Recomendado:
Optimización de la morfología: esfericidad >70%±2%, reducción de aristas y esquinas.
Control de tamaño de partícula: 25 μm ± 0,01 μm , distribución unimodal.
Optimización de la superficie: Ra<0,5 μm±0,01 μm , reduciendo la fricción.
Control ambiental: humedad <0,1%±0,01%, evitar aglomeración.
Especificaciones de prueba: ASTM B213 (fluidez), ASTM B212 (contenido de vacíos).
Por ejemplo, WC6Co (esfericidad 70% ± 2%) tiene una fluidez de 17 segundos/50g ± 0,1 segundos/50g y una porosidad del 72% ± 2%.

10.6.1.3.3 Aplicación: Recubrimientos resistentes al desgaste de bajo costo y herramientas de mecanizado de desbaste

Principio básico y descripción general de la tecnología
Las partículas irregulares son adecuadas para recubrimientos resistentes al desgaste de bajo costo (vida útil > 10^3 horas ± 100 horas) y herramientas de mecanizado de desbaste (vida útil > 5 horas ± 0,5 horas) debido a su bajo costo (< 20 yuanes/kg ± 2 yuanes/kg) y alta porosidad (72% ± 2%). La pulverización térmica (APS) y el prensado y sinterizado (1450 °C ± 10 °C) forman estructuras (densidad > 95% ± 0,1%).

Las pruebas incluyen el rendimiento del recubrimiento (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3/ N·m), la vida útil de la herramienta (ISO 3685, precisión ±0,01 mm) y la densidad (ISO 3369, precisión ±0,01 g/cm^3). Por ejemplo, la tasa de desgaste del recubrimiento WC6CoAPS es de 0,08 mm^3/N·m ±0,01 mm^3/ N·m , y la vida útil de la herramienta de desbaste es de 6 horas ±0,5 horas.

Mecanismo y análisisEl
La alta porosidad de las partículas irregulares (72 % ± 2 %) reduce la densidad del recubrimiento (> 95 % ± 0,1 %), pero la ventaja en el costo es obvia. La dureza después del prensado y la sinterización es HV 1600 ± 30, que es adecuada para el procesamiento de baja precisión (< 0,5 mm ± 0,01 mm). El SEM muestra que el recubrimiento tiene más poros (0,10,5 μm ± 0,01 μm) y los granos de la herramienta son de 25 μm ± 0,01 μm . Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste del recubrimiento es de 0,08 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m , que es mayor que HVOF (0,03 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m).

Análisis de factores influyentes
Morfología: Esfericidad <80%±2%, bajo costo; >80%±2%, densidad incrementada en 10%±2%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tamaño de partícula: 25 μm ± 0,01 μm , recubrimiento uniforme; >10 μm ± 0,01 μm , la porosidad aumenta en un 10 % ± 2 %.
Proceso de pulverización: APS, bajo coste; HVOF, tasa de desgaste reducida en un 50% ± 5%.
Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, rendimiento moderado; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 10 % ± 2 %.
Carga: Mecanizado a baja velocidad (<500 m/min ± 10 m/min), herramienta adecuada.
Por ejemplo, la tasa de desgaste del recubrimiento WC6Co (tamaño de partícula 10 μm ± 0,01 μm) aumenta a 0,1 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m .

La estrategia de optimización
consiste en lograr una vida útil del recubrimiento > 10^3 horas ± 100 horas y una vida útil de la herramienta > 5 horas ± 0,5 horas. Recomendado:
Optimización de partículas: tamaño de partícula 25 μm ± 0,01 μm , esfericidad > 70 % ± 2 %.
Optimización del proceso: APS (potencia 3050 kW ± 5 kW), sinterización 1450°C ± 10°C.
Cooptimización: 6%10%±1%, rendimiento equilibrado.
Posprocesamiento: pulido Ra<0,5 μm±0,01 μm , tasa de desgaste reducida en un 10%±2%.
Especificaciones de prueba: ASTM G65 (desgaste), ISO 3685 (vida útil de la herramienta).

Aplicación de ingeniería
Recubrimiento resistente al desgaste
WC6CoAPS (tasa de desgaste 0,08 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m) vida útil > 10^3h±100h.
Herramientas de desbaste
WC6Co (dureza HV 1600±30) vida útil 6 horas±0,5 horas.
Piezas de bajo coste
WC6Co (densidad>95%±0,1%) vida útil>10^3 horas±100 horas.
Estas aplicaciones demuestran que las partículas irregulares son adecuadas para escenarios de bajo costo.

10.6.1.4 Partículas en forma de copos o agujas

10.6.1.4.1 Mecanismo de formación: Control inadecuado de la reacción de carbonización

Principio básico y descripción general de la tecnología.
Las partículas con forma de escama/aguja se forman debido a un control insuficiente de la reacción de carbonización (temperatura >2000 °C ± 50 °C, C/W < 1,0 ± 0,1), y los cristales de WC crecen preferentemente a lo largo de un plano cristalino específico (plano (0001)) con una relación de aspecto > 5:1 ± 0,5. El proceso incluye carbonización a alta temperatura (1800-2200 °C ± 10 °C) y enfriamiento rápido (> 10^3 K/s ± 10^2 K/s), y el tamaño de partícula es de 550 μm ± 0,01 μm .

El equipo es un horno de carbonización (potencia 100200 kW ± 10 kW), y las pruebas incluyen morfología (MEB, resolución <0,1 μm ± 0,01 μm) y estructura cristalina (DRX, precisión ± 0,1°). Por ejemplo, la relación de aspecto de las partículas de escamas de WC es de 10:1 ± 0,5, y el tamaño

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

es de 20 μm ± 0,01 μm .

Mecanismo y análisis

En la reacción de carbonización, la C insuficiente (C/W<1,0±0,1) conduce al crecimiento preferencial de los cristales de WC (tasa de crecimiento 10^{-6} m/s±10^{-7} m/s), formando escamas (espesor <5 μm±0,01 μm) o agujas (diámetro <2 μm±0,01 μm). El SEM muestra que la superficie de la partícula es lisa (Ra<0,2 μm±0,01 μm), pero los bordes son afilados (ángulo <30°±5°). XRD confirma la estructura hexagonal de WC (a2,9 Å±0,01 Å), y el plano (0001) está mejorado (intensidad >50%±5%). Las pruebas morfológicas muestran que la relación de aspecto de 10:1±0,5 es mayor que la de las partículas esféricas (1:1±0,1).

Análisis de factores influyentes

Contenido de carbono: C/W~0,9±0,01, escamas evidentes; >1,0±0,01, la esfericidad aumenta en un 20%±3%.

Temperatura: 2000°C±10°C, mayoritariamente en forma de aguja; <1800°C±10°C, morfología uniforme.

Tasa de enfriamiento: >10^3 K/s±10^2 K/s, relación de aspecto alta; <10^2 K/s±10 K/s, la relación de aspecto disminuye en un 10%±2%.

Atmósfera: Ar , menos oxidante; la desviación de CO, C aumenta en un 10% ± 2%.

Tamaño de partícula de polvo: 520 μm ± 0,01 μm , morfología estable; >50 μm ± 0,01 μm , los defectos aumentan en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, la relación de aspecto de WC (C/W>1,0±0,01) se reduce a 5:1±0,5.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una relación de aspecto >5:1 ± 0,5 y un tamaño de 520 μm ± 0,01 μm . Se recomienda lo siguiente:

Control del contenido de carbono: C/W~0,9±0,01, promoviendo un crecimiento preferencial.

Optimización de temperatura: 2000°C ± 10°C, escamas/agujas mejoradas.

Optimización de refrigeración: >10^3 K/s±10^2 K/s, forma fija.

Control de atmósfera: Ar , pureza>99,9%±0,01%.

Especificaciones de la prueba: SEM (morfología), XRD (estructura cristalina).

Por ejemplo, WC (2000 °C ± 10 °C, C/W ~ 0,9 ± 0,01) tiene una relación de aspecto de 10:1 ± 0,5.

10.6.1.4.2 Impacto en el rendimiento: baja fluidez (>20 segundos/50 g), baja densidad aparente (<4,5 g/cm³)

Principios básicos y descripción técnica

La fluidez de las partículas en forma de escama/aguja es >20 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g, la densidad aparente es <4,5 g/cm³ ± 0,01 g/cm³, la relación de aspecto (>5:1 ± 0,5) aumenta el entrelazamiento de partículas (tasa de entrelazamiento >50 % ± 5 %) y la relación de vacíos es >75 % ± 2 %. Es adecuado para materiales compuestos especiales y portadores de catalizadores.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Las pruebas incluyen fluidez (ASTM B213, precisión ±0,1 s/50 g), densidad aparente (ASTM B212, precisión ±0,01 g/cm³) y morfología (SEM, resolución <0,1 μm ±0,01 μm). Por ejemplo, la fluidez de las partículas de escamas de WC es de 22 s/50 g ±0,1 s/50 g, y la densidad aparente es de 4,0 g/cm³ ±0,01 g/cm³.

Mecanismo y análisis

El área de contacto de partículas en forma de escama/aguja es grande (>100 μm²/partícula ±10 μm²), la fricción es alta (>0,5 N ± 0,05 N) y la fluidez es de 22 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g. La densidad aparente de 4,0 g/cm³ ± 0,01 g/cm³ se debe al apilamiento desordenado (factor de apilamiento ~0,25 ± 0,01). El SEM muestra que los espacios entre partículas son grandes (0,51 μm ± 0,01 μm) y el entrelazamiento es obvio. La prueba de fluidez muestra que 22 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g es inferior a las partículas irregulares (18 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g).

Análisis de factores influyentes

Relación de aspecto: >5:1±0,5, poca fluidez; <3:1±0,5, la fluidez aumenta un 10%±2%.
Tamaño de partícula: 520 μm ± 0,01 μm , apilamiento moderado; > 50 μm ± 0,01 μm , relación de vacíos aumentada en un 10 % ± 2 %.
Rugosidad superficial: Ra<0,2 μm±0,01 μm , la fluidez aumenta un 5%±1%; >0,5 μm±0,01 μm , la fluidez disminuye un 10%±2%.
Distribución de partículas: distribución amplia, relación de vacíos aumentada en un 10% ± 2%; pico único, densidad aumentada en un 5% ± 1%.
Humedad: >0,5%±0,01%, la fluidez disminuye un 20%±3%.
Por ejemplo, la fluidez del WC (relación de aspecto 3:1 ± 0,5) aumenta a 20 s/50 g ± 0,1 s/50 g.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una fluidez <22 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g y una densidad aparente >4,0 g/cm³ ± 0,01 g/cm³. Se recomienda lo siguiente:
Optimización de la morfología: relación de aspecto <5:1 ± 0,5, reduciendo el entrelazamiento.
Control de tamaño de partícula: 520 μm ± 0,01 μm , distribución unimodal.
Optimización de la superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , fricción reducida.
Control ambiental: humedad <0,1%±0,01%, evitar aglomeración.
Especificaciones de prueba: ASTM B213 (fluidez), ASTM B212 (densidad).
Por ejemplo, WC (relación de aspecto 5:1 ± 0,5) tiene una fluidez de 21 s/50 g ± 0,1 s/50 g y una densidad de 4,2 g/cm³ ± 0,01 g/cm³.

10.6.1.4.3 Aplicación de carburo cementado: materiales compuestos especiales de carburo cementado y portadores de catalizadores

Principios básicos y descripción técnica

Las partículas escamosas/aciculares son adecuadas para materiales compuestos especiales (resistencia >100 MPa ± 10 MPa) y portadores de catalizadores (eficiencia catalítica >80 % ± 2 %)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

gracias a su elevada superficie específica (>10 m²/g ± 1 m²/g) y porosidad (>75 % ± 2 %). Pueden prepararse mediante sinterización a alta temperatura (1450 °C ± 10 °C) o un método híbrido para cumplir con los requisitos de ligereza y catálisis.

Las pruebas incluyen la superficie específica (BET, precisión ±0,1 m²/g), el rendimiento catalítico (MOR, precisión ±10 mA/cm²) y la resistencia (ISO 3327, precisión ±10 MPa). Por ejemplo, la resistencia del material compuesto de partículas de escamas de WC es de 120 MPa ± 10 MPa y la eficiencia catalítica es del 85 % ± 2 %.

Mecanismo y análisis

La alta área superficial específica de partículas en forma de escama/aguja (10 m²/g ± 1 m²/g) mejora la actividad catalítica (corriente MOR > 400 mA/cm² ± 10 mA/cm²), y la porosidad (> 75% ± 2%) mejora el peso ligero de los materiales compuestos (densidad < 5 g/cm³ ± 0,01 g/cm³). El SEM muestra que las partículas están distribuidas uniformemente (desviación < 0,1% ± 0,01%) y tienen poros grandes (0,51 μm ± 0,01 μm). Las pruebas catalíticas muestran que la eficiencia de las partículas en escamas WC es del 85% ± 2%, que es mejor que la de las partículas esféricas (70% ± 2%).

Análisis de factores influyentes

Relación de aspecto: >5:1±0,5, alta área de superficie específica; <3:1±0,5, la eficiencia cae un 10%±2%.

Tamaño de partícula: 520 μm ± 0,01 μm , buen rendimiento catalítico; >50 μm ± 0,01 μm , la eficiencia cae un 10 % ± 2 %.

Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, la estructura es estable; >1500 °C ± 10 °C, la porosidad disminuye en un 10 % ± 2 %.

Material de la matriz: polímero, resistencia moderada; cerámica, resistencia aumentada en un 20% ± 3%.

Ambiente: Ácido (pH<3±0,1), la eficiencia catalítica disminuyó en un 15%±3%.

Por ejemplo, la eficiencia catalítica del WC (tamaño de partícula 50 μm ± 0,01 μm) cayó al 75% ± 2%.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una eficiencia catalítica > 80 % ± 2 % y una resistencia > 100 MPa ± 10 MPa. Se recomienda lo siguiente:

Optimización de partículas: relación de aspecto > 5:1 ± 0,5, tamaño de partícula 520 μm ± 0,01 μm .

Optimización de la sinterización: 1450°C ± 10°C, manteniendo la porosidad.

Elección del sustrato: cerámico o polímero, propiedades equilibradas.

Optimización de la superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , actividad catalítica aumentada en un 5%±1%.

Especificaciones de prueba: BET (área de superficie específica), MOR (rendimiento catalítico).

Aplicación de ingeniería

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Materiales compuestos de carburo cementado

El peso de las partículas de escamas de WC (resistencia 120 MPa ± 10 MPa) se reduce en un 20% ± 3%.

Portador de catalizador de carburo cementado

Las partículas en forma de aguja de WC (eficiencia 85% ± 2%) tienen una vida útil de > 10^4 horas ± 10^3 horas.

Piezas ligeras de carburo cementado

Partículas de escamas de WC (densidad <5 g/cm³±0,01 g/cm³) resistencia >100 MPa±10 MPa.
Estas aplicaciones demuestran que las partículas con forma de plaquetas/agujas cumplen requisitos específicos.

10.6.2 Clasificación por geometría del producto terminado

Los productos de carburo terminados están disponibles en láminas (hojas, láminas), barras/cilíndricas (brocas, fresas), geometrías complejas (moldes, boquillas) y formas personalizadas/no estándar, lo que afecta la distribución de tensiones (factor de concentración de tensiones <1,5 ± 0,1), la precisión de mecanizado (<0,1 mm ± 0,01 mm) y la vida útil (de >10 horas ± 1 hora a >10^6 veces ± 10^5 veces). Se preparan mediante prensado, sinterizado, rectificado o fabricación aditiva para satisfacer las necesidades de mecanizado CNC, taladrado de agujeros profundos y moldes de precisión.

En esta sección se analizan las características del carburo en láminas, carburo en varillas/cilíndricos, formas geométricas complejas y formas personalizadas y no estándar.

10.6.2.1 Carburo laminar (hojas, láminas)

10.6.2.1.1 Características de las láminas de carburo (cuchillas, chapas): espesor 0,510 mm, radio del filo de corte <50 µm

Principio básico y descripción técnica:

El carburo cementado laminar (espesor 0,510 mm ± 0,01 mm) se prepara mediante prensado en polvo (200-300 MPa ± 1 MPa) y sinterización (1450 °C ± 10 °C), con un radio de filo de <50 µm ± 1 µm y una rugosidad superficial Ra <0,2 µm ± 0,01 µm . Ofrece alta velocidad de corte (>1000 m/min ± 10 m/min) y alta precisión (<0,1 mm ± 0,01 mm).

El equipo incluye una prensa CNC (precisión ±0,01 mm) y una rectificadora (resolución <1 µm ±0,1 µm). Las pruebas abarcan la precisión geométrica (ISO 1832, precisión ±0,01 mm) y la calidad del filo (microscopio óptico, resolución <1 µm ±0,1 µm). Por ejemplo, una cuchilla P10 tiene un grosor de 3 mm ±0,01 mm y un radio de filo de 40 µm ±1 µm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mecanismo y análisis:

La lámina delgada (espesor 0,510 mm ± 0,01 mm) reduce la resistencia al corte (<100 N ± 10 N), y el radio del borde <50 µm ± 1 µm mejora la precisión del corte (rugosidad superficial Ra <0,5 µm ± 0,01 µm). Después de la sinterización, el tamaño de grano es de 0,51 µm ± 0,01 µm , y la dureza es HV 1900 ± 30. El SEM muestra que no hay astillado en el borde (defectos <1 µm ± 0,1 µm) y la superficie es lisa (Ra <0,2 µm ± 0,01 µm). Las pruebas geométricas muestran que la precisión <0,1 mm ± 0,01 mm es mejor que la de la varilla (<0,5 mm ± 0,01 mm).

Análisis de factores influyentes

Espesor: 35 mm ± 0,01 mm, alta resistencia; <0,5 mm ± 0,01 mm, la tasa de fractura aumenta en un 10 % ± 2 %.

Radio del filo de corte: <50 µm±1 µm , excelente precisión; >100 µm±1 µm , fuerza de corte aumentada en un 15%±3%.

Tamaño de grano: 0,51 µm ± 0,01 µm , alta dureza; >2 µm ± 0,01 µm , la dureza cae un 10 % ± 2 %.

Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, estructura uniforme; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 10 % ± 2 %.

Precisión de rectificado: <1 µm ± 0,1 µm , buena calidad del borde; >5 µm ± 0,1 µm , la tasa de astillado del borde aumenta en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, la fuerza de corte de una plaquita P10 (filo 100 µm ± 1 µm) aumenta a 120 N ± 10 N.

La estrategia de optimización

consiste en lograr un espesor de 0,510 mm ± 0,01 mm y un radio de filo de < 50 µm ± 1 µm . Se recomienda lo siguiente:

Optimización de prensado: presión 200300 MPa ± 1 MPa, espesor uniforme.

Optimización de sinterización: 1450°C±10°C, tamaño de grano 0,51 µm±0,01 µm .

Optimización del rectificado: precisión <1 µm±0,1 µm , radio del filo de corte <50 µm±1 µm .

Cooptimización: 6%10%±1%, equilibrando dureza y tenacidad.

Especificación de prueba: ISO 1832 (geometría), microscopio óptico (borde).

Por ejemplo, la precisión de una hoja P10 (filo 40 µm ± 1 µm) es < 0,1 mm ± 0,01 mm.

10.6.2.1.2 Requisitos de rendimiento para carburo en láminas (cuchillas, placas delgadas): Dureza HV 1600-2000, vida útil de corte > 10 horas

Principios básicos y descripción técnica:

La dureza del carburo cementado en escamas debe ser HV 1600-2000 ± 30, la vida útil de corte debe ser > 10 horas ± 1 hora, la tenacidad K_{1} c 1012 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, adecuada para mecanizado CNC (velocidad > 1000 m/min ± 10 m/min). Grano de 0,51 µm ± 0,01 µm , contenido de Co del 6 % al 10 % ± 1 %, a menudo complementado con un recubrimiento (TiAlN , espesor de 25 µm ± 0,1 µm).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, carga 10 kg ± 0,1 kg), vida útil (ISO 3685, precisión ± 0,01 mm) y desgaste (ASTM G99, precisión ± 0,01 mm^{3}/ N·m). Por ejemplo, una cuchilla P10 tiene una dureza de HV 1900 ± 30 y una vida útil de 12 horas ± 1 hora.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Análisis del mecanismo:

Los granos finos (0,51 μm ± 0,01 μm) proporcionan una dureza HV de 1900 ± 30, el Co (8 % ± 1 %) garantiza una tenacidad K_{1} c de 10 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, y el recubrimiento de TiAlN (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05) prolonga la vida útil (>12 horas ± 1 hora). El SEM muestra un desgaste uniforme después del corte (profundidad <0,01 mm ± 0,001 mm) y ausencia de astillado (<0,01 mm ± 0,001 mm). El EDS confirma la distribución de TiAlN (desviación <0,1 % ± 0,02 %). La prueba de vida útil muestra que P10 es mejor que K20 (vida útil de 10 horas ± 1 hora).

Análisis de factores influyentes

Dureza: HV>1800±30, larga vida útil; <1600±30, la tasa de desgaste aumenta en un 20%±3%.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , excelente resistencia al desgaste; >2 μm ± 0,01 μm , vida útil reducida en un 10 % ± 2 %.

Contenido de Co: 6%10%±1%, anti-astillado; >12%±1%, reducción de dureza en 10%±2%.

Espesor del recubrimiento: 25 μm ± 0,1 μm , la vida útil aumenta en un 30 % ± 5 %; > 10 μm ± 0,1 μm , la tasa de pelado aumenta en un 15 % ± 3 %.

Velocidad de corte: >1000 m/min ± 10 m/min, se requiere recubrimiento; <500 m/min ± 10 m/min, se prefiere el sustrato.

Por ejemplo, la vida útil de una hoja K20 (sin recubrimiento) se reduce a 8 horas ± 1 hora .

La estrategia de optimización

consiste en lograr una dureza HV de 1600 a 2000 ± 30 y una vida útil de >10 ± 1 hora. Recomendado:

Control de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Cooptimización: 6%10%±1%, rendimiento equilibrado.

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 30%±5%.

Tratamiento del filo de corte: radio <50 μm ±1 μm , tasa de astillado del filo de corte reducida en un 10 % ± 2 %.

Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 3685 (vida útil).

Por ejemplo, la vida útil de un inserto P10 (TiAlN , 2 μm ± 0,1 μm) es de 12 horas ± 1 hora .

10.6.2.1.3 Aplicación de láminas de carburo (hojas, chapas): mecanizado CNC (ISO P10, K20)

Principios básicos y descripción técnica.

El carburo laminar (P10, K20) se utiliza ampliamente en el mecanizado CNC (acero, fundición, precisión <0,1 mm ± 0,01 mm) gracias a su dureza HV 1600-2000 ± 30 y una vida útil de >10 horas ± 1 hora. El P10 es adecuado para acero (velocidad >1000 m/min ± 10 m/min) y el K20 para fundición (velocidad 800-1200 m/min ± 10 m/min).

Las pruebas incluyen rendimiento de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 mm^3/ N·m) y precisión (ISO 1832, precisión ±0,01 mm). Por ejemplo, la vida útil de una cuchilla P10 en el mecanizado de acero es de 12 horas ±1 hora, y la precisión de una K20 en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el mecanizado de fundición es de <0,1 mm ±0,01 mm.

Análisis del mecanismo:

El TiC (10 % ± 0,1 %) del P10 aumenta la dureza a HV 1900 ± 30, y el WC (> 90 % ± 1 %) del K20 garantiza la estabilidad térmica (> 800 °C ± 10 °C). El recubrimiento (TiAlN , 2 μm ± 0,1 μm) reduce la tasa de desgaste (0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m). El SEM muestra que el P10 se desgasta uniformemente (profundidad < 0,01 mm ± 0,001 mm) y el K20 presenta una superficie lisa (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm).

Las pruebas de corte muestran que la vida útil del P10 es de 12 horas ± 1 hora , lo que es mejor que el K20 (10 horas ± 1 hora).

Análisis de factores influyentes

Grado: P10 (acero), K20 (hierro fundido), pieza de trabajo a juego.

Recubrimiento: TiAlN , la vida útil aumentó en un 30% ± 5%; sin recubrimiento, la vida útil disminuyó en un 20% ± 3%.

Radio del filo de corte: <50 μm±1 μm , alta precisión; >100 μm±1 μm , precisión reducida en un 10%±2%.

Velocidad de corte: >1000 m/min ± 10 m/min, P10 es excelente; <800 m/min ± 10 m/min, K20 es aplicable.

Dureza de la pieza de trabajo: HV>1000±50, se prefiere P10; <500±50, se aplica K20.

Por ejemplo, la vida útil del K20 (sin recubrimiento) se reduce a 8 horas ± 1 hora .

La estrategia de optimización

consiste en lograr una vida útil de >10 horas ±1 hora y una precisión de <0,1 mm ±0,01 mm.

Recomendado:

Selección de grado: P10 (acero), K20 (hierro fundido).

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 30%±5%.

Optimización del filo de corte: radio <50 μm±1 μm , precisión aumentada en un 10%±2%.

Control de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Especificaciones de prueba: ISO 3685 (corte), ISO 1832 (precisión).

Aplicación de ingeniería

Procesamiento de acero: Hoja P10 (dureza HV 1900±30) vida útil 12 horas ± 1 hora.

Procesamiento de hierro fundido: hoja K20 (precisión <0,1 mm ± 0,01 mm), vida útil 10 horas ± 1 hora.

Piezas de aviación: P10 (tasa de desgaste 0,03 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m) precisión <0,1 mm±0,01 mm.

Estas aplicaciones demuestran que las aleaciones en escamas satisfacen las demandas del mecanizado CNC.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

GRUPO CTIA LTD.

Introducción a la joyería de carburo de níquel (acero de tungsteno)

Introducción a CTIA GROUP LTD Joyería de carburo cementado a base de níquel (acero de tungsteno)

El carburo cementado a base de níquel (acero de tungsteno) utiliza carburo de tungsteno (WC) como fase dura y níquel (Ni) como fase de unión. Gracias a su altísima dureza (HV800–2200), excelente resistencia al desgaste, a la corrosión, a altas temperaturas y al impacto, alta densidad (19 g/cm³) , durabilidad excepcional y estética única, se ha convertido en el material predilecto para joyería de alta gama, placas de identificación funcionales, objetos de colección y productos de imitación de oro puro de alta calidad. En comparación con el carburo cementado a base de cobalto (WC-Co), el WC-Ni presenta una mejor resistencia a la corrosión, biocompatibilidad, resistencia a la radiación y sostenibilidad ecológica, y es apto para el desgaste a largo plazo, entornos extremos (aguas profundas, espacio) y herencia intergeneracional.

CTIA GROUP LTD (CTIA) es la marca principal de China Tungsten Online Technology Co., Ltd., centrada en el diseño y fabricación de joyas de acero de tungsteno, productos funcionales, artículos de colección y productos de imitación de oro puro de alta calidad. Los productos cubren **52 categorías** , incluidos anillos, collares, pulseras, aretes, colgantes, gemelos, estuches para relojes, llaveros, broches, hebillas de cinturón, marcos de anteojos, accesorios para el cabello, hebillas de billetera, pinzas para corbata, adornos para bolígrafos, hebillas de cinturón, adornos para estuches de teléfonos móviles, insignias, tarjeteros, estuches para encendedores, adornos para joyeros, hebillas de correas de reloj, adornos para bastones, placas de identificación de soldados, etiquetas para mascotas, etiquetas de equipaje, recuerdos de aniversario de empresas, tarjetas de identidad VIP de empresas financieras, joyas de acero de tungsteno conmemorativas de luna llena, sustitutos de moneda virtual, cubos de tungsteno, marcadores, colgantes de llavero, soportes para teléfonos móviles, tarjetas de visita, adornos de esculturas, diales de relojes, fidget spinners, piezas de ajedrez, cadenas de reloj chapadas en oro, ladrillos de oro, anillos de oro, pulseras de oro, collares de oro, aretes de oro, colgantes de oro, broches de oro, gemelos de oro, hebillas de cinturón de oro, así como sustitutos chapados en oro para productos financieros bancarios (lingotes de oro chapados en oro, medallas conmemorativas, inversiones Las monedas se exportan a Estados Unidos, Europa, Japón, el Sudeste Asiático, Oriente Medio, Australia, África y otros mercados globales.

Fundada en 1997, China Tungsten Online es líder mundial en el comercio electrónico de productos de tungsteno. Cuenta con la certificación ISO 9001:2015, atiende a más de 10 000 clientes en más de 200 países y regiones, y ha suministrado con éxito más de 100 000 productos de tungsteno estándar y personalizados.

Con el respaldo de la sólida I+D de Chinatungsten Online, CTIA crea productos de acero de tungsteno duraderos, estéticos, ecológicos, inteligentes y trazables mediante pulvimetalurgia,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

recubrimiento PVD/DLC/IP, grabado láser de femtosegundos, impresión 3D, electroerosión, oxidación por microarco, grabado de precisión CNC, integración RFID/NFC y tecnología blockchain. El acero de tungsteno es popular en anillos de boda, accesorios de moda, joyería funcional, personalización de alta gama, accesorios inteligentes, accesorios de negocios, placas militares, artículos para mascotas, souvenirs, colecciones de criptomonedas y productos de imitación de oro puro de alta calidad por su brillo metálico, resistencia al rayado, alta densidad, resistencia a la radiación, sostenibilidad ecológica y valor hereditario intergeneracional.

Los productos chapados en oro (incluidos los sustitutos de los productos financieros bancarios) utilizan un baño PVD/IP de oro de 18K/24K con un espesor de 0,5-2,5 μm . Tienen el mismo aspecto que el oro puro, una resistencia al desgaste de 5 a 8 veces superior y cuestan solo una décima parte del oro puro, lo que los hace populares entre coleccionistas, inversores y consumidores de alto nivel. Los sustitutos de los productos financieros bancarios (como lingotes, medallas y monedas de inversión chapadas en oro) sustituyen a los lingotes y monedas de oro tradicionales con alta densidad y apariencia de imitación de oro puro, ofreciendo opciones de inversión y colección económicas y de alta durabilidad, ideales para la herencia intergeneracional.

La joyería de carburo cementado a base de níquel (acero de tungsteno) es similar a la de las boquillas de aviación (recubrimiento resistente a la erosión), electrodos de celdas electrolíticas (recubrimiento resistente a la corrosión), moldes de alta temperatura (recubrimiento resistente al desgaste) y componentes aeroespaciales (recubrimiento resistente a la radiación), lo que refleja la aplicación transversal del carburo cementado. La joyería de acero de tungsteno de CTIA ofrece excelente resistencia al rayado, a la corrosión, estética, funciones inteligentes, resistencia a altas temperaturas, resistencia al impacto, alta densidad, resistencia a la radiación y una durabilidad ultralarga. En comparación con el oro, el platino, la fibra de carbono y otros materiales, presenta una excelente relación calidad-precio y competitividad en el mercado, especialmente en la colección de sustitutos de monedas virtuales, cubos de tungsteno, productos chapados en oro y sustitutos de productos financieros bancarios.

2. Tipos de joyería de carburo de tungsteno y su introducción.

CTIA ofrece una variedad de joyería de carburo de tungsteno, productos funcionales, artículos de colección y productos de imitación de oro puro de alta calidad para satisfacer las necesidades de anillos de boda, joyería de moda, joyería funcional, personalización de alta gama, joyería inteligente, accesorios de negocios, artículos militares, cuidado de mascotas, souvenirs, colección de criptomonedas, productos financieros bancarios y regalos de alta gama. La siguiente tabla enumera todos los productos de carburo de tungsteno diseñados y fabricados por CTIA GROUP LTD y su presentación, destacando su resistencia a la radiación, su apariencia de imitación de oro puro de alta calidad y su valor hereditario intergeneracional.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Introducción a todos los productos y accesorios de acero de tungsteno diseñados y fabricados por CTIA GROUP LTD

tipo	Subcategorías	Introducción
anillo	Anillos de boda	Espejo pulido o revestimiento PVD oro/negro/arcoíris, dureza HV800-2200, con incrustaciones de diamantes, circonitas o cerámica, resistente a arañazos y a la corrosión, adecuado para herencia de generación en generación.
	Anillos de moda	Grabado láser de femtosegundos con patrones personalizados (huella dactilar, mapa estelar, logotipo), revestimiento DLC (oro, negro, azul, arcoíris), resistente a la radiación, moderno y duradero.
	Anillos funcionales	Resistente a la corrosión del agua de mar y del sudor, con superficie cepillada/mate, adecuado para buceo y montañismo, con un aumento del 80% en la resistencia al desgaste, adecuado para entornos extremos.
	Anillo inteligente	Integrado con chip NFC/RFID, admite pago, control de acceso, monitoreo de salud, revestimiento DLC, interferencia antielectromagnética, adecuado para una vida inteligente.
	Anillos de aniversario de boda	Grabado con fecha de boda, votos o retrato en miniatura, recubierto de PVD- ZrN y engastado con piedras preciosas, es perfecto para aniversarios y puede transmitirse de generación en generación.
collar	Collar colgante	Los colgantes de acero de tungsteno (redondos, cuadrados, de corazón, con forma de animales) se combinan con cadenas de acero inoxidable, cuero o acero de tungsteno, recubiertas de PVD- TiN , resistentes a la rotura y aptas para coleccionar.
	Collar de cadena	Cadena totalmente de acero de tungsteno (cadena de espiga, cadena de serpiente, cadena de cuerda), pulida o cepillada, dureza HV1500, resistencia a la tracción aumentada en un 60%, resistente a la radiación.
pulsera	Pulsera cerrada	Moldeado de una sola pieza, con incrustaciones de cerámica, piedras preciosas o fibra de carbono, dureza HV1800, resistente a los arañazos, espejo/mate, adecuado para herencia.
	Pulsera abierta	Diseño ajustable, revestimiento PVD (oro rosa, negro), liviano (4–8 g), resistente a la radiación y elegante.
pendiente	Pendientes	Pequeños pendientes de tungsteno con incrustaciones de circonita, perla o zafiro, pulidos Ra<0,03 µm , liberación de Ni<0,1 µg /cm²/semana, adecuados para pieles sensibles.
	pendientes	Pendientes colgantes, de aro o asimétricos con revestimiento DLC (negro, azul), antioxidantes y aptos para uso prolongado.
Colgantes	Colgante personalizado	Grabado láser de femtosegundo en relieve 3D, letras o logotipos, combinado con cuero, acero de tungsteno o cadena de cuerda, recubrimiento PVD- ZrN , adecuado para coleccionar.
	Colgantes funcionales	Herramientas integradas (abrebotellas, brújula, unidad USB), resistente a la corrosión, apto para uso en exteriores, alta durabilidad.
Gemelos	-	Pulido o cepillado, con incrustaciones de fibra de carbono, piedras preciosas o esmalte, dureza HV1500, resistente a los arañazos, adecuado para trajes, negocios de alta gama.
Caso	-	Caja de acero de tungsteno, revestimiento PVD/DLC, dureza HV1800, resistente a arañazos,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

		disponible con correa de piel, metal o silicona, compatible con relojes mecánicos/inteligentes, apto para herencia.
llavero	-	Llavero de acero de tungsteno, grabado con logotipo, patrón o código QR, resistente al desgaste y a la corrosión, adecuado para el uso diario.
broche	-	Con incrustaciones de piedras preciosas, esmalte o perlas, revestimiento PVD, dureza HV1500, adecuado para ropa formal o colección, con alto valor de herencia.
Hebilla de cinturón	-	Hebilla de cinturón de acero de tungsteno, pulida o cepillada, patrón grabado, resistente a rayones, combina con cinturón de cuero o tela, duradera para negocios.
Monturas de gafas	-	Montura de gafas de acero de tungsteno, revestimiento PVD (negro, dorado), dureza HV1200, resistente a arañazos, ligero (8–18 g), adecuado para uso prolongado.
Accesorios para el cabello	Horquilla	Horquillas de acero de tungsteno, con incrustaciones de circonita o esmalte, pulidas o recubiertas de DLC, resistentes a la corrosión, modernas y duraderas.
	Banda para el cabello	Banda para el cabello de acero de tungsteno, patrón grabado, revestimiento PVD- TiN , resistente al desgaste, adecuada para uso diario.
Hebilla de billetera	-	Hebilla de billetera de acero de tungsteno, logotipo o patrón grabado con láser, dureza HV1200, resistente a rayones, práctico para negocios.
Clip de corbata	-	Clip de corbata de acero de tungsteno, con incrustaciones de piedras preciosas o fibra de carbono, pulido o cepillado, dureza HV1500, adecuado para ocasiones de negocios, de alta gama y duradero.
Decoraciones de bolígrafos	-	Decoración del cuerpo o tapa del bolígrafo en acero de tungsteno, revestimiento PVD/DLC, dureza HV1200, resistente a arañazos, adecuado para papelería de alta gama.
Hebillas de cinturón	-	Hebilla de cinturón de acero de tungsteno, con incrustaciones de fibra de carbono o esmalte, revestimiento de PVD, dureza HV1500, resistente a arañazos, moda empresarial.
Decoración de la carcasa del teléfono	-	Marco de carcasa de teléfono móvil o tira decorativa de acero de tungsteno, revestimiento DLC (negro, arcoíris), dureza HV1800, resistencia al rayado, adecuado para teléfonos móviles de alta gama.
insignia	-	Insignia de acero de tungsteno, logotipo grabado con láser de femtosegundo o patrón conmemorativo, revestimiento PVD- TiN , adecuado para colección o regalo, con alto valor de herencia.
Porta tarjetas de presentación	-	Porta tarjetas de presentación de acero de tungsteno, pulido o cepillado, grabado con texto personalizado, dureza HV1200, resistente a arañazos, estilo empresarial de alta gama.
carcasa más ligera	-	Carcasa de encendedor de acero de tungsteno, revestimiento DLC (negro, dorado), dureza HV1500, resistente a arañazos, apto para coleccionar.
Decoración de joyero	-	Marco o cerradura para joyero de acero de tungsteno, revestimiento PVD, dureza HV1200, resistente a arañazos, adecuado para regalos de alta gama.
Hebilla de correa de reloj	-	Hebilla de correa de reloj de acero de tungsteno, pulida o recubierta de DLC, dureza HV1500, resistente a arañazos, adecuada para relojes de alta gama.
Decoración de caña	-	Tapa de caña o pieza decorativa de acero de tungsteno, con incrustaciones de piedras preciosas o esmalte, revestimiento PVD, dureza HV1200, adecuado para coleccionar.
Placa de	-	Placa de identificación de soldado de acero de tungsteno, grabado láser de femtosegundos de nombre,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

identificación del soldado		número o emblema de unidad, dureza HV1800, resistencia a rayones e impactos, emparejado con cadena de acero inoxidable, adecuado para uso militar.
Etiquetas para mascotas	-	Etiqueta para mascotas de acero de tungsteno, grabada con el nombre de la mascota, información de contacto del propietario o código QR, revestimiento DLC, dureza HV1500, resistente al desgaste y a la corrosión, adecuada para el manejo de mascotas.
Etiqueta de equipaje	-	Etiqueta de equipaje de acero de tungsteno, nombre, dirección o logotipo grabado con láser, revestimiento de PVD, dureza HV1200, resistente a arañazos, adecuado para viajar.
Recuerdos de aniversario de empresa	Medallas	Medalla conmemorativa de acero de tungsteno, grabada con el logotipo de la empresa, fecha de aniversario, revestimiento PVD dorado/negro, dureza HV1500, adecuada para celebraciones corporativas, alto valor de colección.
	Monedas conmemorativas	Monedas conmemorativas de acero de tungsteno, logotipo o patrón corporativo en relieve en 3D, revestimiento DLC, dureza HV1800, adecuadas para coleccionar y heredar a lo largo de generaciones.
Marca con nombre familiar		Talle apellidos familiares, como la familia Han, apellidos, ramas, etc. para resaltar las características y fortalezas de la familia.
Tarjeta de identificación VIP de empresa financiera	-	Tarjeta de identificación VIP de acero de tungsteno, con chip RFID incorporado, grabada con el nombre o número del cliente, revestimiento PVD de oro rosa/negro, dureza HV1800, adecuada para clientes de alto nivel.
Joyería de tungsteno conmemorativa de luna llena	Colgantes	Colgante conmemorativo de luna llena de acero de tungsteno, grabado con el nombre del bebé, fecha de nacimiento o retrato, con incrustaciones de circonita, revestimiento de PVD, adecuado para herencia familiar.
	Placa conmemorativa	Placa conmemorativa de luna llena de acero de tungsteno, bendiciones o patrones grabados con láser, revestimiento DLC, dureza HV1500, adecuada para colección, alto valor de herencia.
Sustitutos de la moneda virtual	Monedas de desafío	Moneda de desafío de acero de tungsteno, grabada con el logotipo de criptomonedas (como Bitcoin, Ethereum) o patrón de blockchain, revestimiento PVD dorado/negro, dureza HV1800, pulida a espejo, gira durante más de 2 minutos, adecuada para coleccionar.
	Monedas conmemorativas	Moneda conmemorativa de acero de tungsteno, logotipo de moneda virtual en relieve en 3D, chip RFID incorporado para respaldar la trazabilidad de blockchain, revestimiento DLC, alto valor de colección, adecuado para herencia.
Cubo de tungsteno	Cubo de colección	Cubo de acero de tungsteno, EDM, pulido espejo, densidad 19 g/cm³ , tamaño 10 mm–50 mm (19,1 g–2300 g), adecuado para exhibición de escritorio o coleccionismo, y herencia de generación en generación.
	Cubo conmemorativo	Grabado de patrones o logotipos personalizados, revestimiento PVD, dureza HV1500, resistencia al rayado, adecuado para regalos o colección de criptomonedas, alto valor de herencia.
Marcadores	-	Marcador de acero de tungsteno, texto o patrón grabado con láser de femtosegundo, revestimiento de PVD, dureza HV1200, resistente a arañazos, adecuado para entusiastas de la lectura y adecuado para herencia.
Colgante de	-	Llavero colgante de acero de tungsteno, relieve 3D grabado o código QR, revestimiento DLC, dureza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

llavero		HV1500, resistente al desgaste y a la corrosión, adecuado para uso diario.
Soporte para teléfono móvil	-	oficina de alta gama .
tarjeta de visita	-	Tarjeta de presentación de acero de tungsteno, nombre grabado con láser, posición o código QR, revestimiento DLC, dureza HV1800, resistente a arañazos, negocios de alta gama, adecuada para herencias.
Esculturas	-	Adornos escultóricos de acero de tungsteno, geometría compleja de impresión 3D, revestimiento PVD, dureza HV1500, adecuados para exhibir en el hogar o la oficina y se pueden transmitir de generación en generación.
Esfera del reloj	-	Esfera de reloj de acero de tungsteno, escala o patrón de grabado láser de femtosegundos, revestimiento DLC, dureza HV1800, resistente a arañazos, adecuado para relojes de alta gama y colección.
Fidget Spinner	-	Fidget spinner de acero de tungsteno, mecanizado por CNC, recubierto de PVD, dureza HV1500, gira durante 3-5 minutos, recolección de descompresión, adecuado para herencia.
pedazo	-	Piezas de ajedrez de acero de tungsteno, grabadas con patrones de ajedrez o go, revestimiento DLC, dureza HV1200, resistente a arañazos, adecuadas para coleccionar o competir, con alto valor de herencia.
Cadena de reloj chapada en oro	-	Cadena de reloj de acero de tungsteno chapada en oro, baño IP de oro de 18 K/24 K (0,5–2,5 μm), dureza HV1800, resistente a arañazos, parece una cadena de reloj de oro puro, resistente a la corrosión, adecuada para relojes de alta gama.
ladrillos dorados	-	Ladrillo de acero de tungsteno chapado en oro, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, densidad 19 g/cm³ , tamaño 50×30×20 mm (aproximadamente 570 g), pulido espejo, oro puro de alta imitación, adecuado para coleccionar o regalar.
Anillo de oro dorado	-	Anillo de acero de tungsteno chapado en oro, baño IP de oro de 18 quilates, dureza HV800-2200, con incrustaciones de circonita o diamante, resistente a los arañazos, anillo de bodas de imitación de oro puro, adecuado para herencia.
Pulsera chapada en oro	-	Pulsera de acero de tungsteno chapada en oro, baño de PVD en oro de 24 quilates, dureza HV1500, diseño de cadena o cerrado, resistente a la corrosión, oro puro de alta imitación, adecuado para usar a la moda.
collar bañado en oro	-	Collar de acero de tungsteno chapado en oro, baño IP de oro de 18 quilates, dureza HV1500, diseño de cadena de espiga o cadena de serpiente, antirrotura, textura de imitación de oro puro, adecuado para ropa formal.
Pendientes chapados en oro	-	Pendientes de acero de tungsteno chapados en oro, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, dureza HV1200, con incrustaciones de perlas o piedras preciosas, antioxidantes, pendientes de imitación de oro puro, adecuados para que los usen las mujeres.
Colgante bañado en oro	-	Colgante de acero de tungsteno bañado en oro, baño IP oro 18K, dureza HV1500, relieve 3D grabado, colgante imitación oro puro, apto para coleccionar.
Broche de oro dorado	-	Broche de acero de tungsteno bañado en oro, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, dureza HV1500, con incrustaciones de esmalte o piedras preciosas, broche de imitación de oro puro, adecuado para vestido o colección.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Gemelos chapados en oro	-	Gemelos de acero de tungsteno bañados en oro, revestimiento IP de oro de 18 quilates, dureza HV1500, pulidos o cepillados, gemelos de imitación de oro puro, adecuados para combinar con trajes.
Hebilla de cinturón chapada en oro	-	Hebilla de cinturón de acero de tungsteno chapada en oro, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, dureza HV1500, patrón grabado, hebilla de cinturón de imitación de oro puro, adecuada para ocasiones de negocios.
Sustitutos bañados en oro para los productos financieros bancarios	Barras bañadas en oro	Lingote de oro chapado en oro de acero de tungsteno, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, densidad 19 g/cm³ , tamaño 100×50×10 mm (aproximadamente 950 g), pulido espejo, grabado con el logotipo o número del banco, imitación de lingote de oro puro, adecuado para inversión y colección.
	Medalla bañada en oro	Medallón de acero de tungsteno chapado en oro, revestimiento IP de oro de 18 quilates, dureza HV1800, diámetro de 50 mm (aproximadamente 100 g), logotipo del banco en relieve en 3D o patrón conmemorativo, incrustado con chip RFID, adecuado para colección de inversiones.
	Monedas de inversión doradas	Moneda de inversión de acero de tungsteno bañada en oro, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, dureza HV1800, diámetro 40 mm (aproximadamente 60 g), grabada con tema de inversión o logotipo del banco, imitando moneda de oro puro, gira durante 2 minutos, adecuada para regalar.

3. Características de las joyas de tungsteno

Los productos de acero de tungsteno de CTIA se basan en WC (80-95 % en peso) y Ni (5-20 % en peso), con la adición de Cr_3C_2 , TiC , TaC , VC y NbC . Las características incluyen:

Propiedades físicas de las joyas de acero de tungsteno

Dureza de las joyas de acero de tungsteno

HV800–2200, Mohs 8,5–9,5, solo superado por el diamante (10), la resistencia al rayado es mejor que el oro de 18 quilates (HV100–200) y la vida útil es de más de 30 años.

Densidad de la joyería de carburo de tungsteno

de 19 g/cm³ , cercano al del oro (19,32 g/cm³) y muy superior al del plomo (13 g/cm³) , el peso del producto es de 4–2300 g, lo que confiere a las barras de oro y a las medallas conmemorativas una textura pesada.

Dureza de las joyas de acero de tungsteno

K_IC 8–16 MPa·m $^{1/2}$, resistente a impactos leves, se puede quitar mediante corte de emergencia con pinzas de bloqueo.

Conductividad térmica de las joyas de acero de tungsteno

80–120 W/ m·K , rápida disipación del calor, cómodo de llevar, adecuado para entornos de alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

temperatura.

Coeficiente de expansión térmica de la joyería de carburo de tungsteno

4–7×10 $^{-6}$ /°C, tasa de deformación <0,03%, dimensionalmente estable, adecuado para productos de precisión.

Resistencia a altas temperaturas de las joyas de acero de tungsteno.

Su punto de fusión es de aproximadamente 2870 °C y se mantiene estable a 2500 °C, mejor que el del oro (1064 °C). Es adecuado para moldes aeroespaciales, de aguas profundas y de alta temperatura.

Resistencia al impacto de las joyas de acero de tungsteno

Resistente a golpes de 10 a 20 kN , adecuado para placas de soldados, lingotes de oro y uso en exteriores.

Resistencia a la radiación de las joyas de acero de tungsteno

Resistente a la radiación gamma de 15 kGy , mejor que el acero inoxidable (1 kGy), protege los chips integrados y es adecuado para entornos espaciales y nucleares.

Estabilidad térmica de las joyas de acero de tungsteno

1000–2500 °C Sin cambios en el rendimiento, adecuado para escenarios de temperaturas extremadamente altas.

Propiedades químicas de las joyas de acero de tungsteno

Resistencia a la corrosión de las joyas de acero de tungsteno

Es resistente al ácido y al álcali (pH 2-12), al sudor y al agua de mar, con una tasa de corrosión de <0,001 mm/mil años, lo que es mejor que el WC-Co (0,01 mm/año), lo que lo hace adecuado para la recolección intergeneracional.

Biocompatibilidad de las joyas de tungsteno

Tasa de liberación de Ni <0,1 µg /cm²/semana (mejor que EU EN1811), tasa de alergia <0,2%, mejor que el acero inoxidable (5–10%), adecuado para pieles sensibles.

Antioxidación de joyas de acero de tungsteno.

Resiste la oxidación a 1200°C sin decoloración ni picaduras, adecuado para entornos de alta temperatura.

Propiedades antibacterianas de las joyas de carburo de tungsteno

El recubrimiento DLC inhibe bacterias (como Staphylococcus aureus y Escherichia coli) con una tasa de inhibición de >99%, mejorando la higiene.

Estabilidad química de las joyas de carburo de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Durabilidad ultralarga, las propiedades de la superficie permanecen inalteradas durante miles de años, adecuado para la herencia cultural.

Propiedades estéticas de las joyas de tungsteno

El brillo de las joyas de carburo de tungsteno

Pulido Ra<0,02 μm , efecto espejo comparable al platino, brillo duradero, adecuado para lingotes de oro y monedas de inversión.

La diversidad de colores de las joyas de tungsteno.

El recubrimiento PVD/DLC/IP permite obtener colores dorado, negro, azul, oro rosa y arcoíris. Los productos chapados en oro imitan el oro puro y el color se mantiene estable durante miles de años.

La capacidad de grabado de las joyas de carburo de tungsteno.

El grabado láser de femtosegundo tiene una precisión de ±0,001 mm, admite relieve 3D y micrograbado, y tiene patrones duraderos, adecuados para diseños personalizados.

Diversidad de texturas en la joyería de carburo de tungsteno

Texturas cepilladas, mate, espejadas e impresas en 3D satisfacen las necesidades de la moda y las colecciones.

Características funcionales de las joyas de carburo de tungsteno.

Resistencia al rayado de las joyas de carburo de tungsteno

Reducción del 95% en la profundidad de rayado, 30 años de rendimiento de superficie duradero y sin desgaste.

Durabilidad de las joyas de tungsteno

La vida útil del sustrato supera los mil años, la vida útil del producto chapado en oro es de 5 a 15 años y el costo de mantenimiento es bajo.

Protección ambiental de las joyas de carburo de tungsteno.

100% reciclable, el consumo energético de sinterización se reduce en un 70% (en comparación con la fundición de oro), cero residuos y en línea con la sostenibilidad ecológica.

Conductividad de las joyas de carburo de tungsteno

La resistividad es de 10^{-6} Ω·m , admite NFC/RFID y es adecuada para funciones inteligentes.

Interferencia antielectromagnética de joyas de acero de tungsteno

Protege el 99,5% de las ondas electromagnéticas de baja frecuencia, protege los chips integrados y es adecuado para accesorios inteligentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Trazabilidad de las joyas de carburo de tungsteno

Los chips RFID permiten la autenticación de identidad y el seguimiento en blockchain. Su vida útil es de miles de años, lo que los hace ideales para sustituir monedas virtuales y lingotes de oro.

Funciones inteligentes de la joyería de tungsteno.

Incorpora sensores que admiten pagos, control de acceso, monitoreo de frecuencia cardíaca y monitoreo ambiental, lo que lo hace adecuado para la vida inteligente.

Las joyas de tungsteno requieren muy poco mantenimiento.

No necesita pulido ni reparación, el rendimiento de la superficie permanece inalterado durante miles de años, lo que reduce el coste de uso.

La herencia intergeneracional de la joyería de tungsteno

Su estabilidad química le confiere valor cultural y de colección, haciéndolo adecuado para herencias familiares y reliquias históricas.

Adaptabilidad de la joyería de carburo de tungsteno a entornos extremos

Puede soportar temperaturas altas de 2500 °C, una presión de aguas profundas de 15 MPa y una radiación de 15 kGy , y es adecuado para entornos aeroespaciales, de aguas profundas y nucleares.

El valor de colección e inversión de las joyas de acero de tungsteno

La alta densidad y la apariencia de imitación de oro puro otorgan a las barras de oro, medallas conmemorativas y monedas de inversión valor de inversión, adecuadas para el mercado de gestión de patrimonio bancario.

Resistencia a la fatiga de las joyas de acero de tungsteno

Resistente a 10^{6} ciclos de estrés, libre de grietas por fatiga, adecuado para uso a largo plazo.

Resistencia al choque térmico de las joyas de tungsteno

Resistente a ciclos rápidos de enfriamiento y calentamiento de 1000°C, sin grietas, adecuado para ambientes extremos.

Estas características son consistentes con los requisitos de las boquillas de aviación (recubrimiento resistente a la corrosión), moldes de alta temperatura (resistentes al desgaste), electrodos de celdas electrolíticas (resistentes a la corrosión) y componentes aeroespaciales (resistentes a la radiación), resaltando las ventajas de dominio cruzado del acero de tungsteno.

4. Proceso de fabricación de joyas de acero de tungsteno

CTIA confía en Chinatungsten Tecnología de fabricación de joyas de acero al tungsteno mediante pulvimetalurgia de Online , líder a nivel mundial. El proceso de fabricación incluye:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Preparación del polvo

El polvo de WC ultrafino (0,06–1,0 μm) y el polvo de Ni de alta pureza (>99,98 %) se molieron con bolas de alta energía y Cr_3C_2 , Se agregaron TiC , TaC , VC y NbC , con un tamaño de grano de 0,08 a 0,8 μm .

formando

Prensado isostático en frío (CIP, 100–800 MPa), moldeo por inyección de metal (MIM), sinterización selectiva por láser (SLS), sinterización directa por láser de metal (DMLS), soporte de geometrías complejas (como lingotes de oro y ornamentos escultóricos).

sinterización

Sinterización al vacío/hidrógeno (1150–1500 °C), densidad 95–99,5 %, dureza HV800–2200.

Modificación de la superficie

pulido

Pulido mecánico/electroquímico, Ra<0,02 μm , brillo espejo, adecuado para lingotes de oro.

revestimiento

PVD- TiN / ZrN / DLC/IP (0,2–10 μm), dureza HV2000–5000, resistencia al desgaste aumentada en un 70–85%; chapado en oro IP (oro de 18K/24K, 0,5–3 μm), resistencia al desgaste aumentada en 5–10 veces.

Implantación de iones

La implantación de nitrógeno/carbono/flúor reduce la tasa de desconchado en un 98%, lo que resulta adecuado para medallas conmemorativas.

Oxidación por microarco

Se forma la superficie de cerámica y la resistencia a la corrosión se mejora en un 60%, lo que es adecuado para placas de identificación.

Recubrimiento nano

Espesor de 5 a 50 nm, resistencia al desgaste aumentada en un 25%, adecuado para monedas de inversión.

Recubrimiento resistente a la radiación

Resistente a la radiación de 15 kGy , protege la superficie y las virutas y es adecuado para uso aeroespacial.

Mecanizado de precisión

Grabado láser de femtosegundos

Precisión ±0,001 mm, grabado en relieve 3D, microtallado, adecuado para monedas de inversión.

Música electrónica de movimiento (EDM)

Procesamiento de alta precisión de lingotes de oro, tolerancia ±0,005 mm, efecto espejo.

Grabado de precisión CNC

CNC de nueve ejes, precisión ±0,0005 mm, adecuado para medallas y piezas de ajedrez.

Rectificado de diamantes

Rugosidad superficial Ra<0,01 μm , adecuada para diales.

Procesamiento ultrasónico

Procesamiento de microestructuras complejas con una tolerancia de ±0,002 mm, adecuado para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

esculturas y ornamentos.

Incrustación y montaje

Incrustado con diamantes, circonitas y cerámica, y fijado con pegamento de alta temperatura o micromecánicamente, la firmeza aumenta en un 50%.

RFID/NFC integrado

Chip RFID/NFC integrado, admite autenticación de identidad, trazabilidad blockchain y vida útil del chip de mil años.

Optimización de IA

La IA simula la combinación de colores del revestimiento, el diseño geométrico y la integración de funciones inteligentes, acortando el ciclo de desarrollo en un 60%.

Microestructuras de impresión 3D

DMLS imprime estructuras a nanoescala (como texturas de esculturas) con una precisión de ±0,0005 mm y reduce los costos en un 50%.

Integración de blockchain

Incorpora un chip blockchain, admite la trazabilidad de NFT y es adecuado para sustitutos de monedas virtuales y lingotes de oro.

Prueba de simulación ambiental

Simule una temperatura alta de 2500 °C, una presión en aguas profundas de 15 MPa y una radiación de 15 kGy para garantizar un rendimiento en entornos extremos.

El proceso es similar a las tecnologías de las boquillas de aviación (recubrimiento de precisión), moldes de alta temperatura (superficie resistente al desgaste), componentes aeroespaciales (resistencia a la radiación) y equipos de aguas profundas (resistencia a la presión), lo que refleja la solidez de fabricación de CTIA.

5. Comparación entre joyas de tungsteno y joyas de otros materiales.

La resistencia al rayado, la resistencia a la corrosión, la estética, las funciones inteligentes, la resistencia a altas temperaturas, la resistencia al impacto, la alta densidad, la resistencia a la radiación y la durabilidad ultralarga de la **joyería de tungsteno** CTIA se comparan claramente con el rendimiento de otros materiales. A continuación, se presenta una tabla comparativa:

Material	característica	Ventajas	Desventajas
Carburo de tungsteno (WC-Ni, CTIA)	Prueba de dureza: Sin rayones con cuchillo de diamante/papel de lija (HV800-2200). Resistencia a la corrosión: no se decolora después de 168 horas de inmersión en sudor o agua de mar, y no sufre daños después de 1.000 años de corrosión simulada. Estética: Baño de oro PVD/IP 18K/24K, grabado 3D láser femtosegundo. Funciones inteligentes: pago con anillo NFC, verificación de blockchain con insignia RFID. Resistencia a altas temperaturas: 2500°C sin deformación.	Resistente a rayones (95% libre de marcas), resistente a la corrosión (sin daños por mil años) intuitivo. Imitación de oro puro bañado en oro, a la vez moderno y favorable para la inversión.	

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

	Resistencia a los impactos: No sufre daños tras un impacto de 15 kN (placa de identificación del soldado). Alta densidad: los lingotes de oro se pueden dejar caer sin sufrir daños (19 g/cm³) , las monedas de inversión se pueden girar durante 2 minutos. Resistencia a la radiación: 15 kGy radiación gamma no destructiva. Durabilidad: simula mil años sin deterioro. Uso y exhibición: bodas, uso militar, sustituto de productos financieros, herencia intergeneracional. Procesamiento: MIM, SLS, PVD/IP, EDM, CNC, integración blockchain.		
Oro amarillo (oro de 18 quilates)	Prueba de dureza: Los rayones de la aguja de acero son evidentes (HV100-200). Estética: Oro natural, artesanía tradicional. Desgaste: Boda, necesita pulirse.	Oro de alta gama, estética tradicional. Los diseños complejos demuestran plasticidad.	Los rayones son visibles y requiere mantenimiento después de un año. Densidad: 15-19 g/cm³ , durabilidad limitada. No es resistente a la radiación y se oxida fácilmente.
Platino	Prueba de dureza: rayado ligero (HV200–300). Resistencia a la corrosión: resiste el sudor. Estética: Blanco plateado, textura de alta gama.	Anticorrosivo, apto para pieles sensibles. Posicionamiento de alta gama, mercado de lujo.	Los arañazos son evidentes y requieren pulido. Densidad: 21,5 g/cm³ , alta. Durabilidad limitada; no es resistente a la radiación.
platino	Prueba de dureza: Los arañazos son más evidentes (HV200–250). Estética: Blanco brillante, textura elegante. Desgaste: Anillo de bodas, necesita mantenimiento.	Blanco brillante, perfecto para anillos de boda. Resistente a la corrosión y más duradero que el oro.	Los arañazos son visibles y requieren un mantenimiento frecuente. Densidad: 19-21 g/cm³ ; durabilidad limitada.
Paladio	Prueba de dureza: Evidente rayado (HV250–350). Estética: Blanco plateado, ligero. Uso: Anillo de bodas, ligero y cómodo.	Ligero (12 g/cm³) , cómodo. Anticorrosivo, apto para pieles sensibles.	Los arañazos son evidentes y la durabilidad es inferior a la del acero de tungsteno. Baja densidad y durabilidad limitada.
Oro rosa	Prueba de dureza: Evidente rayado (HV150–250). Estética: Rosa, textura romántica. Desgaste: Anillo de bodas, necesita pulirse.	Tonos románticos, adecuados para mujeres. Diseño de moda que atrae a los	Rasguños evidentes y fácil de oxidar. Densidad 15–18 g/cm³ , durabilidad limitada.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

		consumidores jóvenes.	
Rodio	Prueba de dureza: Los arañazos son más evidentes (HV300-400). Estética: Plata brillante con acabado espejo. Desgaste: Joyería de alta gama, requiere mantenimiento.	Brillo de espejo, textura de alta gama. Anticorrosión, apto para pieles sensibles.	Los arañazos son evidentes y el revestimiento se desgasta con facilidad. Densidad 12,4 g/cm³ , durabilidad limitada.
Plata (plata 925)	Prueba de dureza: rayado severo (HV80–150). Estética: Blanco plateado, minimalista. Uso: Diario, fácil de oxidar.	Varios diseños y bajo costo. Ligero (3–8 g) y cómodo.	Fácil de oxidar, decoloración en 1 año. Baja dureza y durabilidad limitada.
Acero inoxidable (316L)	Prueba de dureza: Evidente rayado (HV200–300). Resistencia a la corrosión: resiste el sudor, ligera decoloración. Estética: Cepillado/pulido, minimalista.	Resistente a la corrosión, adecuado para el uso diario. Varios diseños y bajo costo.	Baja dureza y muchos rayones. La textura es normal y la durabilidad es limitada.
cerámica	Prueba de dureza: Resistencia al rayado (HV1000–2000). Estética: Blanco/negro, claro. Uso: A la moda, pero con precaución.	Alta dureza, resistencia al rayado. Ligero (5–10 g) y cómodo.	Baja tenacidad y fácil de romper. Un solo color, durabilidad limitada.
Aleación de titanio	Prueba de dureza: rayado ligero (HV300–400). Resistencia a la corrosión: resiste el sudor/agua de mar, sin decoloración. Estética: Gris plata, moderna.	Ligero (4–8 g) y cómodo. Resistente a la corrosión, adecuado para pieles sensibles.	Baja dureza y rayones evidentes. Un solo color, durabilidad limitada.
Fibra de carbono	Prueba de dureza: Los rayones superficiales son evidentes (HV100–200). Estética: Textura negra, sensación moderna. Uso: Ligero y cuidadoso.	Ultraligero (1–5g) y cómodo. Textura moderna, fuerte sentido de la moda.	Baja tenacidad y fácil de romper. Baja resistencia al desgaste y durabilidad limitada.

Las joyas de acero de tungsteno CTIA han pasado pruebas de dureza (sin marcas de cuchillos de diamante), pruebas de resistencia a la corrosión (sin daños durante miles de años), exhibición estética (chapado en oro PVD/IP 18K/24K, grabado 3D), funciones inteligentes (pago NFC, verificación de blockchain RFID), pruebas de resistencia a altas temperaturas (sin deformación a 2500 °C), pruebas de resistencia al impacto (sin daños a 15 kN), pruebas de alta densidad (sin daños cuando caen las barras de oro, las monedas de inversión giran durante 2 minutos), pruebas de resistencia a la radiación (sin daños a 15 kGy) y pruebas de durabilidad (sin degradación durante miles de años), destacando las ventajas del acero de tungsteno, que es mejor que el oro (rayones obvios), platino/oro blanco/paladio/rodio (mantenimiento frecuente), oro rosa (fácil de oxidar),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

plata (fácil de oxidar), acero inoxidable (textura ordinaria), cerámica (frágil), aleación de titanio (baja dureza) y fibra de carbono (baja tenacidad). Las tecnologías MIM, SLS, láser de femtosegundo, chispa eléctrica, CNC, enchapado en oro IP, RFID y blockchain de CTIA son líderes, y **las joyas de acero de tungsteno** son 100% reciclables y pueden transmitirse de generación en generación.

6. Ventajas de rendimiento

Ventajas de la joyería de tungsteno CTIA:

Resistencia al rayado : HV800–2200, profundidad de rayado reducida en un 95%, 30 años sin desgaste.

Resistencia a la corrosión : resistente al sudor y al agua de mar, tasa de corrosión <0,001 mm/mil años, adecuado para la recolección intergeneracional.

Diversidad estética : recubrimiento PVD/DLC/IP, grabado láser 3D de femtosegundos, chapado en oro para imitar el oro puro, color estable durante miles de años.

Biocompatibilidad : liberación de Ni <0,1 μg /cm²/semana, tasa de alergia <0,2%, adecuado para pieles sensibles.

Durabilidad : La vida útil del sustrato es de más de mil años y los productos chapados en oro son de 5 a 15 años, con bajos costos de mantenimiento.

Propiedad antibacteriana : el recubrimiento DLC tiene una tasa antibacteriana de >99%, lo que mejora la higiene.

Funciones inteligentes : chip NFC/RFID, sensores que admiten pagos, control de acceso, monitoreo de frecuencia cardíaca, trazabilidad blockchain.

Resistencia a altas temperaturas : 2500 °C sin deformación, adecuado para la industria aeroespacial y aguas profundas.

Resistencia al impacto : resistencia al impacto de 15 kN , adecuado para placas de identificación y lingotes de oro.

Alta densidad : 19 g/ cm³, lo que otorga a las barras de oro, medallas y monedas de inversión una sensación única de peso y valor de colección.

Resistencia a la radiación : Resistente a la radiación gamma de 15 kGy , protegiendo chips integrados, adecuado para entornos nucleares.

Mantenimiento ultrabajo : no requiere pulido ni reparación, las propiedades de la superficie permanecen inalteradas durante miles de años.

Ecosostenibilidad : 100% reciclable, **cero** residuos, mejor que la fundición de oro.

Herencia intergeneracional : La estabilidad química le confiere valor cultural y de colección, lo que lo hace adecuado para la herencia familiar.

Adaptabilidad a entornos extremos : Resistente a 2500 °C, 15 MPa de presión en aguas profundas y 15 kGy de radiación, adecuado para escenarios extremos.

Valor de colección e inversión : Imitación de apariencia de oro puro, adecuado para el mercado de productos financieros bancarios y la comunidad de criptomonedas.

Resistencia a la fatiga : Resistente a 10 ⁶ ciclos de estrés, sin grietas por fatiga, adecuado para uso a largo plazo.

Propiedades acústicas : La alta densidad proporciona una resonancia metálica única, mejorando la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

experiencia de recolección.

Resistencia al choque térmico : Resistente a ciclos rápidos de enfriamiento y calentamiento de 1000 ° C, sin grietas, adecuado para entornos extremos.

7. Escenarios de aplicación de la joyería de carburo de tungsteno

Anillos de boda y anillos de aniversario : anillos de aniversario, colgantes de luna llena, recubiertos de PVD- ZrN , con incrustaciones de piedras preciosas, adecuados para herencia de generación en generación.

Accesorios de moda : collares, pulseras, pendientes, revestimiento de arcoíris DLC, que atraen a los consumidores jóvenes.

Joyas funcionales : anillos y colgantes para exteriores, resistentes a la corrosión del agua de mar, adecuados para la exploración de aguas profundas.

Personalización de alta gama : gemelos, cajas de relojes, broches, con incrustaciones de piedras preciosas, adecuados para ocasiones formales.

Accesorios inteligentes : anillos inteligentes, fundas de reloj, pago NFC, monitoreo de salud, interferencia antielectromagnética, adecuado para una vida inteligente.

Accesorios de negocios : pinzas para corbatas, tarjeteros, tarjetas de identificación VIP, logotipos grabados con láser, artículos de negocios de alta gama.

Militar y de gestión : placas de identificación para soldados, etiquetas para mascotas, etiquetas de equipaje, resistentes a los impactos, rastreables, adecuadas para entornos nucleares.

Colección y regalo : medallas de aniversario de empresa, monedas conmemorativas, medallas conmemorativas de luna llena, adecuadas para conmemoración o regalo.

Colección de criptomonedas : tokens de moneda virtual, cubos de tungsteno, ladrillos de oro, grabados con el logotipo de Bitcoin, integrados con RFID para admitir la verificación de blockchain, adecuados para pantalla de escritorio.

Exhibición de escritorio y hogar : ladrillos de oro, cubos de tungsteno, esculturas, marcadores, pulido espejo, textura de alta densidad, adecuado para coleccionar.

Productos de oro puro de alta imitación : cadenas de reloj chapadas en oro, anillos de oro, pulseras de oro, collares de oro, chapado en oro IP de 18 K/24 K, apariencia de oro puro de imitación, adecuado para bodas y colecciones.

Sustitutos de productos financieros bancarios : lingotes de oro bañados en oro, medallas conmemorativas, monedas de inversión, revestimiento PVD de oro de 24 quilates, lingotes y monedas de oro puro de imitación, adecuados para inversión y coleccionismo.

Aeroespacial y aguas profundas : las placas de acero de tungsteno y las barras de oro son resistentes a la radiación y a una presión de 15 MPa en aguas profundas, adecuadas para entornos extremos.

Patrimonio cultural e histórico : las medallas conmemorativas, las esculturas y los patrones culturales tallados son adecuados para exhibiciones en museos y como herencia familiar.

Caso : Monedas de inversión chapadas en oro de acero de tungsteno personalizadas por CTIA para el mercado chino, revestimiento de PVD de oro de 24 quilates, dureza HV1800, rotación durante 2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

minutos, volumen de exportación de 10 000 piezas; lingotes de oro chapados en oro exportados a Oriente Medio, revestimiento de PVD de oro de 24 quilates, resistencia a la radiación, volumen de exportación de 3000 piezas; medallas conmemorativas exportadas a Europa, revestimiento IP de oro de 18 quilates, RFID incorporado, volumen de exportación de 5000 piezas.

8. Desafíos y limitaciones de la joyería de tungsteno

Peso : 19 g/ cm^3, producto 4–2300 g, se requiere un diseño liviano para mejorar la comodidad de uso.

Tenacidad : K_IC 8–16 $MPa \cdot m^{1/2}$, se debe especificar el método de eliminación de grietas.

Alergia al níquel : es necesario desarrollar aleaciones sin níquel para eliminar el riesgo de alergias.

Durabilidad del recubrimiento : la vida útil del recubrimiento PVD/DLC/IP es de 5 a 15 años y es necesario mejorarlo para lograr una vida útil más larga.

Dificultad de procesamiento : el procesamiento EDM y CNC requiere equipos de alta precisión y un ciclo largo.

9. Tendencia de desarrollo futuro de la joyería de carburo de tungsteno

Nanogranos : tamaño de partícula WC <0,06 μm , dureza HV2200–2500, tenacidad aumentada en un 40% **.**

Aleación sin níquel : Ti, Cr y Co reemplazan al Ni y la tasa de alergia se reduce al 0%.

Recubrimiento multicapa : PVD- TiN / ZrN /DLC/IP, vida útil de 40 a 50 años.

Fabricación ecológica : sinterización a baja temperatura (<1100 °C), consumo de energía reducido en un 75 %.

Impresión 3D : SLS/DMLS, precisión ±0,0005 mm, admite diseños complejos.

Diseño de IA : la IA optimiza la geometría, la combinación de colores del revestimiento y las funciones inteligentes, acortando el ciclo de desarrollo en un 70%.

Integración inteligente : sensores integrados para monitorear la frecuencia cardíaca, el oxígeno en sangre y los parámetros ambientales en tiempo real, aumentando la competitividad del mercado en un 60%.

Integración de blockchain : los tokens de moneda virtual, las barras de oro y las medallas están integrados con chips blockchain para respaldar la trazabilidad de NFT.

Pantalla AR : las barras de oro y las monedas de inversión utilizan tecnología AR para mostrar detalles de diseño y mejorar la experiencia de colección.

Recubrimiento resistente a la radiación : resistente a la radiación de 150 kGy , adecuado para la industria aeroespacial y nuclear.

Recubrimiento autorreparador : El nanorrecubrimiento autorrepara los microarañazos y prolonga la vida útil de la superficie.

Biosensores : Biosensores integrados para monitorear indicadores de salud, adecuados para accesorios inteligentes.

10. Tabla resumen de características y puntos técnicos clave de la joyería de carburo de tungsteno CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

proyecto	describir
Fabricante	CTIA GROUP LTD (CTIA), una subsidiaria de China Tungsten Online, ISO 9001:2015
Composición del material	WC 80–95 % en peso, Ni 5–20 % en peso, Cr_3C_2 , TiC , TaC , VC, NbC
Tipos de adornos	Anillos (anillos de boda, de moda, funcionales, elegantes, de aniversario de bodas), collares (colgantes, cadenas), pulseras (cerradas, abiertas), pendientes (pendientes, aretes), colgantes (personalizados, funcionales), gemelos, estuches de relojes, llaveros, broches, hebillas de cinturón, monturas de gafas, accesorios para el cabello (horquillas, cintas para el cabello), hebillas de billetera, pasadores de corbata, adornos para bolígrafos, hebillas de cinturón, adornos para fundas de teléfonos móviles, insignias, tarjeteros, estuches para encendedores, adornos para joyeros, hebillas de correas de reloj, adornos para bastones, placas de identificación de soldados, etiquetas para mascotas, etiquetas para maletas, recuerdos de aniversario de empresa (medallas, monedas conmemorativas), tarjetas de identificación VIP de empresas financieras, joyería de acero de tungsteno conmemorativa de luna llena (colgantes, placas conmemorativas), sustitutos de moneda virtual (monedas de desafío, monedas conmemorativas), cubos de tungsteno (de colección, conmemorativos), marcapáginas, colgantes para llaveros, soportes para teléfonos móviles, tarjetas de visita, esculturas, esferas de reloj, fidget spinners, piezas de ajedrez, Cadenas de reloj bañadas en oro, lingotes de oro, anillos de oro, pulseras de oro, collares de oro, pendientes de oro, colgantes de oro, broches de oro, gemelos de oro, hebillas de cinturón de oro, sucedáneos bañados en oro de productos financieros bancarios (lingotes de oro bañados en oro, medallas conmemorativas, monedas de inversión).
Características principales	Dureza: HV800–2200, Mohs 8,5–9,5 Densidad: 19 g/cm³ Resistencia a la corrosión: Tasa de corrosión <0,001 mm/1000 años Biocompatibilidad: Liberación de Ni <0,1 µg /cm²/semana Estética: Ra<0,02 µm , baño de oro de 18 K/24 K Propiedad antibacteriana: tasa antibacteriana > 99% Conductividad: compatible con NFC/RFID Resistencia a altas temperaturas: 2500 °C sin deformación. Resistencia a los golpes: 15 kN Resistencia a la radiación: 15 kGy Durabilidad ultralarga: las propiedades de la superficie permanecen inalteradas durante miles de años. ultrabajo : no requiere pulido Ecosostenibilidad: 100% reciclable Herencia intergeneracional: acervo cultural Adaptabilidad a entornos extremos: aeroespacial, aguas profundas Resistencia a la fatiga: 10 ⁶ ciclos Propiedades acústicas: resonancia metálica Resistencia al choque térmico: resistencia al ciclo de 1000 °C Valor de colección e inversión: Imitación de oro puro, sustituto de la gestión financiera bancaria.
Proceso de fabricación	Preparación de polvo → CIP/MIM/SLS/DMLS → Sinterización al vacío → Pulido/PVD/DLC/IP/Oxidación por microarco/Nanorrecubrimiento/Recubrimiento antirradiación → Grabado láser de femtosegundos/EDM/CNC/Mecanizado ultrasónico → Incrustación → Integración RFID/NFC → Optimización de IA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

	→ Microestructura de impresión 3D → Integración de blockchain → Prueba de simulación ambiental
Modificación de la superficie	Pulido: Ra<0,02 µm PVD- TiN / ZrN /IP: HV2000–5000, resistencia al desgaste +70–85% DLC: resistencia al desgaste +75%, antibacteriano +99% Oxidación por microarco: resistencia a la corrosión +60% Recubrimiento nano: resistencia al desgaste +25% Recubrimiento resistente a la radiación: resistente hasta 15 kGy
Escenario de aplicación	Anillos de boda, joyería de moda, joyería funcional, personalización de alta gama, joyería inteligente, accesorios comerciales, militar, gestión de mascotas, artículos de colección, regalos, colección de criptomonedas, exhibición de escritorio, productos de oro de imitación de alta calidad, productos financieros bancarios, aeroespacial, aguas profundas, patrimonio cultural
Ventajas de rendimiento	Resistencia al rayado +95%, resistencia a la corrosión +85%, propiedades de la superficie que permanecen inalteradas durante miles de años, alta densidad 19 g/cm³ , resistencia a la radiación +15 kGy , sostenibilidad ecológica +100%, colección de oro puro de imitación y valor de inversión.
Comparación de vídeos	Prueba de dureza (sin rayones), resistencia a la corrosión (sin daños durante miles de años), funciones inteligentes (pago NFC, verificación de blockchain RFID), resistencia a altas temperaturas (2500 °C), resistencia al impacto (15 kN), alta densidad (caída de lingote de oro, rotación de moneda de inversión), resistencia a la radiación (15 kGy), durabilidad (sin deterioro durante miles de años), mejor que el oro, platino, oro blanco, paladio, oro rosa, rodio, plata, acero inoxidable, cerámica, aleación de titanio, fibra de carbono
desafío	Peso (4–2300 g), tenacidad, alergia al níquel, vida útil del recubrimiento, dificultad de procesamiento
Direcciones futuras	Granos nanocristalinos, aleaciones sin níquel, recubrimientos multicapa, fabricación ecológica, impresión 3D, diseño de IA, integración inteligente, integración de blockchain, pantalla de RA, recubrimientos resistentes a la radiación, recubrimientos autorreparables, biosensores

11. Conclusión

CTIA GROUP LTD (CTIA) se basa en la fuerza global de investigación y desarrollo de productos de tungsteno de China Tungsten Online para producir **52 tipos** de productos de acero de tungsteno, incluidos anillos, collares, pulseras, aretes, colgantes, gemelos, estuches de relojes, llaveros, broches, hebillas de cinturón, marcos de anteojos, accesorios para el cabello, hebillas de billetera, clips de corbata, adornos para bolígrafos, hebillas de cinturón, adornos para estuches de teléfonos móviles, insignias, tarjeteros, estuches para encendedores, adornos para joyeros, hebillas de correas de reloj, adornos para bastones, placas de identificación de soldados, etiquetas para mascotas, etiquetas de equipaje, recuerdos de aniversario de empresa, tarjetas de identidad VIP de empresas financieras, joyas de acero de tungsteno conmemorativas de luna llena, sustitutos de moneda virtual, cubos de tungsteno, marcapáginas, colgantes para llaveros, soportes para teléfonos móviles, tarjetas de visita, adornos para esculturas, diales de relojes, fidget spinners, piezas de ajedrez, cadenas de reloj chapadas en oro, ladrillos de oro, anillos de oro, pulseras de oro, collares de oro, aretes de oro, colgantes de oro, broches de oro, gemelos de oro, cinturones de oro hebillas y sustitutos chapados en oro para productos financieros bancarios (lingotes de oro chapados en oro, medallas conmemorativas, monedas de inversión), para satisfacer las necesidades de anillos de boda,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

accesorios de moda, joyería funcional, personalización de alta gama, accesorios inteligentes, accesorios de negocios, militares, administración de mascotas, souvenirs, colección de criptomonedas, pantallas de escritorio, productos de oro puro de imitación de alta calidad, sustitutos de productos financieros bancarios, aeroespacial, aguas profundas y patrimonio cultural. El acero de tungsteno es conocido por su dureza ultraalta (HV800–2200), resistencia al rayado (reducción del rayado del 95%), resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,001 mm/1000 años), propiedad antibacteriana (tasa antibacteriana >99%), resistencia a altas temperaturas (2500 °C), resistencia al impacto (15 kN), resistencia a la radiación (15 kGy), alta densidad (19 g/cm³) , durabilidad ultralarga y valor de colección e inversión de oro de imitación. El recubrimiento PVD/DLC/IP, el grabado láser de femtosegundos, las tecnologías RFID/NFC y blockchain otorgan a los metales preciosos brillo, diseño personalizado y funciones inteligentes, con una relación calidad-precio muy superior a la del oro y el platino. El vídeo muestra las ventajas del acero de tungsteno sobre otros materiales mediante pruebas de dureza, resistencia a la corrosión, presentación estética, funciones inteligentes, resistencia a altas temperaturas, resistencia al impacto, alta densidad, resistencia a la radiación y durabilidad, especialmente en el ámbito de la colección e inversión de sustitutos de monedas virtuales, cubos de tungsteno, productos chapados en oro y sustitutos de productos de gestión patrimonial bancaria. La estabilidad química y el valor hereditario intergeneracional convierten a los productos de acero de tungsteno en una opción ideal para colecciones familiares, patrimonio cultural y entornos extremos. De manera similar a las tecnologías de boquillas de aviación (recubrimientos resistentes a la corrosión), moldes de alta temperatura (superficies resistentes al desgaste), componentes aeroespaciales (resistencia a la radiación) y equipos de aguas profundas (resistencia a la presión), las tecnologías de CTIA de MIM, SLS, láser de femtosegundo, EDM, CNC, enchapado en oro IP, oxidación por microarco, incrustación de RFID, integración de blockchain y optimización de IA reflejan fortalezas entre dominios.

A pesar de los desafíos del peso, la dureza y la durabilidad del revestimiento, los nanogranos, las aleaciones sin níquel, la impresión 3D, la fabricación ecológica, la integración de blockchain, la pantalla AR y los revestimientos autorreparadores impulsarán los productos de carburo de tungsteno hacia un alto rendimiento, sostenibilidad e inteligencia, inyectando vitalidad innovadora en los mercados globales de joyería, productos funcionales, artículos de colección, oro puro de imitación de alta calidad y productos de gestión de patrimonio bancario.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn









COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

Descripción de la forma y lista de aplicaciones de placas de carburo cementado

1. Descripción general de la lámina de carburo cementado

Las láminas de carburo cementado están hechas de carburo de tungsteno sinterizado (WC) y cobalto (Co) u otros aglutinantes (como Ni, TiC) (contenido de WC 80% 96% ± 1%, contenido de Co 4% 15% ± 0,5%), con alta dureza (HV 16002100 ± 50), alta resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,030,05 mm ³ / N · m ± 0,01 mm ³ / N · m), alta resistencia a la flexión (> 4000 MPa ± 50), y se utilizan ampliamente en herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste, moldes, revestimientos, piezas en bruto de herramientas, etc. Las láminas de carburo cementado son indispensables en la fabricación de maquinaria, aeroespacial, energía, minería, electrónica, automóviles, fabricación de moldes, industria química y otras industrias debido a sus excelentes propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ± 0,002 mm/año).

2. Descripción de la forma de las placas de carburo cementado.

Formas de placas de carburo cementado comunes (características geométricas y dimensiones típicas)

Tipo de forma	Descripción de las características geométricas (mm)	Dimensiones típicas (mm)
Placa rectangular Placa rectangular	Plano rectangular, cuatro ángulos rectos, superficie plana (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm), biselado de bordes (R 0,20,5 ± 0,05). Su aspecto es una placa metálica gris plateada con bordes lisos, ideal para cortar en piezas pequeñas.	Largo: 50 - 400 ± 0,1 Ancho: 20 - 200 ± 0,1 Grosor: 1 - 30 ± 0,05
Plato cuadrado Plato cuadrado	Plano cuadrado, lados iguales, superficie pulida a espejo (Ra < 0,10,2 μm ± 0,01 μm), cuatro esquinas ligeramente redondeadas (R 0,10,3 ± 0,05). Aspecto cuadrado plateado, tamaño uniforme.	Longitud lateral: 10 - 150 ±0,1 Grosor: 1 - 15 ±0,05
Plato redondo Placa/disco circular	Cepillo redondo, diámetro de agujero central opcional: 0,510 ± 0,01, bisel de borde (45° ± 1°, ancho: 0,20,5 ± 0,05). Aspecto de disco gris plateado, ideal para herramientas rotativas en bruto.	Diámetro: 10 - 300 ±0,1 Espesor: 1 - 20 ±0,05
placa trapezoidal Placa trapezoidal	Sección transversal trapezoidal, base superior corta, base inferior larga, lado inclinado (ángulo de 5° 30° ± 1°), superficie lisa. Su aspecto es de chapa trapezoidal plateada con bisel transparente, ideal para cuchillos o moldes personalizados.	Base superior: 10 - 60 ± 0,1 Base inferior: 20 - 100 ± 0,1 Altura: 10 - 60 ± 0,1 Grosor: 2 - 15 ± 0,05
Placa de forma especial Plato con forma personalizada	Formas irregulares: polígonos, pentágonos, hexágonos, muescas (R15 ± 0,1), aristas de arco (R520 ± 0,1). Su aspecto es el de una placa metálica irregular plateada para satisfacer necesidades especiales.	Tamaño máximo: 10 - 300 ± 0,1 Grosor: 1 - 30 ± 0,05

Características de forma de las placas de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Placa rectangular/cuadrada

Presenta una gran versatilidad y es fácil de cortar en piezas brutas para herramientas y moldes. La tolerancia es de ±0,1 mm y la superficie está pulida (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm).

Plato redondo

Para herramientas rotativas (por ejemplo, fresas, brocas en bruto), con un orificio central para una fácil sujeción y bordes biselados para evitar astillas.

Placas trapezoidales/de forma especial

Personalizado para satisfacer las necesidades de herramientas complejas, moldes o piezas resistentes al desgaste, con alta precisión de procesamiento (desviación <0,01 mm).

Apariencia

de color gris plateado (componente WCCo), pulidos a espejo o ligeramente mate (como DLC, TiN , AlTiN) pueden ser negros, dorados o gris oscuro.

3. Lista de usos de las placas de carburo cementado

A continuación, se enumeran los usos de las placas de carburo cementado en varias industrias, enumerando las formas aplicables, los grados, las aplicaciones específicas y los requisitos de rendimiento, que abarcan la fabricación de maquinaria, la industria aeroespacial, la energía, la minería, la electrónica, los automóviles, la fabricación de moldes, los productos químicos, etc. (referencia ISO 513, literatura,):

usar	Forma aplicable	Marca	Aplicación específica (mm)	Requisitos de rendimiento (mm)
Piezas en bruto para herramientas de corte	Rectángulo, cuadrado, círculo	YL10.2, K10, K05	Procesado en fresas, brocas, herramientas de torneado, corte de acero, aleaciones de aluminio, materiales compuestos, sustratos de PCB y madera. Ejemplo: fresado de aleación de titanio de aviación (Ti6Al4V), taladrado de sustratos HDI (apertura de 0,051,0 ± 0,005).	Dureza: HV 1600 - 2100 ± 50 Tenacidad: K_{1c} 711 MPa·m $^{1/2}$ ± 0,5 Precisión del filo: <0,002 ±0,0005 Tasa de desgaste: <0,03 ^{3} / N · m ± 0,01 mm ^{3} / N · m
Piezas resistentes al desgaste	Rectangular, redondo, de forma especial	K05, K10, K20	Fabricación de revestimientos resistentes al desgaste, rieles guía y anillos de sellado para equipos de minería (revestimientos de trituradoras), máquinas de moldeo por inyección (casquillos de tornillo) y moldes de moldeo electrónico (prensado de sustrato HDI). Por ejemplo, revestimientos de trituradoras mineras (vida útil > 10^{6} toneladas ± 10^{5} toneladas).	Tasa de desgaste: <0,03 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · mResistencia a la flexión : >4000 MPa ± 50Rugosidad superficial: Ra <0,1 μm ± 0,01 μm
Piezas de molde	Trapecio, forma especial, rectángulo	YU12, K05, YL10.2	Matrices de estampación en frío, matrices de punzonado, moldes de inyección, producción de pernos para automóviles, carcasas para teléfonos móviles y fijaciones para aviación. Ejemplo: Matrices de estampación en frío para formar pernos M6 (>10^{5} piezas ±10^{4} piezas).	Resistencia a la flexión: 4200 MPa ± 50 Resistencia a la temperatura: > 900 °C ± 10 °C Desviación de dimensión: < 0,01 Dureza: HV 1600 - 1900 ± 50
Revestimiento resistente a la corrosión	Rectángulo, Cuadrado	K10, YL10.2, WCNi	Revestimientos de equipos químicos, revestimientos de válvulas de bombas, protección de tanques de galvanoplastia (revestimiento de cobre de PCB), equipos	Tasa de corrosión: <0,01 / año ± 0,002 / año< br >Dureza: HV 1700 - 2000 ± 50>Pérdida de masa: <0,01 mg/cm² ± 0,002 mg/cm²

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

usar	Forma aplicable	Marca	Aplicación específica (mm)	Requisitos de rendimiento (mm)
			de decapado (H_2SO_4 , HCl) . Ejemplo: revestimiento de tanques de galvanoplastia (vida útil > 2 años ± 0,2 años).	
Herramientas de alta frecuencia	Redonda, forma especial	K05, K10	Herramientas de alta frecuencia (como fresas de sustrato 5G y fresas para grabado de vidrio) que procesan cerámica, PTFE y zafiro. Ejemplo: fresado de placas de alta frecuencia 5G (pérdida de señal <0,02 dB/cm ± 0,005 dB/cm).	Conductividad: <1 μΩ·m ± 0,1 μΩ·m Redondez del borde: <0,001 ± 0,0002 Dureza: HV 1800 - 2100 ± 50
Componentes de equipos de energía	rectangular, redondo	K20, WCNi	Boquillas de perforación petrolera, juntas resistentes al desgaste para centrales nucleares, soportan alta presión y alta temperatura (>100 MPa ± 5 MPa, >1000 °C ± 10 °C). Ejemplo: boquilla de perforación (vida útil >500 horas ± 50 horas).	Resistencia a la temperatura: >1000 °C ± 10 °C< br >Resistencia a la compresión: >6000 MPa ± 100 MPa< br >Tasa de corrosión: <0,02 años ± 0,005/año
Piezas aeroespaciales	Forma especial, redonda	YU12, K05	Juntas resistentes al desgaste para motores de aviación, utillaje para materiales compuestos, procesamiento de fibra de carbono y aleaciones de titanio. Ejemplo: fresado de placas de fibra de carbono (rugosidad superficial Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm).	Tenacidad: K_{Ic} 1012 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5 Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C Precisión del borde: <0,002 ± 0,0005
Herramientas de minería	Rectángulo, trapezoide	K20, K30	Cabezales de corte de tuneladoras, revestimientos de trituradoras, trituración de roca dura (Mohs 68 ± 0,5). Ejemplo: Cabezales de corte de tuneladoras (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h).	Resistencia al impacto: >200 J ± 10 J Dureza : HV 1400 - 1800 ± 50 Tasa de desgaste: <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m

Usos y características de las placas de carburo cementado

Piezas brutas de herramientas de corte (45% ± 5%)

Las placas rectangulares/circulares se procesan en fresas y brocas (YL10.2, K05) para su uso en maquinaria (corte de acero), electrónica (perforación de PCB) y aviación (procesamiento de aleaciones de titanio), con una precisión de filo de <0,002 mm ± 0,0005 mm.

Piezas resistentes al desgaste (25% ± 3%)

Las placas K05/K10 se utilizan en minería (revestimientos de trituradoras) y electrónica (moldes de moldeo), con una vida útil de >10^6 veces ±10^5 veces y una tasa de desgaste de <0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m.

Piezas de molde (15% ± 2%)

Las placas trapezoidales/de forma especial YU12 se utilizan para la fabricación de automóviles (matrices de estampación en frío) y teléfonos móviles (matrices de carcasas). Son resistentes a altas temperaturas (>900 °C ± 10 °C) y tienen una tolerancia de <0,01 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Revestimiento resistente a la corrosión (5% ± 1%)

K10/ WCNi se utilizan en la industria química (tanques de galvanoplastia) y energética (entornos ácidos), con una tasa de corrosión de <0,01 mm/año ±0,002 mm/año.

Herramientas de alta frecuencia (5% ± 1%)

Procesamiento de placa redonda K05, sustrato 5G, herramienta de zafiro, redondez del filo de corte <0,001 mm ± 0,0002 mm.

Energía/Aviación/Minería (5%±1%)

Las placas K20/YU12 se utilizan para boquillas de perforación, juntas de motores y cabezales de corte para tuneladoras, con una resistencia al impacto de >200 J ± 10 J.

Distribución industrial de placas de carburo cementado

Fabricación mecánica: herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste (50%±5%), como fresas de acero y carriles guía.
Aeroespacial: herramientas de alta precisión, juntas resistentes al desgaste (15% ± 2%), como el procesamiento de fibra de carbono.
Energía: Boquillas, revestimientos (10%±2%), como perforación petrolera.
Minería: cabezal de corte, revestimiento (10% ± 2%), como trituración de roca dura.
Electrónica: Microperforación de piezas en bruto, conformación de moldes (10%±2%), como sustratos HDI.
Industria automotriz/química: moldes , placas de revestimiento (5% ± 1%), como tanques de formación de pernos y de galvanoplastia.

Las formas de las placas de carburo cementado incluyen placas rectangulares (50 - 400×20 - 200×1 - 30 mm ± 0,1 mm), placas cuadradas (longitud lateral 10 - 150 mm ± 0,1 mm), placas circulares (diámetro 10 - 300 mm ± 0,1 mm), placas trapezoidales (base superior 10 - 60 mm, base inferior 20 - 100 mm ± 0,1 mm) y placas de formas especiales (tamaño máximo 10 - 300 mm ± 0,1 mm), con rugosidad superficial Ra < 0,10,2 μm ± 0,01 μm .

Los usos de las placas de carburo cementado incluyen piezas brutas de herramientas de corte (45 % ± 5 %), piezas resistentes al desgaste (25 % ± 3 %), piezas de moldes (15 % ± 2 %), revestimientos resistentes a la corrosión (5 % ± 1 %), herramientas de alta frecuencia (5 % ± 1 %), piezas de energía/aviación/minería (5 % ± 1 %), y se utilizan en la fabricación de maquinaria (corte de acero), aeroespacial (procesamiento de aleaciones de titanio), energía (boquillas de perforación), minería (revestimientos de trituración), electrónica (perforación de sustratos), automóviles (moldes de pernos) y productos químicos (revestimientos de galvanoplastia). Los grados como YL10.2, K05, K10, YU12 y K20 cumplen los requisitos de alta precisión (desviación del filo <0,002 mm ± 0,0005 mm) y alta resistencia al desgaste (vida útil >10^6 veces ±10^5 veces), y se utilizan ampliamente en todas las industrias.

apéndice:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Aplicación integral de carburo cementado en escamas, placas y bloques

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
Corte	Torneado cuchilla	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >800°C ±10°C, Tenacidad: K_{1c} > 10 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5	WC10Co, TiN , AlTiN	Torneado de cigüeñales y engranajes (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)
	Molienda cuchilla	cuchilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,4 ± 0,05, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC8Co, AlTiN , DLC	Fresado de aleación de titanio, acero para matrices (Ra<0,8 μm ± 0,01 μm)
	Perforación cuchilla	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al impacto: >100 J ± 10 J, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm^2	WC10Co, TiAlN	Perforación de materiales compuestos, placas de acero (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Aserradura cuchilla	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Amplitud de vibración: <0,1 mm ± 0,01 mm, Resistencia a la temperatura: >600 °C ± 10 °C	WC6Co, CrN , TiN	Corte de tubos metálicos, madera (velocidad > 10 m/min ± 1 m/min)
	Insertos de roscado	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10^4 piezas ±10^3 piezas	WC10Co, TiCN	Procesamiento de pernos y uniones (desviación de paso <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Cuchillas de cepillado	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >5000 m ±500 m	WC8Co, TiN	de cepillado y tableros de madera (planitud <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Cuchillas de micromecanizado	cuchilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01	WC6Co, DLC	Procesamiento de microagujeros, piezas de precisión (desviación de apertura <0,002 mm ± 0,0005 mm)
Fabricación de moldes	Cuchillas de matriz de estampación	cuchilla	Dureza: HV 1600 - 2200±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,06 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Fuerza de desmoldeo: <10 N±1 N	WC10Ni, CrN , DLC	Estampado de carcasas de móviles y puertas de coche (vida útil > 10^6 veces ± 10^5 veces)
	Estiramiento de la hoja de matriz	hoja	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Resistencia a la corrosión: pH 212 ± 0,1	WC8TiC10Ni, WC/C	Latas de aluminio estiradas, tubos de cobre (desviación del espesor de pared <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Placa de molde para formación de polvo	lámina	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC10Co, TiC , CrN /DLC	Materiales magnéticos prensados, cerámica (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)
	Bloques de matriz de	pedazo	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al impacto: >120 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m	WC12Co, TiB_2	Tornillos y remaches para estampación en frío (fuerza de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	encabezado en frío				conformación <500 kN ± 10 kN)
	Lámina de matriz de extrusión	hoja	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Resistencia a la temperatura: >600 °C ± 10 °C	WC10Co, DLC	Perfiles de aluminio extruido, tubos de plástico (desviación <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Placa de matriz de forja	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: > 150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: > 10^6 veces ± 10^5 veces	WC12Co, TiC	Engranajes y ejes forjados (vida útil > 10^5 piezas ± 10^4 piezas)
Piezas resistentes al desgaste	Revestimiento resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm^2	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Revestimiento de bomba, canal de transporte (vida útil > 2 años ± 0,2 años)
	Cuchilla deslizante	cuchilla	Dureza: HV 1000 - 2000±50, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Adhesión: <1 N±0,1 N	WC5MoS_2 , DLC, WC/C	Cuchillas para máquinas textiles, cuchillas para máquinas de embalaje (Ra<0,05 µm ±0,01 µm)
	Hoja de boquillas	hoja	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la erosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2	WC8 , Al_2O_3	Boquillas para petróleo y gas, boquillas para chorro de arena (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Almohadillas resistentes al desgaste	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10^4 horas ± 10^3 horas	WC10Co, TiC	Almohadillas trituradoras, asientos de engranajes de excavadoras (pérdida de masa <0,1 g/h ±0,01 g/h)
	Tiras guía resistentes al desgaste	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Coeficiente de fricción: <0,2±0,01, Vida útil: >10^4 horas ±10^3 horas	WC10Ni, CrN	Guías de cintas transportadoras, revestimientos de molinos (resistencia <10 N ± 1 N)
	Placa de sellado	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia a la presión: >100 MPa±10 MPa, Tasa de fuga: <10^{-6} Pa·m^3 /s ± 10^{-7} Pa·m^3 /s	WC10Co, CrN	Juntas de bombas de alta presión, sellos hidráulicos (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
Industria electrónica	Cuchillas de corte de precisión	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC6Co, DLC, TiN	Corte de placas PCB y obleas (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Lámina conductora	hoja	Resistividad: <12 µΩ·cm ± 0,1 µΩ·cm , Resistencia de contacto: <0,1 mΩ ± 0,01 mΩ , Vida útil: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC10Ni, PVDCrN	Molde de batería, sustrato de contacto (eficiencia > 99 % ± 1 %)
	Placa de molde para embalaje de chips	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Precisión: <0,005 mm	WC10Co, CrN /DLC	Encapsulado de semiconductores (ciclo <1 s ± 0,1 s, vida útil >10^6 veces)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	Cuchillas de marco de plomo	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Precisión: <0,005 mm±0,001 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m	WC8Co, TiN	Marco conductor de estampación (desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Cuchillas de corte de fibra óptica	cuchilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Precisión: <0,001 mm ± 0,0002 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01	WC6Co, DLC	Corte de la cara del extremo de la fibra (Ra < 0,02 µm ± 0,005 µm)
Aeroespacial	Cuchillas compuestas	cuchilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C	WC8Co, AlTiN , TiB_2	Corte de fibra de carbono, fibra de vidrio (fuerza de corte <10 N ± 1 N)
	Revestimiento resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Vida útil por fatiga: >10^6 veces ±10^5 veces, Densidad: <12 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3	Gradiente WCCo , CrN	Juntas de álabes de turbina, revestimientos reductores de peso (servicio > 10 años ± 1 año)
	Bloques de soporte estructural	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la compresión: > 2000 MPa ± 50 MPa, Vida útil por fatiga: > 10^6 veces	WC12Co, TiC	Soportes de naves espaciales, bloques de fijación de motores (tasa de deformación <0,1% ± 0,01%)
	Almohadilla resistente al calor	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la temperatura: > 1000 °C ± 10 °C, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm^2	Compañía WC10 , Al_2O_3	Revestimiento de la tobera del cohete, almohadilla de la cámara de combustión (servicio > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Placa de molde de piezas de satélite	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC10Co, CrN /DLC	Moldeo de la carcasa del satélite (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
Energía y productos químicos	Hoja de sellado de válvulas	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Resistencia a la presión: >100 MPa	WC10TiC10Ni, CrN , DLC	Válvulas de aceite, revestimientos de reactores (tasa de fuga <10^{-6} Pa·m^3/s ± 10^{-7} Pa·m^3/s)
	Hoja resistente a la corrosión	cuchilla	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la corrosión: pH 212 ± 0,1, Vida útil: >10^4 horas ±10^3 horas	WC8TiC10 Ni , Al_2O_3	Corte de tuberías de agua de mar, materias primas químicas (servicio > 5 años ± 0,5 años)
	Revestimiento resistente al desgaste	pedazo	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la erosión: pérdida de masa <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Resistencia a la temperatura: >500 °C	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Separador de arena bituminosa, revestimiento de gasificador de carbón (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Placa portadora del catalizador	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Porosidad: 10 % 20 % ± 1 %, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm^2	WCCo poroso , Al_2O_3	Portador de reactor catalítico químico (servicio > 2 años ± 0,2 años)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	Hoja para reparar tuberías	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1	WC10Co, CrN	Rectificado de paredes internas de oleoductos y gasoductos (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
Carpintería y Minería	Hojas de sierra para carpintería	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC6Co, TiN , CrN	Corte de madera dura, madera contrachapada (Ra<0,8 µm ± 0,01 µm)
	Cuchillas de minería	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	WC10Co, TiC , TiB_2	para rozadoras , trituración de rocas (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Placas de desgaste para minería	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia al impacto: >100 J	Compañía WC12 , Cr_3C_2 / NiCr	Revestimiento de trituradora, canaleta de beneficio de mineral (servicio > 2 años ± 0,2 años)
	Bloques de perforación de roca	pedazo	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, resistencia a la presión: > 150 MPa ± 10 MPa, resistencia a la fatiga: > 10^5 veces ± 10^4 veces	WC10Co, TiB_2	Base de perforación de roca, soporte de broca (frecuencia de impacto > 2000 Hz ± 100 Hz)
	Hoja de preparación de minerales	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm²	WC10Co, CrN	Cuchillas de clasificación de minerales, cuchillas de máquinas de flotación (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
Industria de procesamiento de bambú y madera	Hojas de corte de madera de bambú	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Vida útil: >5000 m ± 500 m, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC6Co, TiN , CrN	Corte de tablas de bambú y pisos de madera (Ra<0,8 µm ± 0,01 µm , desviación de corte<0,005 mm ± 0,001 mm)
	Hojas para tallar madera de bambú	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Precisión: <0,005 mm±0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	WC8Co, DLC	Tallado de artesanías de bambú, tallado de madera (precisión <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Hoja de cepillado para madera de bambú	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >5000 m±500 m, Planitud: <0,02 mm±0,005 mm	WC6Co, TiN	Cepillado de tiras de bambú y vigas de madera (planitud de la superficie Ra<0,5 µm ± 0,01 µm)
	Hojas de perforación para madera de bambú	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia a impactos: >100 J ± 10 J, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10^4 agujeros ± 10^3 agujeros	WC10Co, TiAlN	Perforación de muebles de bambú y estructuras de madera (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Chapa troquelada de madera de bambú	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,06 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10^6 veces ±10^5 veces, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC10Ni, CrN	Embalaje de bambú troquelado, modelos de madera (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
Médico	Hojas quirúrgicas	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Compatibilidad: >95 % ± 2 %	WC6Co, DLC	Bisturíes ortopédicos, bisturíes oftálmicos (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)
	Hoja de implante	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Compatibilidad: >95 % ± 2 %	WCCo poroso , TiN	Placas óseas, espaciadores articulares (en servicio > 10 años ± 1 año)
	Bloque de herramientas dentales	pedazo	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Precisión: <0,01 mm	WC8 , Al_2O_3	Base de taladro, molde de ortodoncia (velocidad de rotación >10^5 rpm ±10^4 rpm)
	Cuchillas de corte médicas	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm	WC6Co, DLC	Corte de gasas médicas y catéteres (desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Placa de molde de reparación ósea	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Vida útil: >10^6 veces ±10^5 veces	WC10Co, TiN	Moldeado de placa de reparación ósea (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)
Automotor	Cuchilla de estampación	cuchilla	Dureza: HV 1600 - 2200±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,06 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10^6 veces ±10^5 veces	WC10Ni, CrN , DLC	Estampado de puertas y capós (desviación <0,1 mm ± 0,01 mm)
	Accesorio de soldadura de placa delgada	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la temperatura: > 600 °C ± 10 °C, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm²	WC10Co, TiN	Dispositivos de soldadura por puntos, almohadillas de soldadura láser (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Bloques de desgaste del motor	pedazo	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia a la presión: >100 MPa±10 MPa, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	Compañía WC12 , Cr_3C_2 / NiCr	Asiento de válvula, camisa del cigüeñal (vida útil > 10^6 km ± 10^5 km)
	Placa de molde de pastilla de freno	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC10Co, TiC	Prensado de pastillas de freno y de embrague (precisión <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Cuchilla para moldear neumáticos	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC8Co, CrN	Grabado del patrón del neumático (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
arquitectura	Cuchillas de corte	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC6Co, TiN , CrN	Corte de hormigón, piedra (profundidad > 50 mm ± 5 mm)
	Revestimiento resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia al impacto: >100 J	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Revestimiento de mezcladora, pala excavadora (servicio > 2 años ± 0,2 años)
	Almohadillas de	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 150 MPa ±	WC12Co, TiC	Cojinetes de puentes,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	soporte		10 MPa, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm²		almohadillas de grúas torre (tasa de deformación <0,1% ± 0,01%)
	Cuchillas de perforación para cimentaciones	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	WC10Co, TiB_2	Cuchillas para perforadoras rotativas, brocas para cimentación de pilotes (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h)
	Cuchillas para perforación de túneles	cuchilla	Dureza: HV 200 - 03000±50, Resistencia al impacto: >200 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	WC12Co, TiC	Cuchillas de máquinas de escudo, excavación subterránea (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
Maquinaria general	Hoja de tijera	cuchilla	Dureza: HV 20003 - 000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Precisión: <0,01 mm	WC10Co, DLC, TiN	Corte de placa de acero, película de plástico (Ra < 0,05 µm ± 0,01 µm)
	Placa guía resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Coeficiente de fricción: <0,2±0,01, Vida útil: >10^4 horas ±10^3 horas	WC10Ni, CrN , WC/C	Guías de cintas transportadoras, carriles guía de máquinas envasadoras (resistencia <10 N ± 1 N)
	Bloque de base mecánico	pedazo	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la compresión: > 2000 MPa ± 50 MPa, Resistencia a la fatiga: > 10^6 veces	WC12Co, TiB_2	Base de máquina herramienta, almohadilla de prensa hidráulica (amplitud de vibración <0,1 mm ± 0,01 mm)
	Almohadilla de compresor	lámina	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm²	WC10Co, CrN	Almohadillas de compresor de aire, revestimientos del cuerpo de la bomba (servicio > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Cuchilla de máquina de embalaje	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC6Co, DLC	Cuchilla de corte y sellado de película de embalaje (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
Ferrocarril y tránsito ferroviario	Cuchillas para rectificar rieles	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >5000 m ±500 m	WC10Co, AlTiN	Rectificado de carriles de alta velocidad (planitud <0,01 mm ± 0,001 mm)
	Cuchillas para mecanizado de ruedas	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Resistencia a la temperatura: >800 °C ± 10 °C	WC8Co, TiN	Ruedas de ferrocarril giratorias (desviación de redondez <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Revestimiento resistente al	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia al	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Revestimiento de bogie, zapata de oruga (servicio > 5 años ± 0,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	desgaste		impacto: >100 J		años)
	Pastillas de freno	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la temperatura: > 600 °C ± 10 °C	WC12Co, TiC	Base de freno de riel de alta velocidad, bloque de amortiguación (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05)
	Cuchilla para aderezar desvíos	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Precisión: <0,01 mm	WC10Co, CrN	Reparación de desvíos ferroviarios (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
Construcción naval	Palas de mecanizado de hélices	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1	WC10Co, AlTiN , CrN	Fresado de hélice de aleación de cobre (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Revestimiento resistente a la corrosión	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Vida útil: >5 años ±0,5 años	WC10TiC10Ni, DLC	Revestimiento de bomba de cabina, junta de válvula de agua de mar (servicio > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Bloques de desgaste de cubierta	pedazo	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: > 150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/ cm^2	Compañía WC12 , Cr_3C_2 / NiCr	Base de grúa de cubierta, almohadilla de cadena de ancla (pérdida de masa <0,1 g/h ±0,01 g/h)
	Cuchilla de reparación del casco	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1	WC10Co, CrN	Rectificado de placas de acero del casco (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
Maquinaria agrícola	Cuchillas de labranza	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al impacto: >100 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m	WC10Co, TiC , CrN	Cuchilla de cultivador rotativo, cuchilla cosechadora (profundidad de labranza > 30 cm ± 5 cm)
	Revestimiento resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >2 años ±0,2 años	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Placa guía de la sembradora, revestimiento del molino de granos (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
	Almohadilla de transmisión	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC12Co, TiB_2	Pastillas de caja de cambios de tractor, bases de cosechadoras (amplitud de vibración <0,1 mm ± 0,01 mm)
	Cuchilla de trilla	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^4 horas	WC10Co, CrN	Cuchilla para trillar maíz, cuchilla para cosechar arroz (eficiencia > 95% ± 2%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
Procesamiento de alimentos	Cuchillas para cortar alimentos	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Compatibilidad: >95 % ± 2 %	WC6Co, DLC	Cuchillo de carnicero, cortador de verduras (Ra<0,05 µm±0,01 µm)
	Placa guía resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Vida útil: >10 ⁴ horas	WC10Co, CrN	Guías de cintas transportadoras, revestimientos de máquinas enlatadoras (servicio > 2 años ± 0,2 años)
	Almohadilla de agitación	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm²	Compañía WC12 , Al_2O_3	Base de batidora de alimentos, almohadilla de molinillo (pérdida de masa <0,1 g/h ±0,01 g/h)
	Cuchilla de sellado de embalaje	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC6Co, DLC	Sellado de envases de alimentos (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
Textil e impresión	Cuchilla de corte	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC6Co, DLC, TiN	Corte de tela y papel (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Lámina de molde de impresión	hoja	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁶ veces	WC10Co, CrN	Moldes de impresión en huecograbado, placas de troquelado de etiquetas (precisión <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Bloque guía de hilo	pedazo	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Coeficiente de fricción: <0,2±0,01, Vida útil: >10 ⁴ horas ±10 ³ horas	WC10Ni, WC/C	Bloque guíahilos para máquina de hilar, almohadilla de telar (resistencia <5 N ± 1 N)
	Cuchilla de troquelado	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC8Co, DLC	Troquelado de etiquetas, troquelado de papel de embalaje (desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
Equipos de energía	Palas de turbinas eólicas	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1	WC10Co, AlTiN , CrN	Corte de palas de aerogeneradores (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Placa de desgaste de energía nuclear	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Vida útil: >10 años ±1 año	WC10TiC10 Ni , Al_2O_3	Revestimientos de bombas de reactores nucleares, almohadillas para tuberías de refrigeración (servicio > 10 ⁴ horas ± 10 ³ horas)
	Bloque de	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ±	WC12Co, TiC	Junta de válvula de base de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	soporte de turbina		10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces		turbina eólica y energía nuclear (tasa de deformación <0,1 % ± 0,01 %)
	Cuchilla de oblea solar	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC6Co, DLC	Corte de obleas de silicio (desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
Exploración geológica	Cuchillas de perforación	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	WC10Co, TiB_2 , Tic	Brocas para perforación petrolera, herramientas de perforación geológica (velocidad de perforación >1 m/h ± 0,1 m/h)
	Revestimiento resistente al desgaste	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴ horas	Compañía WC12 , Cr_3C_2 / NiCr	Placa guía de plataforma de perforación, revestimiento de bomba de lodo (servicio > 2 años ± 0,2 años)
	Almohadilla de muestreo	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm²	WC10Co, CrN	Base de muestreador geológico, soporte de núcleo (pérdida de masa <0,1 g/h ±0,01 g/h)
	Plataforma de detección de terremotos	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ⁴ horas ± 10 ³ horas	WC10Co, TiC	Sustrato del sensor del sismógrafo (amplitud de vibración <0,01 mm ± 0,001 mm)
Deportes y entretenimiento	Cuchillas de snowboard	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm²	WC6Co, DLC	Cuchillas de cantos de tablas de snowboard, patines de hielo (resistencia <10 N ± 1 N)
	Lámina resistente al desgaste	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >2 años ±0,2 años	WC10Co, CrN	Guías de cadena de bicicletas, pastillas para aparatos de fitness (vida útil > 10 ⁴ horas ± 10 ³ horas)
	Almohadillas de soporte	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC12Co, TiC	Almohadillas para chasis de carreras, base para accesorios de yates (tasa de deformación <0,1 % ± 0,01 %)
	Hoja resistente al desgaste para aparejos de pesca	cuchilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Vida útil: >2 años ±0,2 años	WC6Co, CrN	Cuchillo para cortar hilo de pescar, cuchillo para afilar anzuelos (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
Arte y Decoración	Hoja de grabado	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01	WC6Co, DLC, TiN	Talla de adornos de jade y metal (precisión <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Lámina decorativa	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Superficie: Ra <0,05 µm	WC10Ni, CrN	Paneles de decoración de edificios, sustratos para esculturas (vida útil > 10 años ± 1 año)
	Espaciadores de molde	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC10Co, TiC	Moldes artesanales de cerámica, bases para grabado de vidrio (precisión <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Hojas para cortar joyas	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01	WC6Co, DLC	Corte de diamantes, joyas de oro (desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
militar	Cuchillas para mecanizado de armaduras	cuchilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C	WC8Co, AlTiN , TiB_2	Fresado de placas de blindaje de tanques y placas de acero de vehículos blindados (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Placa de molde formadora de balas	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: > 150 MPa ± 10 MPa, Vida útil: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC10Co, TiC , CrN	Proyectiles de artillería suprimidos, ojivas de misiles (desviación <0,01 mm ± 0,001 mm)
	Revestimiento antidesgaste del cañón	lámina	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la temperatura: >800°C ±10°C	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Revestimientos para fusiles y ametralladoras (vida útil > 10 ⁴ cartuchos ± 10 ³ cartuchos)
	Cuchillas para cortar municiones	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm²	WC10Co, CrN , DLC	Corte de casquillos y espoletas de munición (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Almohadillas de desgaste de misiles	pedazo	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 200 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC12Co, TiC	Plataformas de lanzamiento de misiles, bases de motores (tasa de deformación <0,1% ± 0,01%)
	Revestimiento de placa antibalas	lámina	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia al impacto: > 200 J ± 10 J, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm²	Compañía WC10 , Al_2O_3	Forro de chaleco antibalas, placa de protección de vehículo blindado (en servicio > 10 años ± 1 año)
	Cuchillas de perforación	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m	WC10Co, TiB_2	Perforación de acero blindado y materiales compuestos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	militares				(desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Chapa resistente a la corrosión para buques de guerra	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Vida útil: >5 años ±0,5 años	WC10TiC10Ni, CrN , DLC	Revestimiento de válvula de bomba de buque de guerra, junta de tubería de agua de mar (servicio > 10 ⁴ horas ± 10 ³ horas)
	Cuchillas de reparación de artillería	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la temperatura: >800 °C ± 10 °C	WC10Co, AlTiN	Rectificado del calibre interior de las armas (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Sable de carburo	cuchilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al impacto: > 100 J ± 10 J, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Afilado: < 0,01 mm ± 0,001 mm	WC8Co, DLC, TiN	Cuchillo de campaña, daga de fuerzas especiales (fuerza de corte <20 N ± 2 N, vida útil >10 ⁴ veces ± 10 ³ veces)
	Inserción de chaleco antibalas de baja densidad	hoja	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Densidad: <8 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ , Resistencia al impacto : >300 J ± 20 J, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/ cm²	Gradiente WCCoTi , Al_2O_3 , CrN	Inserciones de chaleco antibalas, blindaje ligero (nivel de protección NIJ IV, servicio > 10 años ± 1 año)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD Placa de carburo cementado

CTIA GROUP LTD, con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, le ofrece placas de carburo cementado de alto rendimiento para satisfacer las diversas necesidades de las industrias de fabricación de maquinaria, aeroespacial, energética, minera, electrónica, automotriz, química y otras. Nuestras placas son conocidas por su alta dureza (HV 16002100±50), excelente resistencia al desgaste (índice de desgaste <0,030,05 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$) y alta resistencia mecánica (>4000 MPa±50). Combinando tecnología avanzada y servicios personalizados, ¡le ayudaremos a abrir un nuevo capítulo en la fabricación inteligente!

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696
Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com
Cuenta pública de WeChat: " **China Tungsten Online** "

La forma de las placas de carburo de tungsteno de China

Tipo de forma	Descripción de las características geométricas (mm)	Dimensiones típicas (mm)
Placa rectangular	Plano rectangular, cuatro ángulos rectos, superficie plana (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm), biselado de bordes (R 0,20,5 ± 0,05). Aspecto gris plateado, bordes lisos, fácil de cortar.	Largo: 50 - 400 ± 0,1 Ancho: 20 - 200 ± 0,1 Grosor: 1 - 30 ± 0,05
Plato cuadrado	Plano cuadrado, lados iguales, superficie pulida a espejo (Ra < 0,10,2 μm ± 0,01 μm), cuatro esquinas ligeramente redondeadas (R 0,10,3 ± 0,05). Apariencia plateada, tamaño uniforme.	Longitud lateral: 10 - 150 ±0,1 Grosor: 1 - 15 ±0,05
Plato redondo	Superficie plana y redonda, orificio central opcional (diámetro 0,510 ± 0,01), bisel de borde (45° ± 1°, ancho 0,20,5 ± 0,05). Disco gris plateado, apto para herramientas rotativas.	Diámetro: 10 - 300 ± 0,1 Grosor: 1 - 20 ± 0,05
placa trapezoidal	Sección transversal trapezoidal, base superior corta, base inferior larga, lado inclinado (ángulo de 5° 30° ± 1°), superficie lisa. Lámina trapezoidal plateada, bisel transparente, apta para moldes personalizados.	Base superior: 10 - 60 ± 0,1 Base inferior: 20 - 100 ± 0,1 Altura: 10 - 60 ± 0,1 Grosor: 2 - 15 ± 0,05
Placa de forma especial	Formas irregulares, como polígonos (pentágonos, hexágonos), muescas (R15 ± 0,1) y aristas de arco (R520 ± 0,1). Placas irregulares de plata para requisitos especiales.	Tamaño máximo: 10 - 300 ±0,1 Grosor: 1 - 30 ±0,05

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ventajas de las placas de carburo cementado de CTIA GROUP LTD

Placas rectangulares/cuadradas : muy versátiles, fáciles de procesar en piezas brutas para herramientas y piezas de molde, con una tolerancia de ±0,1 mm.

Placa redonda : adecuada para herramientas giratorias (como fresas, brocas), el orificio central es conveniente para sujetar.

Placas trapezoidales/de formas especiales : admiten personalización compleja y alta precisión (desviación <0,01 mm).

Aspecto : Gris plateado, pulido espejo (Ra < 0,10,2 μm ± 0,01 μm), revestimiento opcional de DLC, TiN , AlTiN (negro, dorado, gris oscuro).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Introducción a las varillas de carburo cementado de CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD, con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, le ofrece varillas de carburo cementado de alto rendimiento para satisfacer las exigentes necesidades de las industrias de fabricación de maquinaria, aeroespacial, energética, minera, electrónica, automotriz, química y otras. Nuestras varillas son conocidas por su alta dureza, ultrarresistencia al desgaste y alta resistencia. Combinando tecnología avanzada y servicios de personalización precisos, ¡le ayudaremos a abrir un nuevo capítulo en la fabricación inteligente!

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

Características geométricas y dimensiones típicas de formas comunes de varillas de carburo cementado

Tipo de forma	Descripción de las características geométricas (mm)	Dimensiones típicas (mm)
Varilla redonda Varilla redonda sólida	Cilíndrico sólido, superficie pulida (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm), superficie final plana o biselada (R 0,20,5 ± 0,05). Apariencia gris plateada, rectitud < 0,05/± 0,01, ideal para procesamiento de alta precisión.	Diámetro: 0,150 ± 0,01 Longitud: 5 - 500 ± 0,5
Varilla con agujeros Varilla del orificio del refrigerante	Cilíndrico, con orificios simples o dobles (apertura de 0,35 ± 0,01, ángulo de hélice de 0° o 30° ± 1°), superficie lisa (Ra < 0,2 ± 0,01 μm). Varilla de plata, poros uniformes, flujo de refrigerante optimizado.	Diámetro: 340±0,01 Longitud: 50400±0,5 Apertura: 0,35±0,01
Varilla delgada Micro varilla	Forma cilíndrica ultrafina, superficie pulida a espejo (Ra < 0,1 μm ± 0,01 μm), diámetro uniforme (tolerancia h5/h6). Varilla fina de color gris plateado, relación de esbeltez de hasta 100:1, ideal para microherramientas.	Diámetro: 0,13 ± 0,005 Longitud: 5 - 150 ± 0,3
Varilla de escalera Varilla escalonada	Cilíndrico, con múltiples cambios de diámetro (sección de transición R0,52 ± 0,1), superficie lisa. Cuerpo de varilla escalonada plateada, para satisfacer las necesidades de piezas brutas complejas.	Diámetro: 2 - 40 ±0,01 (por segmento) Longitud: 20 - 300 ±0,5
Varillas de forma especial Varilla con forma personalizada	Sección transversal no circular (como cuadrada o hexagonal) o con ranura (ancho de ranura: 0,55 ± 0,1) y chavetero (R13 ± 0,1). Varillas plateadas de forma especial, fáciles de personalizar para satisfacer necesidades específicas.	Sección transversal máxima: 250±0,1 Longitud: 10 - 400±0,5

Lista de usos de las varillas de carburo cementado

usar	Forma aplicable	Marca	Aplicaciones específicas	Requisitos de rendimiento
Corte herramienta	Varilla redonda Varilla con agujeros	YL10.2, K10, K05	Brocas, fresas, escariadores, herramientas de torneado, para cortar acero, aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio, sustratos de PCB y materiales compuestos.	Dureza: HV 16002100±50 Precisión del borde: <0,002 mm±0,0005 mm Tasa de desgaste: <0,03 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Molde de precisión Herramienta en blanco	Varillas redondas, varillas escalonadas, varillas de formas especiales	YU12, K05, YL10.2	Fabricamos punzones, matrices de embutición, piezas brutas para estampación en frío y producimos pernos para automóviles, conectores electrónicos y sujetadores de aviación.	Resistencia a la flexión: >4200 MPa ± 50 Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C Desviación de dimensión: <0,01 mm
Resistente al desgaste Componente	Varilla redonda, Varilla con agujeros	K05, K10, K20	Se procesa en manguitos, anillos de sellado y boquillas, y se utiliza en máquinas de moldeo por inyección, bombas, válvulas y equipos de minería. Ejemplo: Boquillas de perforación minera (>500 horas ±50 horas).	Tasa de desgaste: <0,03 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · mResistencia a la compresión : >6000 ± 100 MPaRugosidad superficial: Ra < 0,1 ± 0,01 µm
Micro electrónico Herramienta de tipo	Varilla delgada	K05, K10	Microbroca para PCB (0,051,0 ± 0,005 mm), cuchilla de grabado, para procesar sustrato HDI, cerámica y zafiro. (Vida útil > 10 ⁵ agujeros ± 10 ⁴ agujeros).	Dureza: HV 18002100±50 Precisión de diámetro: <0,005 mm±0,001 mm Corte redondez del borde: <0,001 mm ± 0,0002 mm
energía Perforación	Varillas redondas, varillas con agujeros	K20, WCNi	Las brocas y boquillas de perforación petrolera están sujetas a alta presión y alta temperatura (>100 MPa ± 5 MPa, >1000 °C ± 10 °C).	Resistencia a la temperatura: >1000 °C ± 10 °C Resistencia al impacto: >200 J ± 10 J Tasa de corrosión: <0,02 mm/año ± 0,005 mm/año
aviación aeroespacial	Varilla de escalera Varillas de forma especial	YU12, K05	Procesado en ejes resistentes al desgaste, piezas brutas para herramientas, corte de fibra de carbono y aleaciones de titanio. Ejemplo: taladrado de placa de fibra de carbono (rugosidad Ra < 0,2 µm ± 0,01 µm).	Tenacidad: K ı c 1012 MPa·m ¹ / ² ± 0,5 Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C
minería herramienta	Varilla redonda Varillas de forma especial	K20, K30	Fabricación de cabezales de tunelaje y herramientas de perforación para romper rocas duras, tales como cabezales de corte para tuneladoras (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h).	Resistencia al impacto: >200 J ± 10 J Dureza: HV 1400 - 1800 ± 50

10.6.2.2 Varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico (brocas, fresas)

10.6.2.2.1 Características de las varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

Especificaciones comunes: diámetro 250 mm, longitud 330 mm.

Principio básico de la varilla/cilindro de carburo cementado:

La varilla/cilindro de carburo cementado (diámetro de 250 mm ± 0,01 mm, longitud de 50 a 330 mm ± 0,1 mm) se produce mediante extrusión (presión de 50 a 100 MPa ± 1 MPa) y sinterización (1450 °C ± 10 °C), con una rugosidad superficial de Ra < 0,5 µm ± 0,01 µm . Es compatible con el taladrado de agujeros profundos (profundidad > 100 mm ± 1 mm) y el fresado a alta velocidad (> 1500 m/min ± 10 m/min).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El equipo incluye extrusoras (precisión ±0,01 mm) y rectificadoras CNC (resolución <1 μm ±0,1 μm). Las pruebas abarcan la precisión geométrica (ISO 1832, precisión ±0,01 mm) y la calidad superficial (ISO 4287, precisión ±0,001 μm). Por ejemplo, una broca YG6 tiene un diámetro de 10 mm ±0,01 mm y una longitud de 150 mm ±0,1 mm.

Análisis del mecanismo de varilla de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

La forma cilíndrica (diámetro de 250 mm ± 0,01 mm) garantiza la rigidez (módulo elástico > 500 GPa ± 10 GPa), y la relación de aspecto (<150:1 ± 5:1) reduce la vibración (amplitud < 0,01 mm ± 0,001 mm). Después de la sinterización, el tamaño de grano es de 0,52 μm ± 0,01 μm y la dureza es HV 1800 ± 30. El SEM muestra que no hay grietas en la superficie (< 1 μm ± 0,1 μm) y los granos son uniformes (desviación < 0,1 % ± 0,02 %). Las pruebas geométricas muestran que la precisión < 0,01 mm ± 0,001 mm es mejor que la geometría compleja (< 0,1 mm ± 0,01 mm).

varilla de carburo/carburo cilíndrico

Diámetro: 1020 mm ± 0,01 mm, buena rigidez; <2 mm ± 0,01 mm, la tasa de fractura aumenta en un 10 % ± 2 %.

Longitud: <200 mm ± 0,1 mm, alta estabilidad; >300 mm ± 0,1 mm, vibración aumentada en un 15 % ± 3 %.

Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , alta resistencia; >5 μm ± 0,01 μm , la resistencia cae un 10 % ± 2 %.

Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, estructura uniforme; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 10 % ± 2 %.

Precisión de rectificado: <1 μm ± 0,1 μm , buena calidad de superficie; >5 μm ± 0,1 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, la vibración del taladro YG6 (longitud 350 mm ± 0,1 mm) aumentó a 0,02 mm ± 0,001 mm.

Las varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

deben alcanzar un diámetro de 250 mm ± 0,01 mm y una longitud de < 300 mm ± 0,1 mm. Se recomienda:

Optimización de la extrusión: presión 50100 MPa ± 1 MPa, diámetro uniforme.

Optimización de sinterización: 1450°C±10°C, tamaño de grano 0,52 μm±0,01 μm .

Optimización del rectificado: precisión <1 μm±0,1 μm , Ra<0,5 μm±0,01 μm .

Cooptimización: 6%10%±1%, mejora la tenacidad.

Especificaciones de prueba: ISO 1832 (geometría), ISO 4287 (superficie).

Por ejemplo, la precisión de una broca YG6 (diámetro 10 mm ± 0,01 mm) es < 0,01 mm ± 0,001 mm.

10.6.2.2.2 Requisitos de rendimiento para varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

Resistencia a la flexión > 4000 MPa, tenacidad K_{1c} > 15 MPa·$m^{1/2}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Principios básicos y análisis técnico de

las varillas de carburo cementado/cilíndricas de carburo cementado. Estas varillas requieren una resistencia a la flexión >4000 MPa ±50 MPa, una tenacidad K_1 c >15 MPa·$m^{1/2}$ ±0,5 y una dureza HV de 1600 a 2000 ±30. Son aptas para taladrado profundo y fresado a alta velocidad. Grano de 12 µm ±0,01 µm , contenido de Co del 8 % al 12 % ±1 %, complementado con HIP (1400 °C ±10 °C, 150 MPa ±1 MPa) para mejorar su rendimiento.

Las pruebas incluyen resistencia a la flexión (ISO 3327, precisión ±10 MPa), tenacidad (ISO 28079, precisión ±0,5 MPa·$m^{1/2}$) y desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3/ N·m). Por ejemplo, la resistencia a la flexión de la broca YG8 es de 4200 MPa ± 50 MPa, y su K_1 c es de 16 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5.

Análisis de

varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico. Alto Co (10% ± 1%) forma una red tenaz (fracción de volumen > 10% ± 1%) con una resistencia a la flexión de 4200 MPa ± 50 MPa. Los granos finos (12 µm ± 0,01 µm) aumentan la dureza a HV 1800 ± 30, y HIP reduce la porosidad (<0,1% ± 0,01%). El SEM muestra que las características de tenacidad a la fractura son obvias (hoyuelos <1 µm ± 0,1 µm). EDS confirma la distribución de Co (desviación <0,1% ± 0,02%). Las pruebas de resistencia muestran que YG8 es mejor que YG6 (resistencia a la flexión de 3800 MPa ± 50 MPa).

de carburo /carburo cilíndrico

Contenido de Co: 10% ± 1%, excelente tenacidad; <6% ± 1%, K_1 c disminuye en un 20% ± 3%.
Tamaño de grano: 12 µm ± 0,01 µm , alta resistencia; >5 µm ± 0,01 µm , la resistencia cae un 15 % ± 3 %.
Porosidad: <0,1%±0,01%, excelente rendimiento; >0,5%±0,01%, reducción de resistencia del 10%±2%.
Presión HIP: 150 MPa ± 1 MPa, baja porosidad; <100 MPa ± 1 MPa, la porosidad aumenta en un 10 % ± 2 %.
Precisión de procesamiento: <0,01 mm ± 0,001 mm, menos vibración; >0,1 mm ± 0,01 mm, la tasa de fractura aumenta en un 10 % ± 2 %.

El K_1 c de la broca YG6 (Co 6%±1%) cae a 12 MPa·$m^{1/2}$±0,5.

Las varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

deben alcanzar una resistencia a la flexión > 4000 MPa ± 50 MPa, K_1c > 15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5. Se recomienda:
Cooptimización: 8%12%±1%, tenacidad mejorada.
Control de grano: 12 µm ± 0,01 µm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).
Optimización HIP: 1400°C±10°C, 150 MPa±1 MPa.
Optimización del rectificado: precisión <0,01 mm ± 0,001 mm, reducción de tensiones.
Especificaciones de prueba: ISO 3327 (resistencia), ISO 28079 (tenacidad).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Por ejemplo, la resistencia a la flexión de la broca YG8 (HIP, Co 10% ± 1%) es 4200 MPa ± 50 MPa.

10.6.2.2.3 Aplicaciones de varillas/cilindros de carburo : taladrado de agujeros profundos y fresado de alta velocidad

Principios básicos y descripción general de la tecnología de varillas/cilindro de carburo cementado.

El carburo cementado es adecuado para taladrado de agujeros profundos (profundidad > 100 mm ± 1 mm) y fresado a alta velocidad (velocidad > 1500 m/min ± 10 m/min) debido a su resistencia a la flexión > 4000 MPa ± 50 MPa y K_{1} c > 15 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5. YG8 e YG10 se utilizan en el procesamiento de aviación y automoción (precisión < 0,1 mm ± 0,01 mm).

Las pruebas incluyen el rendimiento de perforación (ISO 1832, precisión ±0,01 mm), la vida útil de fresado (ISO 3685, precisión ±0,01 mm) y el desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^{3}/ N·m). Por ejemplo, la vida útil de una broca YG8 para perforación profunda es de 10 horas ±1 hora, y la de una fresa YG10 es de 12 horas ±1 hora.

Varilla/cilíndrica de carburo cementado Análisis del mecanismo de carburo cementado

Alta resistencia (4200 MPa ± 50 MPa) y tenacidad (K_{1} c 16 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) resisten el torque de perforación (> 50 Nm ± 5 Nm) y la vibración de fresado (amplitud < 0,01 mm ± 0,001 mm). El grano de 12 μm ± 0,01 μm garantiza una dureza HV 1800 ± 30. El SEM muestra que la broca YG8 se desgasta de manera uniforme (profundidad < 0,01 mm ± 0,001 mm). Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste de YG8 es de 0,05 mm^{3}/N·m ± 0,01 mm^{3}/ N·m , que es mejor que YG6 (0,06 mm^{3}/N·m ± 0,01 mm^{3}/ N·m).

varilla de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

Contenido de Co: 10% ± 1%, larga vida útil; <6% ± 1%, la tasa de fractura aumenta en un 10% ± 2%.

Tamaño de grano: 12 μm ± 0,01 μm , excelente resistencia al desgaste; >5 μm ± 0,01 μm , vida útil reducida en un 10 % ± 2 %.

Velocidad de procesamiento: >1500 m/min ± 10 m/min, se requiere recubrimiento; <800 m/min ± 10 m/min, se aplica al sustrato.

Profundidad del orificio: >100 mm ± 1 mm, se requiere alta tenacidad; <50 mm ± 1 mm, se prefiere dureza.

Refrigerante: A base de aceite, tasa de desgaste reducida en 10% ± 2%; a base de agua, tasa de desgaste aumentada en 10% ± 2%.

Por ejemplo, la vida útil de una broca YG6 (sin recubrimiento) se reduce a 8 horas ± 1 hora .

Las varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

deben alcanzar una vida útil de >10 horas ±1 hora y una precisión de <0,1 mm ±0,01 mm. Se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

recomienda:
Cooptimización: 8%12%±1%, tenacidad mejorada.
Optimización de grano: 12 μm ± 0,01 μm , VC añadido (0,2 % ± 0,01 %).
Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 20%±3%.
Optimización del proceso: a base de aceite refrigerante, velocidad>1500 m/min ±10 m/min.
Especificaciones de prueba: ISO 1832 (taladrado), ISO 3685 (fresado).

Práctica de aplicación de ingeniería de varillas de carburo cementado/carburo cementado cilíndrico

Broca de carburo para agujeros profundos
La vida útil de la broca YG8 (resistencia a la flexión 4200 MPa ± 50 MPa) es de 10 horas ± 1 hora.

Fresa de carburo de alta velocidad
Fresa YG10 (K_1 c 16 MPa·$m^{1/2}$±0,5) vida útil 12 horas ±1 hora.

Broca de carburo para mecanizado de aviación
Broca YG8 (precisión <0,1 mm ± 0,01 mm) vida útil: 10 horas ± 1 hora.
Estas aplicaciones demuestran que las aleaciones de varillas cumplen con los requisitos de procesamiento de alta resistencia.

10.6.2.2.4 Aplicación de productos cilíndricos/de varilla de carburo cementado en la microperforación de PCB (sustrato de computadora)

Los productos cilíndricos/de varilla de carburo se utilizan ampliamente en la microperforación de PCB debido a su alta dureza (HV 16002100±50), alta resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,030,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m) y alta precisión (desviación de apertura <0,002 mm±0,0005 mm). Se utilizan para perforar placas de circuito impreso (PCB), especialmente sustratos de computadora (como placas base de PC, placas base de servidor, módulos GPU, placas de alta frecuencia 5G, etc.). La microperforación de PCB admite el procesamiento de orificios pasantes (PTH), vías ciegas (Blind Via), vías enterradas (Buried Via) y micro vías (Micro Via), cumpliendo con los requisitos de interconexión de alta densidad (HDI), multicapa (624 capas) y alta confiabilidad, y se utiliza en teléfonos inteligentes, servidores, electrónica automotriz, aeroespacial y equipo médico. En este artículo se explicará la marca, el tamaño, el rendimiento y el proceso de fabricación de las microbrocas de carburo, así como los parámetros de perforación, el número de orificios y la vida útil de las microbrocas para sustratos de computadora, y se analizará su aplicación en combinación con casos típicos.

Grados e ingredientes de microperforaciones de carburo para PCB (sustrato de computadora)

El microperforado de PCB utiliza principalmente carburo cementado de grano fino (tamaño de grano: 0,108 μm ± 0,1 μm) para lograr una alta dureza y tenacidad. Los grados y composiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

comunes son los siguientes (consulte las normas ISO 513, GB/T 18376, bibliografía, etc.):

Marca	Ingredientes principales	Tamaño de grano (μm)	Características de rendimiento	Aplicaciones típicas
YL10.2	WC10Co	0,40,8 ±0,1	Dureza: HV 1600 - 1900±50, Tenacidad: K_{1c} 911 MPa·m¹ / ² ± 0,5, Resistencia a la flexión: >4000 MPa±50	Microperforación de PCB de alta precisión (apertura de 0,11 mm ± 0,005 mm), perforación de sustratos HDI, placas base de servidor
K10	WC6	0,20,6 ±0,1	Dureza: HV 1700 - 2000±50, tenacidad: K_{1c} 810 MPa·m¹ /²±0,5, tasa de desgaste: <0,03 mm³/N·m±0,01 mm³/N·m	Microtaladro PCB estándar (apertura 0,10,8 mm ± 0,005 mm), perforación de placa base FR4
K05	WC4Co	0,10,5 ±0,1	Dureza: HV 1800 - 2100 ± 50, tenacidad: K ₁ c 79 MPa·m ¹ / ² ± 0,5, precisión: <0,001 mm ± 0,0002 mm	Microperforación ultrafina de PCB (apertura de 0,05 a 0,2 mm ± 0,005 mm), perforación de placas de alta frecuencia 5G, sustratos cerámicos
YU12	WC12Co	0,30,7 ±0,1	Dureza: HV 1600 - 1800±50, Tenacidad: K_{1c} 1012 MPa·m¹ / ² ± 0,5, Resistencia a la flexión: >4200 MPa±50	Microperforación de PCB de alta velocidad (apertura de 0,21,0 mm ± 0,005 mm), perforación de sustratos compuestos, sustratos de PTFE

Ingredientes Características:

WC (carburo de tungsteno)

Proporciona alta dureza (Mohs 8,59 ± 0,5) y resistencia al desgaste, y el tamaño de grano <1 μm ± 0,1 μm mejora la resistencia.

Co (cobalto)

Contenido 4%12%±0,5%, mejora la tenacidad, evita el agrietamiento del borde, adecuado para alta velocidad (10^5 3,5×10^5 rpm ±10^4 rpm).

Grano fino

El tamaño de grano es de 0,10,8 μm ± 0,1 μm , se reducen las microfisuras y la rugosidad de la pared del orificio Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm .

Base de selección:

K05: Dureza ultra alta, adecuada para microagujeros (0,050,2 mm), como placas de alta frecuencia 5G.

YL10.2/K10: Dureza y tenacidad equilibradas, adecuadas para orificios estándar (0,11,0 mm), como placas base FR4/HDI.

YU12: Alta tenacidad, adecuado para sustratos complejos (como PTFE, materiales compuestos), reduciendo la fractura.

3. Especificaciones del microbroca para PCB de carburo (sustrato de computadora)

Los micro taladros de PCB utilizan principalmente carburo en forma de varilla sin orificios (sección transversal circular), y las especificaciones de tamaño son las siguientes (consulte la tabla de varillas sin orificios en el artículo anterior, y el tamaño ultramicro se agregó recientemente, que cumple con ISO 286):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Morfología	Rango de diámetro Circunferencia mm	Rango de longitud Circunferencia mm	tolerancia	Tratamiento de superficies	Observación
En forma de varilla Redondo sección	0,050,2 ±0,005	5 - 30 ±0,3	h5	Rectificado, recubrimiento DLC/diamante	Microperforación ultrafina de PCB, perforación de placas de alta frecuencia 5G, microagujeros HDI, desviación del diámetro del orificio <0,001 mm ± 0,0002 mm
	0,210,5 ±0,005	10 - 50 ±0,5	h5, h6	Rectificado, recubrimiento PVDTiN /DLC	Microtaladro de PCB de alta densidad, diámetro típico 0,3 mm, perforación de placas base de servidor, vida útil >10^5 orificios ±10^4 orificios
	0,511,0 ±0,005	20 - 100 ±0,5	h6	Rectificado, recubrimiento AlTiN /DLC	Microtaladro PCB estándar, diámetro típico 0,8 mm, perforación de placa base FR4, pared del orificio Ra < 0,2 µm ± 0,01 µm
	1.13.0 ±0,01	30 - 150 ±0,5	h6, h7	Rectificado, recubrimiento de TiN	Microtaladro de PCB grande, diámetro típico 2 mm, perforación de sustrato de aluminio PTH, desviación de la posición del orificio <0,005 mm ± 0,001 mm

Características del tamaño:

diámetro

0,053,0 mm ± 0,0050,01 mm, la broca ultramicro (0,050,2 mm) se utiliza para microvías HDI , la broca estándar (0,31,0 mm) se utiliza para FR4/HDI, la broca más grande (1,13,0 mm) se utiliza para PTH.

longitud

5150 mm ± 0,30,5 mm, la varilla corta (530 mm) es adecuada para alta velocidad (>2×10^5 rpm ± 10^4 rpm), la varilla larga (50150 mm) se utiliza para agujeros profundos (>3,2 mm ± 0,1 mm).

tolerancia

h5/h6 (0/0,004 mm, 0,1 mm de diámetro; 0/0,008 mm, 1 mm de diámetro), lo que garantiza una precisión de apertura <0,002 mm ± 0,0005 mm.

Varilla de carburo con agujero

La microperforación de sustratos informáticos generalmente no utiliza varillas perforadas, ya que el diámetro de los orificios es demasiado pequeño (0,05-1,0 mm) y el canal de refrigeración no es adecuado. Se utilizan varillas experimentales de una sola hélice (diámetro de 0,8 mm ± 0,005 mm, diámetro del orificio de 0,3 mm ± 0,01 mm, ángulo de hélice de 30° ± 1°) para sustratos de alta temperatura (como la cerámica).

4. Parámetros de rendimiento de la microperforación de PCB de carburo (sustrato de computadora)

Las varillas de carburo para microperforación de PCB deben cumplir los siguientes requisitos de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

rendimiento (consulte ASTM E384, ASTM G65, literatura, etc.):

actuación	parámetro	ilustrar
dureza	Alto voltaje 16002100±50	La alta dureza garantiza resistencia al desgaste, K05 (HV 18002100±50) es adecuado para perforación ultrafina, YL10.2 (HV 16001900±50) es adecuado para perforación estándar.
tenacidad	K_{1c} 712 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5	Previene el astillado del filo de corte, YU12 (K_{1c} 1012 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) es adecuado para taladrado a alta velocidad, K05 (K_{1c} 79 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) es adecuado para microagujeros
Resistencia a la flexión	>4000-4500 MPa±50	Relación de esbeltez del soporte (>50:1), YL10.2 (>4000 MPa±50), YU12 (>4200 MPa±50)
Tasa de desgaste	<0,030,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3 / N·m	Bajo desgaste y vida útil prolongada, K10 (<0,03 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, ASTM G65)
Rugosidad de la superficie	Ra<0,10,2 µm ±0,01 µm	El pulido de espejo reduce la adhesión de la lámina de cobre/resina, la microvía HDI requiere Ra < 0,15 µm ± 0,01 µm
Exactitud	Desviación de apertura <0,002 mm ±0,0005 mm	Desviación del microagujero (0,050,2 mm) <0,001 mm ± 0,0002 mm, desviación de PTH (0,31,0 mm) <0,005 mm ± 0,001 mm

Mejora del recubrimiento:

DLC (recubrimiento tipo diamante)

El coeficiente de fricción es <0,15 ± 0,01, la resistencia al desgaste aumenta en un 30% 50% ± 5%, se reducen los residuos adheridos y es adecuado para microporos (0,050,3 mm).

PVDTiN

La dureza aumenta en un 20% ± 5%, es adecuada para orificios estándar (0,31,0 mm) y el costo es menor.

AlTiN

Resistencia a temperaturas > 900 °C ± 10 °C, vida útil aumentada entre un 20 % y un 30 % ± 5 %, adecuado para sustratos de alta temperatura (como cerámica).

Diamante

Dureza HV 8000 - 10000 ± 500, vida útil aumentada en un 50% 70% ± 10%, adecuado para sustratos cerámicos, pero el costo es alto ().

Modo de falla:

Desgaste abrasivo (70%±5%): la fibra de vidrio (Mohs 4,56,5±0,5) desgasta el WC (Mohs 8,59±0,5).

Adhesión (20% ± 5%): La lámina de resina/cobre se adhiere al borde de corte a 120-150 °C ± 10 °C.

Microastillado (10%±2%): a alta velocidad de microagujeros, la tensión del filo de corte es >500 MPa±50 MPa.

5. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de las microbrocas de carburo garantiza alta precisión y durabilidad. Los pasos son los siguientes (referencias):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Preparación de materias primas:

Polvo de WC ultrafino (tamaño de partícula 0,10,8 μm ± 0,1 μm), polvo de Co (4% 12% ± 0,5%). Molienda y mezcla húmeda, desviación de uniformidad <0,5% ± 0,1%, para evitar la segregación de Co.

Moldeo por compresión:

Prensado isostático (CIP), presión 200 - 300 MPa ± 10 MPa, formando varillas con diámetro 0,053,0 mm ± 0,005 mm.

La desviación dimensional se controla dentro de ±0,01 mm y la relación de esbeltez es >50:1.

sinterización:

Sinterización al vacío o HIP (prensado isostático en caliente), temperatura 1400-1500°C ± 10°C, presión 56 MPa ± 0,1 MPa.

La densidad sinterizada es 14,514,9 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (ISO 3369), el tamaño de grano es <0,8 μm ± 0,1 μm y la porosidad es <0,1 % ± 0,01 %.

Mecanizado de precisión:

Rectificado sin centros: tolerancia de diámetro h5/h6, rugosidad superficial Ra<0,2 μm±0,01 μm .

Pulido de espejo: elimina microgrietas, redondez del borde <0,001 mm ± 0,0002 mm.

Rectificado CNC: formación de geometría de microtaladro, ángulo de punta 130°140°±2°, ángulo de hélice 30°40°±1°, desviación del filo de corte <0,002 mm±0,0005 mm.

Ajuste fino por láser (opcional): precisión del filo de corte <0,0005 mm ± 0,0001 mm, adecuado para perforación ultrafina (0,050,2 mm).

revestimiento:

DLC, TiN , AlTiN o diamante depositados mediante PVD/CVD con un espesor de 0,53 μm ± 0,1 μm .

Adherencia >50 N±5 N (ASTM C1624), Coeficiente de fricción DLC <0,15±0,01, Dureza de diamante HV 8000 - 10000±500.

Inspección de calidad:

Precisión de apertura: medición láser, desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm.

Dureza: Probador de dureza Vickers (ASTM E384), HV 1600 - 2100 ± 50.

Prueba de vida: prueba de perforación, FR4> 10^5agujeros ± 10^4 agujeros, HDI>6× 10^4 agujeros ±5× 10^3 agujeros ().

6. Parámetros de perforación del sustrato del ordenador

Los parámetros de perforación de los sustratos informáticos (FR4, HDI, cerámica, aluminio, PTFE) varían según el material, el número de capas y el diámetro del orificio. A continuación, se indican los parámetros de perforación mecánica CNC (referencia ISO 1832):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tipo de sustrato	Rango de apertura (mm)	Velocidad (rpm)	Velocidad de alimentación (mm/min)	dianjiao (Gastar)	Ángulo de hélice (grados)	Profundidad del agujero (milímetros)	enfriarse Forma	Observación
FR4 (Piso 612)	0,10,5 ±0,005	150.000 - 300.000 ±10.000	1000 - 3000 ±100	130 ±2	30 - 35 ±1	0,83,2 ±0,1	Niebla de aire comprimido/agua	Placa base de PC, pared del orificio Ra < 0,2 µm ± 0,01 µm , desviación de la posición del orificio < 0,005 mm ± 0,001 mm
	0,511,0 ±0,005	100.000 - 200.000 ±10.000	2000 - 4000 ±100	130 ±2	30 - 35 ±1	1.66.4 ±0.1	Niebla/emulsión de agua	Orificio de PTH, diámetro típico 0,8 mm, menor adhesión de resina
IDH (Piso 1224)	0,050,2 ±0,005	200.000 - 350.000 ±10.000	500 - 1500 ±50	135 ±2	32 - 38 ±1	0,21,0 ±0,05	Aire comprimido	Placa base de servidor, precisión de microagujeros <0,001 mm ± 0,0002 mm
	0,210,5 ±0,005	150.000 - 250.000 ±10.000	1000 - 2000 ±50	135 ±2	32 - 38 ±1	0,52,0 ±0,05	Aire comprimido	Vía ciega/enterrada, pared del orificio Ra<0,15 µm ±0,01 µm
cerámica sustrato	0,10,3 ±0,005	100.000 - 200.000 ±10.000	300 - 1000 ±50	140 ±2	35 - 40 ±1	0,51,5 ±0,05	Niebla de agua	Módulo de alta frecuencia, tasa de desgaste <0,03 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$
	0.310.8 ±0.005	80.000 - 150.000 ±10.000	500 - 1500 ±50	140 ±2	35 - 40 ±1	1.02.0 ±0.05	Emulsión	Pared del agujero Ra<0,1 µm ±0,01 µm , antifisuras térmicas
Sustrato de aluminio	0,20,8 ±0,005	80.000 - 150.000 ±10.000	1000 - 2500 ±100	130 ±2	30 - 35 ±1	1.03.0 ±0.1	Niebla/emulsión de agua	Disipador de calor de GPU, desviación del paso de orificios <0,003 mm ± 0,0005 mm
sustrato de PTFE	0,10,5 ±0,005	120.000 - 200.000 ±10.000	500 - 1500 ±50	135 ±2	32 - 38 ±1	0,52,0 ±0,05	Aire comprimido	Placa base 5G, revestimiento DLC para evitar que se pegue, coeficiente de fricción <0,15 ± 0,01

Descripción del parámetro:

Abertura

0,051,0 mm ± 0,005 mm, microvía (0,050,2 mm) para HDI, PTH (0,31,0 mm) para sustrato FR4/aluminio.

Velocidad

10^5 3,5 × 10^5 rpm ± 10^4 rpm. Las microvías HDI requieren alta velocidad (>2 × 10^5 rpm) para garantizar la suavidad. Los sustratos cerámicos requieren baja velocidad (<2 × 10^5 rpm) para evitar el agrietamiento térmico.

Velocidad de alimentación

300 - 4000 mm/min ± 50 - 100 mm/min, el avance bajo de microagujeros (500 - 1500 mm/min) mejora la precisión, el avance alto PTH (2000 - 4000 mm/min) mejora la eficiencia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

dianjiao

130° - 140° ± 2°, los sustratos cerámicos utilizan un ángulo de punta más grande (140°) para reducir el astillado de los bordes.

Ángulo de hélice

30° - 40° ± 1°, el alto ángulo de hélice (38°) optimiza la evacuación de viruta y reduce la adhesión de la lámina de resina/cobre ().

Profundidad del agujero

0,26,4 mm ± 0,050,1 mm, espesor FR4 1,63,2 mm ± 0,1 mm, espesor HDI 0,82,0 mm ± 0,05 mm.

Método de enfriamiento

Aire comprimido (microporo, antiobstrucción), niebla/emulsión de agua (PTH, refrigeración), viscosidad de la emulsión 1020 mPa·s ± 2 mPa·s .

7. Número de agujeros en la placa base del ordenador

El número de agujeros en los sustratos de las computadoras varía dependiendo de la complejidad y los requisitos funcionales (referencias):

Tipo de sustrato	Escenario de aplicación	Número de capas	Rango de números de hoyos	Distribución del tamaño de los poros	Tipo de agujero	Observación
FR4 (estándar)	Placa base de PC (ATX, MicroATX	612	5.000 - 20.000 ±500	0,11,0 mm	PTH, vía ciega	10 000 orificios típicos (placa base Intel Z790), PTH representa el 70 % ± 5 %, paso de orificio > 0,2 mm ± 0,01 mm
FR4 (Densidad alta)	Placa base del servidor	1016	15.000 - 50.000 ±1.000	0,10,8 mm	PTH, Vías ciegas, vías enterradas	30 000 orificios típicos (placa base AMD EPYC), desviación de la posición del orificio <0,005 mm ± 0,001 mm
IDH	Módulo GPU Módulo de CPU	1224	20.000 - 100.000 ±2.000	0,050,5 mm	Micro Vía, Vías ciegas, vías enterradas	Típicos 50.000 agujeros (NVIDIA RTX 4090), los microagujeros representan el 60%80%±5%
cerámica sustrato	Módulo de alta frecuencia 5G	48	2.000 - 10.000 ±200	0,10,8 mm	PTH, Vía ciega	Normalmente 5000 agujeros (alta frecuencia del servidor), pared del agujero Ra < 0,1 µm ± 0,01 µm
Sustrato de aluminio	Disipador de calor de la GPU	26	1.000 - 5.000 ±100	0,21,0 mm	PTH	Normalmente 3000 orificios (orificios de disipación de calor), paso de orificio > 0,5 mm ± 0,01 mm
PTFE placa base	Servidor 5G Placa base	612	5.000 - 15.000 ±300	0,10,5 mm	PTH, vía ciega	8.000 agujeros típicos (alta frecuencia y baja pérdida), altos requisitos anti-astillado

Características del número de hoyo:

Placa base estándar FR4

Número de orificios: 5.000-20.000, principalmente PTH (>70% ± 5%), utilizados para instalar componentes como ranuras de CPU y módulos de memoria.

Sustrato HDI

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La cantidad de orificios es de 20 000 a 100 000, y los microorificios (0,05 a 0,2 mm) representan entre el 60 % y el 80 % ± 5 %, lo que admite una interconexión de alta densidad (como los módulos GPU).

Sustrato de cerámica/PTFE

El número de orificios es de 2000 a 15 000. Las señales de alta frecuencia requieren una mayor separación entre orificios (>0,2 mm ± 0,01 mm).

Sustrato de aluminio

El número de orificios es de 1.000 a 5.000, principalmente orificios de disipación de calor, con un diámetro de 0,51,0 mm ± 0,005 mm.

8. Vida útil de las microbrocas de carburo

La vida útil de la microbroca se ve afectada por el material del sustrato, el diámetro del orificio, la velocidad de rotación y el recubrimiento. A continuación, se presentan los datos de vida útil bajo sustrato de computadora (referencia ASTM G65):

sustrato tipo	Abertura mm	Marca	revestimiento	Vida útil (número de agujeros)	Tasa de desgaste (mm^3 / N·m)	Modo de fallo	Observación
FR4 Piso 612	0,10,3 ±0,005	YL10.2	Contenido descargable	100.000 - 150.000 ±10.000	<0,03 ±0,01	Desgaste abrasivo, adherencia	Placa base de PC, pared del orificio Ra<0,2 µm ±0,01 µm , vida útil más larga
	0.310.8 ±0.005	K10	Estaño	80.000 - 120.000 ±10.000	<0,04 ±0,01	Desgaste abrasivo	Orificio de PTH, menor adhesión de resina
IDH Piso 1224	0,050,2 ±0,005	K05	Contenido descargable	50.000 - 80.000 ±5.000	<0,02 ±0,005	Microastillado, desgaste	Placa base del servidor, precisión <0,001 mm ± 0,0002 mm
	0,210,5 ±0,005	YU12	AlTiN	60.000 - 100.000 ±5.000	<0,03 ±0,01	Usar y difundir	Vías ciegas/enterradas, resistencia a la temperatura >900 °C ± 10 °C
cerámica sustrato	0,10,3 ±0,005	K05	Diamante	20.000 - 50.000 ±3.000	<0,02 ±0,005	Desgaste abrasivo y agrietamiento	Módulo de alta frecuencia, requiere un ángulo de punta grande (140° ± 2°) y tiene la vida útil más corta ()
	0.310.8 ±0.005	YL10.2	TiB_2	30.000 - 60.000 ±3.000	<0,03 ±0,01	Desgaste, microfisuras	Pared del agujero Ra<0,1 µm ±0,01 µm , antifisuras térmicas
Sustrato de aluminio	0,20,8 ±0,005	K10	Estaño	80.000 - 120.000 ±10.000	<0,04 ±0,01	Adherencia, desgaste	Disipador de calor de GPU, desviación del paso de orificios <0,003 mm ± 0,0005 mm
PTFE sustrato	0,10,5 ±0,005	YU12	Contenido descargable	60.000 - 100.000 ±5.000	<0,03 ±0,01	Adherencia, desgaste	Placa base 5G, coeficiente de fricción <0,15 ± 0,01

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características de la esperanza de vida:

FR4

Máxima vida útil (80.000 - 150.000 orificios ± 10.000), sustrato blando (fibra de vidrio + resina, Mohs 4,56 ± 0,5), baja tasa de desgaste (< 0,04 mm^3 /N · m ± 0,01 mm^3 /N · m).

IDH

La vida útil media (50.000 - 100.000 agujeros ± 5.000), la alta velocidad de perforación de microagujeros (>2×10^5 rpm ± 10^4 rpm) produce microastillado.

Sustrato cerámico

La vida útil es la más baja (20.000 - 60.000 agujeros ± 3.000) y la alta dureza (Mohs 6,57 ± 0,5) induce desgaste abrasivo.

Sustrato de aluminio

Mayor vida útil (80.000 - 120.000 orificios ±10.000), pero propenso a la adhesión de virutas de aluminio, requiere recubrimiento TiN /DLC.

sustrato de PTFE

De vida media (60.000 – 100.000 orificios ± 5.000), el recubrimiento DLC tiene un importante efecto anti-astillado.

Influencia del recubrimiento:

Contenido descargable

Coeficiente de fricción <0,15 ± 0,01, vida útil aumentada en un 30 % 50 % ± 5 %, adecuado para microagujeros.

TiN / AlTiN

Resistencia a temperaturas > 900 °C ± 10 °C, vida útil aumentada en un 20 % 30 % ± 5 %, adecuado para PTH.

Diamante

Dureza HV 8000 - 10000±500, vida útil aumentada en un 50%70%±10%, adecuado para sustratos cerámicos, alto costo.

Modo de falla:

Desgaste abrasivo (70% ± 5%): abrasión fibra de vidrio/cerámica WC.

Adhesión (20% ± 5%): Adhesión resina/aluminio a 120150°C ± 10°C.

Microchip (10%±2%): tensión de microporos > 500 MPa ± 50 MPa.

9. Aplicaciones y casos específicos

Las aplicaciones típicas de las microbrocas de carburo en sustratos informáticos son las siguientes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(integración de teléfonos inteligentes, servidores, GPU, etc.):

Tipo de sustrato	Casos de aplicación	Número de agujeros	Apertura (mm)	Parámetros de microperforación	Vida útil (número de agujeros)	Requisitos de rendimiento
FR4	Placa base ATX Intel Z790	10.000 ±500	0,20,8 ±0,005	YL10.2, DLC, 0,30,8 mm, 200.000 rpm ± 10.000, 2000 mm/min ± 100	100.000 - 120.000 ±10.000	Desviación de la posición del orificio <0,005 mm ± 0,001 mm, pared del orificio Ra <0,2 µm ± 0,01 µm , la PTH representa el 70 %
IDH	Placa base del servidor AMD EPYC	50.000 ±2.000	0,050,3 ±0,005	K05, DLC, 0,10,2 mm, 300.000 rpm ± 10.000, 1000 mm/min ± 50	60.000 - 80.000 ±5.000	Precisión de microporos <0,001 mm ± 0,0002 mm, proporción de microporos 80 % ± 5 %
Sustrato cerámico	Módulo de alta frecuencia 5G	5.000 ±200	0,10,5 ±0,005	K05, Diamante, 0,2 mm, 150.000 rpm ± 10.000, 500 mm/min ± 50	30.000 - 50.000 ±3.000	Tasa de desgaste <0,02 mm^3 / N · m ± 0,005 mm^3 / N · m, pared del orificio Ra <0,1 µm ±0,01 µm
Sustrato de aluminio	Placa de refrigeración para GPU NVIDIA RTX 4090	3.000 ±100	0,31,0 ±0,005	K10, TiN , 0,5 mm, 100.000 rpm ± 10.000, 2000 mm/min ± 100	80.000 - 100.000 ±10.000	Desviación del espaciado de los orificios <0,003 mm ± 0,0005 mm, anti-astillado
sustrato de PTFE	Placa base de la estación base 5G	8.000 ±300	0,10,5 ±0,005	YU12, DLC, 0,3 mm, 150.000 rpm ± 10.000, 1000 mm/min ± 50	60.000 - 100.000 ±5.000	Coeficiente de fricción <0,15 ± 0,01, pérdida de señal <0,02 dB/cm ± 0,005 dB/cm
Híbrido FR4/HDI	Placa de circuito impreso (PCB) para smartphone (iPhone 15 Pro)	30.000 ±1.000	0,050,5 ±0,005	K05/YL10.2, DLC, 0,10,3 mm, 250.000 rpm ± 10.000, 1000 2000 mm/min ± 50	80.000 - 100.000 ±5.000	Desviación de apertura <0,001 mm ± 0,0002 mm, pared del orificio Ra <0,15 µm ± 0,01 µm

Estudio de caso:

Placa base ATX (Intel Z790)

El número de orificios es de aproximadamente 10 000, PTH (0,30,8 mm) representa el 70 % ± 5 %, el micro taladro YL10.2 + DLC (0,30,8 mm) se utiliza para perforar ranuras de CPU y ranuras PCIe, con una vida útil de 100 000 - 120 000 orificios ± 10 000 y una desviación de la posición del orificio de <0,005 ± 0,001 mm, que cumple con los requisitos de transmisión de señales de alta velocidad.

Placa base para servidor (AMD EPYC)

El número de orificios es de 50.000, los micro orificios (0,050,2 mm) representan el 80% ± 5%, las brocas micro K05 + DLC (0,1 mm) perforan intercapas HDI, la vida útil es de 60.000 - 80.000 orificios ± 5.000, la velocidad es de 300.000 rpm ± 10.000 para garantizar una precisión de <0,001 ± 0,0002 mm.

Módulo de alta frecuencia 5G (cerámica)

Número de orificios: 5.000, diámetro del orificio: 0,10,5 mm, microbroca de diamante K05+ (0,2 mm) para perforar orificios de transmisión de señal, vida útil: 30.000-50.000 orificios ±3.000, pared del orificio Ra < 0,1 µm ± 0,01 µm , lo que reduce la pérdida de señal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Disipador de calor de la GPU (RTX 4090)

Número de orificios: 3.000, PTH (0,51,0 mm), microbroca K10+TiN (0,5 mm) para taladrar canales de disipación de calor, vida útil: 80.000 - 100.000 orificios ±10.000, desviación del espaciado entre orificios <0,003 ±0,0005 mm.

Placa de circuito impreso del iPhone 15 Pro

Número de orificios 30.000, FR4/HDI mixto, taladro micro K05/YL10.2+DLC (0,10,3 mm), interconexión de chip A17, vida útil 80.000 - 100.000 orificios ±5.000, desviación de apertura <0,001 ±0,0002 mm, cumple con la compacidad.

10. Tecnologías y tendencias avanzadas

Grano ultrafino

Tamaño de grano <0,2 μm ± 0,05 μm (como K05), dureza HV 2000 - 2200 ± 50, adecuado para perforación ultrafina (0,05 mm ± 0,005 mm).

Recubrimiento nano

DLC+TiN (espesor 0,51 μm ± 0,1 μm , coeficiente de fricción < 0,1 ± 0,01), vida útil aumentada en un 50 % ± 10 %; CVM Dimond (dureza HV 8000 - 10000 ± 500) se utiliza para sustratos cerámicos.

Procesamiento láser

Filo de corte con ajuste fino por láser, redondez <0,0005 mm ± 0,0001 mm, pared del orificio Ra <0,1 μm ± 0,01 μm , adecuado para placas de alta frecuencia 5G.

Monitoreo inteligente

Monitoreo en tiempo real del torque (<0,01 N·m ± 0,001 N·m) y desgaste (<0,001 mm ± 0,0002 mm) para optimizar la eficiencia de perforación y la vida útil.

Fabricación ecológica

Sinterización HIP de bajo consumo energético (consumo de energía reducido en un 10 % ± 2 %), reciclaje de polvo de WCCo (tasa de recuperación > 90 % ± 5 %) e impacto ambiental reducido.

11. Conclusión

La aplicación de productos cilíndricos/de varilla de carburo cementado en la microperforación de PCB es principalmente en grados de grano fino como YL10.2, K05, K10, YU12, con un diámetro de 0,053,0 mm ± 0,0050,01 mm, dureza HV 1600 - 2100 ± 50, desviación de apertura <0,002 mm ± 0,0005 mm, vida útil de 20 000 a 150 000 orificios ± 3 000 10 000. Los parámetros de perforación para sustratos de computadora (FR4, HDI, cerámica, a base de aluminio, PTFE) son diámetro de orificio de 0,051,0 mm ± 0,005 mm, velocidad de rotación de 10^{5} 3,5 × 10^{5} rpm ± 10^{4} rpm, velocidad de avance de 300 a 4000 mm/min ± 50100 mm/min, número de orificios de 1 000 a 100 000 y una alta proporción de microporos (HDI alcanza el 60 % 80 % ± 5 %). DLC, TiN , AlTiN , recubrimiento de diamante (coeficiente de fricción <0,15 ± 0,01, vida útil aumentada en un 30 % 70 % ± 5 % 10 %) y fabricación de precisión (como CIP, HIP, rectificado CNC, ajuste fino por láser) garantizan alta precisión y durabilidad. La placa base FR4 tiene la mayor vida útil (100 000-150 000 agujeros), mientras que el sustrato cerámico tiene la menor (20 000-60 000 agujeros). Casos típicos (como Intel Z790, AMD EPYC y iPhone 15 Pro) demuestran que las microperforaciones de carburo cementado cumplen con los requisitos de alta densidad y alta fiabilidad de los sustratos informáticos, y en el futuro se desarrollarán hacia granos ultrafinos, nanorrecubrimientos y monitorización

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

inteligente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

Resumen de áreas de aplicación y usos específicos del carburo cementado en varillas/cilíndricos

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
Corte	en general Fresa	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >900°C ±10°C, Tenacidad: K_{1c} > 10 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5	WC8Co, AlTiN , DLC	Fresado de aleación de aluminio de aviación, acero para matrices (Ra<0,8 µm ± 0,01 µm , vida útil > 5000 m ± 500 m)
	perforar	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al impacto: > 100 J ± 10 J, Precisión: < 0,01 mm ± 0,001 mm, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,1 mg/cm^2	WC10Co, TiAlN	Perforación de acero inoxidable, materiales compuestos (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm, vida útil > 10^4 orificios ± 10^3 orificios)
	Escariador	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Vida útil: >10^4 piezas ±10^3 piezas	WC6Co, TiN , DLC	Escariado de bloques de cilindros de automóviles y orificios de cojinetes (Ra<0,4 µm ± 0,01 µm , desviación<0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Grifos	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >600 °C ± 10 °C, Precisión: <0,01 mm	WC10Co, TiCN	Procesamiento de agujeros roscados (desviación de paso <0,005 mm ± 0,001 mm, vida útil > 10^4 piezas ± 10^3 piezas)
	Fresas de extremo	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Amplitud de vibración: <0,1 mm±0,01 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m, Vida útil: >5000 m±500 m	WC8Co, AlTiN	Fresado de alta velocidad de aleación de titanio y acero duro (velocidad de corte > 200 m/min ± 10 m/min)
	Microcuchillo	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Precisión: <0,002 mm ± 0,0005 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Vida útil: >10^4 piezas ±10^3 piezas	WC6Co, DLC	Piezas y moldes electrónicos microprocesados (tamaño de característica <0,01 mm ± 0,001 mm)
Fabricación de moldes	Núcleo de matriz de trefilado	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^6 m ±10^5 m	WC10Co, DLC, CrN	Trefilado de alambre de cobre y de acero (desviación de diámetro <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Núcleo de matriz de extrusión	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la temperatura: >600 °C ± 10 °C, Vida útil: >10^6 veces ± 10^5 veces	WC12Co, TiC	Tubos de aluminio extruido, varillas de plástico (desviación del espesor de pared <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Núcleo de matriz de estampación	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200±50, Resistencia al impacto: >120 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,06 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^6 veces	WC10Ni, CrN	Tuercas y arandelas de estampación (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)
	Núcleo de moldeo	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia a la presión: > 100	WC10Co, TiC	Polvo cerámico prensado, material

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn
电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	en polvo		MPa ± 10 MPa, Precisión: < 0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	/DLC	magnético (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Núcleo de matriz de encabezado en frío	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia al impacto: > 150 J ± 10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste < 0,05 mm³ / N · m, Vida útil: > 10 ⁶ piezas ± 10 ⁵ piezas	WC12Co, TiB_2	Pernos y remaches estampados en frío (fuerza de conformado <500 kN ± 10 kN)
Piezas resistentes al desgaste	Buje resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Coeficiente de fricción: <0,2±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴h ± 10 ³h	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Camisa del eje de la bomba, camisa del eje del motor (pérdida de masa <0,1 g/h ±0,01 g/h)
	Núcleo de la boquilla	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia a la erosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1, Vida útil: >10 ⁴ horas	WC8 , Al_2O_3	Boquilla de chorro de agua a alta presión, boquilla para petróleo y gas (desviación de flujo <1% ± 0,1%)
	Cojinetes deslizantes	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ⁴ horas ± 10 ³ horas	WC10Ni, DLC	Cojinetes deslizantes mecánicos, cojinetes de bomba (velocidad de rotación > 5000 rpm ± 500 rpm)
	Pasador resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces, Vida útil: >10 ⁴ horas	WC12Co, TiC	Pasadores y bisagras de excavadora (tasa de deformación <0,1% ± 0,01%)
	Núcleo del anillo de sellado	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Tasa de fuga: <10 ⁻⁶ Pa·m³ / s ± 10 ⁻⁷ Pa·m³ / s	WC10Co, CrN	Juntas de bombas de alta presión, juntas de válvulas (vida útil > 10 ⁴ horas ± 10 ³ horas)
Industria electrónica	**Microperforación de PCB**	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Precisión: <0,002 mm ± 0,0005 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁵ agujeros ±10 ⁴ agujeros	WC6Co, DLC, PVDTiN	Perforación de placas PCB multicapa, placas HDI (diámetro del orificio 0,11 mm ± 0,005 mm, desviación < 0,001 mm ± 0,0002 mm)
	brocas de precisión	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Precisión: <0,005 mm±0,001 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴ agujeros	WC6Co, DLC, TiN	Sustratos de viruta de perforación, conectores (desviación de apertura <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Microfresa	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Precisión: <0,002 mm ± 0,0005 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Vida útil: >10 ⁴ piezas ±10 ³ piezas	WC6Co, DLC	Fresado de moldes de microcircuitos, piezas de sensores (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm)
	varilla conductora	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistividad: <12 μΩ·cm±0,1 μΩ·cm , Resistencia de contacto: <0,1 mΩ±0,01 mΩ , Vida útil: >10 ⁶ veces	WC10Ni, PVDCrN	Varillas de contacto de batería, conectores (eficiencia > 99% ± 1%)
	Matriz de empaquetado de chips	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm	WC10Co, CrN /DLC	Núcleo de molde de empaquetado de semiconductores (ciclo <1 s ± 0,1 s, vida útil > 10 ⁶ veces)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
Aeroespacial	Brocas para materiales compuestos	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >900°C ±10°C, Vida útil: >10^4 agujeros	WC8Co, AlTiN , TiB_2	Perforación de fibra de carbono, aleación de titanio (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresa	En forma de varilla	Dureza: HV 25003500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC8Co, AlTiN	Fresado de piezas de motores de aeronaves (Ra<0,8 µm ± 0,01 µm)
	Eje resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10^6 veces ± 10^5 veces, Vida útil: >10^4 horas	WC12Co, CrN	Núcleo del eje de la turbina, bisagra de la nave espacial (tasa de deformación <0,1 % ± 0,01 %)
	Varilla de sellado	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Resistencia a la temperatura: >1000°C±10°C, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Tasa de fuga: <10^{-6} Pa·m^3 / s	Compañía WC10 , Al_2O_3	Sellos de motores de cohetes, núcleos de válvulas (tiempo de servicio > 10^4 horas ± 10^3 horas)
Energía y productos químicos	Broca resistente a la corrosión	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: > 10^4agujeros	WC10Co, CrN , DLC	Perforación de tuberías de agua de mar, contenedores de productos químicos (desviación de apertura <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Núcleo de válvula	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10^4 horas	WC10TiC10Ni, CrN	Válvulas de aceite, núcleos de válvulas de gas (tasa de fuga <10^{-6} Pa·m^3/s ± 10^{-7} Pa·m^3/s)
	Carcasa resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la erosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Resistencia a la temperatura: >500 °C ± 10 °C, Vida útil: >10^4 horas	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Carcasa de bomba de arena petrolífera, núcleo de bomba química (servicio > 2 años ± 0,2 años)
	Núcleo de moldeo de catalizador	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Porosidad: 10 % 20 % ± 1 %, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Vida útil: >10^4 horas	WCCo poroso , Al_2O_3	Formación de partículas de catalizador (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm)
Carpintería y Minería	brocas para carpintería	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10^4 agujeros ±10^3 agujeros	WC6Co, TiN , CrN	Perforación de madera dura y contrachapado (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	brocas para minería	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^4 horas	WC10Co, TiC , TiB_2	Perforación de rocas, perforación de minerales (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h)
	Núcleo de corte de la tuneladora	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >200 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ±	WC12Co, TiB_2	Túneles, minería (servicio > 2 años ± 0,2 años)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
			0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴ horas		
	varilla de molienda para preparación de minerales	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm² , Vida útil: >10 ⁴ horas	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Molienda y beneficio de minerales (pérdida de masa <0,1 g/h ± 0,01 g/h)
Industria de procesamiento de bambú y madera	Broca para madera de bambú	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Vida útil: >10 ⁴ agujeros ±10 ³ agujeros	WC6Co, TiN , CrN	Perforación de muebles de bambú y estructuras de madera (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresa de madera de bambú	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Precisión: <0,01 mm±0,001 mm, Vida útil: >5000 m±500 m	WC8Co, DLC	Fresado de tableros de bambú, tallado de madera (Ra < 0,8 µm ± 0,01 µm)
	Núcleo de troquel de dibujo de madera de bambú	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁶ m ±10 ⁵ m	WC10Co, CrN	Tiras de bambú estiradas, fibras de madera (desviación de diámetro <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Núcleo de moldura de madera de bambú	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la presión: > 100 MPa ± 10 MPa, Precisión: < 0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC10Ni, DLC	Embalaje de bambú prensado, productos de madera (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
Médico	brocas dentales	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Compatibilidad: >95 % ± 2 %	WC6Co, DLC	Perforación y restauración de dientes (velocidad de rotación >10 ⁵ rpm ±10 ⁴ rpm, desviación <0,002 mm ±0,0005 mm)
	brocas ortopédicas	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al impacto: > 100 J ± 10 J, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Vida útil: > 10 ⁴ agujeros	WC8Co, TiN	Perforación ósea, instalación de implantes (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresa médica	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Vida útil: >10 ⁴ piezas ±10 ³ piezas	WC6Co, DLC	Fresado de moldes de reparación ósea, implantes (Ra<0,4 µm ± 0,01 µm)
	Núcleo de molde de aguja de acupuntura	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Precisión: <0,002 mm ± 0,0005 mm, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²	WC10Co, CrN	Agujas de acupuntura médica moldeadas (desviación de diámetro <0,001 mm ± 0,0002 mm)
Automotor	brocas de perforación	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia a impactos: >100 J ± 10 J, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10 ⁴ agujeros ± 10 ³ agujeros	WC10Co, TiAlN	Perforación del bloque de cilindros del motor, chasis (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Herramientas de fresado	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la temperatura: >800 °C ± 10 °C, Vida útil: >5000 m	WC8Co, AlTiN	Fresado de cigüeñales y engranajes (Ra<0,8 µm±0,01 µm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
	Núcleo de matriz de trefilado	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10 ^{6} m	WC10Co, DLC	Alambre de acero automotriz trefilado, alambre para resortes (desviación de diámetro <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Núcleo de matriz de estampación	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ^{6} veces ± 10 ^{5} veces, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm	WC10Ni, CrN	Estampación de piezas de carrocería, tuercas (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
arquitectura	broca para hormigón	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10 ^{4} agujeros	WC10Co, TiC	Perforación de hormigón y roca (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresa de piedra	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la temperatura: >600 °C ± 10 °C, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC8Co, TiN	Fresado de mármol y granito (Ra<0,8 μm±0,01 μm)
	Brocas para perforación de cimientos	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >200 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10 ^{4} horas	WC12Co, TiB_2	Perforación de cimentaciones de pilotes, excavación de túneles (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h)
	Mandril resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ^{6} veces ± 10 ^{5} veces, Vida útil: >10 ^{4} horas	WC12Co, CrN	Eje mezclador, eje triturador (tasa de deformación <0,1% ± 0,01%)
Maquinaria general	Núcleo de corte	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Precisión: <0,01 mm±0,001 mm, Vida útil: >10 ^{6} veces	WC10Co, DLC, TiN	Corte de alambre de acero, plástico (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Pasadores guía resistentes al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ^{4} horas ± 10 ^{3} horas	WC10Ni, CrN	Pilares guía de máquinas herramienta, pilares guía de punzones (resistencia al deslizamiento <10 N ± 1 N)
	Núcleo de válvula hidráulica	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10 ^{4} horas	WC10Co, CrN	Válvulas hidráulicas, núcleos de servoválvulas (tasa de fuga <10 $^{-6}$ Pa·m^3/s ± 10 $^{-7}$ Pa·m^3/s)
	Eje del compresor	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ^{6} veces ± 10 ^{5} veces, Vida útil: >10 ^{4} horas	WC12Co, TiC	Eje del compresor de aire, eje del núcleo de la bomba (amplitud de vibración <0,1 mm ± 0,01 mm)
Ferrocarril y tránsito ferroviario	Brocas para rieles	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia a impactos: > 150 J ± 10 J, Precisión: < 0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: > 10 ^{4} agujeros ± 10 ^{3} agujeros	WC10Co, TiAlN	Carriles y desvíos perforados (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresa de rueda	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la	WC8Co, AlTiN	Fresado de ruedas de ferrocarril (desviación de redondez <0,02 mm ±

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
			temperatura: >800 °C ± 10 °C, Vida útil: >5000 m		0,005 mm)
	Buje resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ⁴ horas ± 10 ³ horas	Compañía WC10 , Cr_3C_2 / NiCr	Bujes de bogie, ejes de ruedas (servicio > 5 años ± 0,5 años)
	Núcleo de la válvula de freno	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la temperatura: >600 °C ± 10 °C, Vida útil: >10 ⁴ horas	WC12Co, CrN	Núcleo de válvula de freno de riel de alta velocidad (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05)
Construcción naval	Fresa de hélice	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la corrosión: pH 212±0,1, Vida útil: >5000 m	WC8Co, AlTiN , CrN	Fresado de hélice de aleación de cobre (precisión <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Núcleo de válvula resistente a la corrosión	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10 ⁴ horas	WC10TiC10Ni, DLC	Núcleo de válvula marina, núcleo de bomba de agua de mar (servicio > 5 años ± 0,5 años)
	Brocas para casco	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al impacto: >150 J ± 10 J, Resistencia a la corrosión: pH 212 ± 0,1, Vida útil: >10 ⁴ agujeros ± 10 ³ agujeros	WC10Co, CrN	Placa de acero del casco de perforación (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
Maquinaria agrícola	Broca para labranza	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al impacto: >100 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10 ⁴ horas	WC10Co, TiC , CrN	Perforación del suelo, siembra de agujeros (desviación del diámetro del agujero <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresa de cosechadora	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >5000 m ±500 m, Precisión: <0,01 mm	WC8Co, TiN	Fresado de tallos de cultivos y piezas de madera (Ra<0,8 μm ± 0,01 μm)
	Eje resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 16002200 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces, Vida útil: >10 ⁴ horas	WC12Co, CrN	Eje de transmisión del tractor, eje de la cosechadora (amplitud de vibración <0,1 mm ± 0,01 mm)
Procesamiento de alimentos	Broca para alimentos	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Coeficiente de fricción: <0,2 ± 0,01, Compatibilidad: >95 % ± 2 %, Vida útil: >10 ⁴ agujeros ±10 ³ agujeros	WC6Co, DLC	Perforación de moldes para envases de alimentos, huesos (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Fresadora de alimentos	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Compatibilidad: >95 % ± 2 %, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC6Co, DLC	Moldes para molienda de alimentos, moldes para cortar frutas y verduras (Ra < 0,4 μm ± 0,01 μm)
	Núcleo de sellado	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10 ⁶ veces	WC10Co, CrN	Molde de sellado para envases de alimentos (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
Textil e	Núcleo de matriz	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Coeficiente de fricción:	WC10Co, DLC,	Dibujo de fibra química, hilo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
impresión	de trefilado textil		<0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^6 m	CrN	(desviación de diámetro <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Núcleo del molde de impresión	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Precisión: <0,01 mm±0,001 mm, Vida útil: >10^6 veces	WC10Co, CrN	Núcleo del cilindro de impresión en huecograbado, núcleo de troquelado (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Varilla guía de hilo	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000±50, Coeficiente de fricción: <0,2±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^4 horas	WC10Ni, WC/C	Varilla guía de hilo de máquina de hilar (resistencia al deslizamiento <5 N ± 1 N)
Equipos de energía	Taladro de energía eólica	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia al impacto: >150 J ± 10 J, Resistencia a la corrosión: pH 212 ± 0,1, Vida útil: >10^4 agujeros ± 10^3 agujeros	WC10Co, TiB_2 , CrN	Perforación de palas y torres de aerogeneradores (desviación de apertura <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Núcleo de válvula de energía nuclear	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Vida útil: >10^4 horas	WC10TiC10 Ni , Al_2O_3	Núcleo de válvula de refrigeración de energía nuclear, núcleo de bomba (servicio > 10 años ± 1 año)
	Broca para obleas solares	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Precisión: <0,005 mm±0,001 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^6 agujeros	WC6Co, DLC	Perforación de obleas de silicio (desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
Exploración geológica	Brocas geológicas	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Resistencia al impacto: >200 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Vida útil: >10^4 horas	WC10Co, TiB_2 , Tic	Perforación petrolera, exploración geológica (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h)
	Carcasa resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm^3 / N · m ± 0,01 mm^3 / N · m, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,1 mg/cm^2 , Vida útil: >10^4 horas	Compañía WC12 , Cr_3C_2 / NiCr	Revestimiento de plataforma de perforación, núcleo de bomba de lodo (servicio > 2 años ± 0,2 años)
	Brocas para muestreo de núcleos	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Resistencia a impactos: > 150 J ± 10 J, Precisión: < 0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: > 10^4 agujeros ± 10^3 agujeros	WC10Co, CrN	Muestreo de núcleos geológicos (desviación de apertura <0,05 mm ± 0,01 mm)
Deportes y entretenimiento	Ejercicio de pesca con aparejos	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10^4 agujeros	WC6Co, CrN	Perforación de moldes para cañas de pescar y aparejos de pesca (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Eje de equipo deportivo	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la presión: >100 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10^6 veces ± 10^5 veces, Vida útil: >10^4 horas	WC10Co, CrN	Núcleo de eje de bicicleta, eje de patineta (amplitud de vibración <0,1 mm ± 0,01 mm)
	Brocas para snowboard	En forma de varilla	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Coeficiente de fricción: <0,2±0,01, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , Vida útil: >10^4 agujeros	WC6Co, DLC	Perforación de moldes para esquís y patines de hielo (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

solicitud campo	específico usar	forma	Requisitos de rendimiento	Materiales y recubrimientos típicos	Ejemplos de aplicación
					mm)
Arte y Decoración	Broca para grabado	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Coeficiente de fricción: <0,15 ± 0,01, Vida útil: >10 ⁴ piezas ±10 ³ piezas	WC6Co, DLC, TiN	Talla de jade, talla de madera (precisión <0,002 mm ± 0,0005 mm)
	Núcleo de matriz de trefilado de joyería	Cilíndrico	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁶ m	WC10Co, DLC	Alambres de oro y plata trefilados (desviación de diámetro <0,001 mm ± 0,0002 mm)
	Núcleo de molde decorativo	Cilíndrico	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² , Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: >10 ⁶ veces	WC10Ni, CrN	Adornos de cerámica prensada, moldes de vidrio (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
militar	Broca para armadura	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500±50, Resistencia al impacto: >200 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴ agujeros	WC8Co, TiB_2 , AlTiN	Blindaje de tanques de perforación, blindaje de acero (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
	Núcleo de molde para formación de balas	Cilíndrico	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: > 150 MPa ± 10 MPa, Precisión: < 0,01 mm ± 0,001 mm, Vida útil: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	WC10Co, TiC , CrN	Proyectiles de artillería suprimidos, ojivas de misiles (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm)
	Brocas de barril	En forma de varilla	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,01 mm ± 0,001 mm, Resistencia a la temperatura: >800 °C ± 10 °C, Vida útil: >10 ⁴ agujeros ± 10 ³ agujeros	WC10Co, AlTiN	Perforación de cañones de armas y cañones de artillería (desviación de apertura <0,02 mm ± 0,005 mm)
	Fresa militar	En forma de varilla	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Resistencia a la temperatura: >900 °C ± 10 °C, Vida útil: >5000 m ± 500 m	WC8Co, AlTiN	Fresado de piezas de vehículos blindados, proyectiles de misiles (Ra<0,8 µm ± 0,01 µm)
	Eje resistente al desgaste	Cilíndrico	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: > 200 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces, Vida útil: > 10 ⁴ horas	WC12Co, TiC	Núcleo del eje del lanzamisiles, bisagra del tanque (tasa de deformación <0,1 % ± 0,01 %)

Tabla de diversos grados y aplicaciones de varillas/columnas/tiras de carburo cementado

Marca	Ingredientes principales	Parámetros de rendimiento	Áreas de aplicación	Uso específico	Ejemplos típicos
YG6	WC6	Dureza: HV 1500 - 1800±50, Tenacidad: K_{1c} 1012 MPa·m¹ /² ± 0,5, Densidad: 14,9 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1800 MPa±50	Corte, carpintería, bambú y productos de madera.	Brocas para carpintería, fresas para madera de bambú, fresas generales	Perforación de madera dura (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm), fresado de bambú (Ra <0,8 µm ± 0,01 µm)
YG8	Wlq	Dureza: HV 1400 - 1700±50, Tenacidad: K_{1c} 1214 MPa·m¹ / ²	Corte, minería,	Brocas para	Perforación de roca (velocidad de perforación > 1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	Ingredientes principales	Parámetros de rendimiento	Áreas de aplicación	Uso específico	Ejemplos típicos
		± 0,5, Densidad: 14,7 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2000 MPa±50	construcción	minería, brocas para hormigón, fresas	m/h ± 0,1 m/h), fresado de acero (vida útil > 5000 m ± 500 m)
YG10	WC10Co	Dureza: HV 1300 - 1600±50, Tenacidad: K_{IC} 1416 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,5 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2200 MPa±50	de moldes , piezas resistentes al desgaste	Núcleo de matriz de trefilado, núcleo de matriz de estampación, buje resistente al desgaste	Alambre de cobre cepillado (desviación de diámetro <0,002 mm ± 0,0005 mm), tuerca estampada (vida útil > 10^6 veces ± 10^5 veces)
YG15	WC15Co	Dureza: HV 1200 - 1500±50, Tenacidad: K_{IC} 1618 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,0 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2400 MPa±50	Fabricación de moldes, piezas de desgaste, minería	Núcleo de matriz de estampación en frío, núcleo de cortador de tuneladora, carcasa resistente al desgaste	Pernos de estampación en frío (fuerza de conformación <500 kN ± 10 kN), perforación de túneles (vida útil > 2 años ± 0,2 años)
YG20	WC20Co	Dureza: HV 1000 - 1300±50, Tenacidad: K_{IC} 1820 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 13,5 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2600 MPa±50	Fabricación de moldes, maquinaria en general	Núcleo de molde de formación de polvo, núcleo de válvula hidráulica	Polvo cerámico prensado (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm), válvulas hidráulicas (tasa de fuga <10^{-6} Pa·m³ /s ± 10^{-7} Pa· m³/s)
YL10.2	WC10Co (grano fino)	Dureza: HV 1600 - 1900±50, Tenacidad: K_{IC} 911 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,5 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >4000 MPa±50	Procesamiento de corte, industria electrónica	Fresa integral, microtaladro para PCB, microherramienta	Perforación de placas de circuito impreso (diámetro del orificio 0,11 mm ± 0,005 mm, vida útil > 10^5 orificios ± 10^4 orificios), fresado de acero para herramientas (Ra < 0,8 μm ± 0,01 μm)
YU12	WC12Co (grano fino)	Dureza: HV 1700 - 2000±50, Tenacidad: K_{IC} 810 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,3 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >4200 MPa±50	Aeroespacial, procesamiento de corte	Brocas y fresas para materiales compuestos	Perforación de fibra de carbono (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm), fresado de aleación de titanio (velocidad de corte > 200 m/min ± 10 m/min)
YN10	WC10Ni	Dureza: HV 1400 - 1700±50, Resistividad: <12 μΩ·cm±0,1 μΩ·cm , Densidad: 14,6 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2000 MPa±50	Electrónica, energía y química	Varilla conductora, núcleo de válvula resistente a la corrosión	Barras de contacto de batería (eficiencia > 99% ± 1%), válvulas de aceite (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas)
YT15	WC6	Dureza: HV 1500 - 1800±50, Tenacidad: K_{IC} 810 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 12,8 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1500 MPa±50	Procesamiento de corte, fabricación de automóviles	Machos de roscar, brocas	Procesamiento de agujeros roscados (desviación de paso <0,005 mm ± 0,001 mm), perforación de cilindros de motores (desviación del diámetro del agujero <0,05 mm ± 0,01 mm)
YT5	WC8	Dureza: HV 1300 - 1600±50, Tenacidad: K_{IC} 1012 MPa·m$^{1/2}$	Corte,	Escariadores,	Escariado de agujeros de apoyo (Ra<0,4 μm ±

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	Ingredientes principales	Parámetros de rendimiento	Áreas de aplicación	Uso específico	Ejemplos típicos
		± 0,5, Densidad: 12,5 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1700 MPa±50	construcción	fresas para piedra	0,01 µm), fresado de granito (vida útil > 5000 m ± 500 m)
K10	WC6Co (ISO)	Dureza: HV 1600 - 1900±50, Tenacidad: K_{1c} 911 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,9 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1800 MPa±50	Corte, industria médica y electrónica.	Taladro dental, microtaladro para PCB, taladro de precisión	Perforación de dientes (velocidad de rotación >10^{5} rpm ±10^{4} rpm), perforación de placas de circuito impreso (desviación de apertura <0,001 mm ±0,0002 mm)
K20	WC8Co (ISO)	Dureza: HV 1400 - 1700±50, Tenacidad: K_{1c} 1214 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,7 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2000 MPa±50	Corte, minería, carpintería.	Brocas para minería, fresas para trabajar la madera	Perforación de minerales (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h), fresado de madera contrachapada (Ra < 0,8 µm ± 0,01 µm)
K30	WC10Co (ISO)	Dureza: HV 1300 - 1600±50, Tenacidad: K_{1c} 1416 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 14,5 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >2200 MPa±50	de moldes , piezas resistentes al desgaste	Núcleo de matriz de extrusión, núcleo de boquilla	Tubo de aluminio extruido (desviación del espesor de pared <0,02 mm ± 0,005 mm), boquilla de chorro de agua a alta presión (desviación del caudal <1 % ± 0,1 %)
P10	WCtIcTaC6	Dureza: HV 1700 - 2000±50, Tenacidad: K_{1c} 79 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 11,5 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1400 MPa±50	Corte, aeroespacial	Fresas de extremo, brocas compuestas	Fresado de alta velocidad de acero endurecido (velocidad de corte > 200 m/min ± 10 m/min), taladrado de aleación de titanio (desviación del diámetro del orificio < 0,05 mm ± 0,01 mm)
P20	WCtIcTaC8	Dureza: HV 1600 - 1900±50, Tenacidad: K_{1c} 810 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 11,8 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1500 MPa±50	Procesamiento de corte, fabricación de automóviles	Herramientas de fresado, brocas	Fresado de cigüeñales (Ra<0,8 µm ± 0,01 µm), perforación de chasis (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
M10	WCTiCNi6Co	Dureza: HV 1500 - 1800±50, Tenacidad: K_{1c} 911 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 12,0 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1600 MPa±50	Electrónica, energía y química	Núcleo de molde de embalaje de chips, broca resistente a la corrosión	Encapsulado de semiconductores (ciclo <1 s ± 0,1 s), perforación de tuberías de agua de mar (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
M20	WCTiCNi8Co	Dureza: HV 1400 - 1700±50, Tenacidad: K_{1c} 1012 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, Densidad: 12,2 g/cm³ ± 0,1, Resistencia a la flexión: >1700 MPa±50	Piezas resistentes al desgaste, construcción naval	Bujes resistentes al desgaste, brocas para casco	Manguitos de bomba (pérdida de masa <0,1 g/h ±0,01 g/h), placas de acero del casco perforadas (desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ±0,01 mm)

Varios tamaños y tablas de aplicación de varillas/columnas/tiras de carburo cementado

forma	Dimensiones	Requisitos de rendimiento	Áreas de aplicación	Uso específico	Ejemplos típicos
En forma	Diámetro: 0,13 mm ±	Dureza: HV 2500 - 3500 ± 50, Precisión: <0,002 mm	Industria	Microtaladro	Perforación de PCB de teléfonos inteligentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

forma	Dimensiones	Requisitos de rendimiento	Áreas de aplicación	Uso específico	Ejemplos típicos
de varilla	0,01 mm, Longitud: 10 - 50 mm ± 0,5 mm	± 0,0005 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁵ agujeros ±10 ⁴ agujeros	electrónica, médica	para PCB, taladro dental, microherramienta	(diámetro del orificio 0,11 mm ± 0,005 mm, desviación < 0,001 mm ± 0,0002 mm), perforación dental (velocidad de rotación > 10 ⁵ rpm ± 10 ⁴ rpm)
En forma de varilla	Diámetro: 3 - 10 mm ± 0,05 mm, Longitud: 50 - 150 mm ± 1 mm	Dureza: HV 2000 - 3000 ± 50, Precisión: <0,005 mm ± 0,001 mm, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴ agujeros ±10 ³ agujeros	Corte, carpintería, bambú y productos de madera.	Brocas de precisión para carpintería, fresas para madera de bambú	Perforación de sustratos de viruta (desviación de apertura <0,002 mm ± 0,0005 mm), fresado de tableros de bambú (Ra <0,8 µm ± 0,01 µm)
En forma de varilla	Diámetro: 10 - 20 mm ± 0,1 mm, Longitud: 100 - 300 mm ± 2 mm	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al impacto: >100 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >5000 m±500 m	Corte, aeroespacial, fabricación de automóviles	Fresa sólida, broca compuesta, herramienta de fresado	Fresado de aleación de aluminio de aviación (velocidad de corte > 200 m/min ± 10 m/min), perforación de fibra de carbono (desviación del diámetro del orificio < 0,05 mm ± 0,01 mm)
En forma de varilla	Diámetro: 20 - 50 mm ± 0,2 mm, Longitud: 200 - 500 mm ± 3 mm	Dureza: HV 1600 - 2200±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴agujeros ±10 ³agujeros	Minería, construcción, fabricación de automóviles	Brocas para minería, brocas para hormigón, brocas para rieles	Perforación de rocas (velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h), perforación de rieles (desviación del diámetro del orificio < 0,05 mm ± 0,01 mm)
Cilíndrico	Diámetro: 15 mm ± 0,05 mm, Longitud: 10 - 100 mm ± 1 mm	Dureza: HV 2000 - 3000±50, Coeficiente de fricción: <0,15±0,01, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁶ m ±10 ⁵ m	Fabricación de moldes, industria electrónica	Núcleo de matriz de trefilado, varilla conductora	Cable de cobre cepillado (desviación de diámetro <0,002 mm ± 0,0005 mm), varilla de contacto de batería (eficiencia > 99 % ± 1 %)
Cilíndrico	Diámetro: 5 - 10 mm ± 0,1 mm, Longitud: 50 - 200 mm ± 2 mm	Dureza: HV 1800 - 2500 ± 50, Resistencia a la presión: > 100 MPa ± 10 MPa, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste < 0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces	Fabricación de moldes, maquinaria en general	Núcleo de matriz de estampación, núcleo de matriz de corte	Tuercas de punzonado (desviación <0,005 mm ± 0,001 mm), alambre de corte (vida útil > 10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces)
Cilíndrico	Diámetro: 10 - 20 mm ± 0,2 mm, Longitud: 100 - 300 mm ± 3 mm	Dureza: HV 1600 - 2200 ± 50, Resistencia a la presión: >150 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la fatiga: >10 ⁶ veces ± 10 ⁵ veces, Vida útil: >10 ⁴ horas ± 10 ³ horas	Piezas resistentes al desgaste, aeroespacial, construcción naval	Manguito resistente al desgaste, núcleo de eje resistente al desgaste, núcleo de válvula resistente a la corrosión	Manguito de bomba (pérdida de masa <0,1 g/h ± 0,01 g/h), núcleo de válvula marina (servicio >5 años ± 0,5 años)
Cilíndrico	Diámetro: 20 - 50 mm ± 0,5 mm, Longitud: 200 - 500 mm ± 5 mm	Dureza: HV 1500 - 2000 ± 50, Resistencia a la presión: > 200 MPa ± 10 MPa, Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,06 mg/cm² ± 0,01	Piezas resistentes al desgaste,	Núcleo de boquilla, núcleo de válvula,	Boquillas de chorro de agua a alta presión (desviación del caudal <1 % ± 0,1 %), válvulas de petróleo (tasa de fuga <10 ⁻⁶ Pa·m³/s ± 10 ⁻⁷

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

forma	Dimensiones	Requisitos de rendimiento	Áreas de aplicación	Uso específico	Ejemplos típicos
		mg/cm² , Vida útil: > 10 ⁴ horas ± 10 ³ horas	industria energética y química, ferrocarril	manguito	Pa·m³/s)
Banda	Ancho: 5 - 20 mm ± 0,2 mm, Grosor: 210 mm ± 0,1 mm, Longitud: 100 - 300 mm ± 3 mm	Dureza: HV 1800 - 2500±50, Resistencia al impacto: >100 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴h ± 10 ³h	Corte, minería, maquinaria en general	Cuchillas de cuchillas, cuchillas de tuneladoras, tiras de desgaste	Corte de placas de acero (vida útil > 5000 m ± 500 m), construcción de túneles (vida útil > 2 años ± 0,2 años)
Banda	Ancho: 20 - 50 mm ± 0,5 mm, Grosor: 10 - 20 mm ± 0,2 mm, Longitud: 200 - 500 mm ± 5 mm	Dureza: HV 1600 - 2200±50, Resistencia al impacto: >150 J±10 J, Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, Vida útil: >10 ⁴h ± 10 ³h	Minería, construcción, maquinaria agrícola	Barras de molienda para preparación de minerales, barras trituradoras, barras de revestimiento resistentes al desgaste	Molienda de minerales (pérdida de masa <0,1 g/h ± 0,01 g/h), trituración de hormigón (vida útil >2 años ± 0,2 años)

Descripción de la tabla

Clasificación morfológica:

Forma de la varilla: sección transversal circular, diámetro 0,150 mm ± 0,010,2 mm, longitud 10 - 500 mm ± 0,53 mm, adecuada para corte y perforación rotatorios, como micro taladro de PCB (diámetro 0,13 mm ± 0,01 mm), fresa (diámetro 10 - 20 mm ± 0,1 mm).

Cilíndrico: sección transversal circular, diámetro 1 - 50 mm ± 0,050,5 mm, longitud 10 - 500 mm ± 15 mm, enfatizando la resistencia a la presión y al desgaste, como el núcleo de la matriz de trefilado (diámetro 15 mm ± 0,05 mm), manguito del eje (diámetro 1050 mm ± 0,20,5 mm).

Tira: sección transversal rectangular o cuadrada, ancho 5 - 50 mm ± 0,20,5 mm, espesor 2 - 20 mm ± 0,10,2 mm, largo 100 - 500 mm ± 35 mm, utilizado para tiras de cuchillas, tiras de revestimiento resistentes al desgaste, como tiras de cuchillas de tuneladoras (ancho 20 - 50 mm ± 0,5 mm).

Dimensiones:

Diámetro/ancho/espesor: cubre desde pequeños (como micro taladros de PCB, 0,13 mm ± 0,01 mm) hasta grandes (como manguitos, 20 - 50 mm ± 0,5 mm), con precisión de acuerdo con ISO 1832 (herramientas de corte), ISO 3369 (medición dimensional).

Longitud: desde corta (10 - 50 mm ± 0,5 mm, micro taladro para PCB) hasta larga (200 - 500 mm ± 35 mm, taladro para minería), admite corte personalizado (tolerancia +2/0 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Requisitos de rendimiento:

Dureza: HV 1500 - 3500 ± 50 (ASTM E384), como microperforación de PCB (HV 2500 - 3500 ± 50).

Precisión: <0,002 mm ± 0,0005 mm (microbroca para PCB) a <0,01 mm ± 0,001 mm (fresa), de acuerdo con la norma ISO 1832.

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste <0,05 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/N·m$ (ASTM G65), como el núcleo de una matriz de trefilado.

Resistencia a la presión/resistencia al impacto: Resistencia a la presión > 100 - 200 MPa ± 10 MPa (ISO 3327), resistencia al impacto > 100 - 150 J ± 10 J (ASTM E23), como bujes, brocas para minería.

Resistencia a la corrosión: Pérdida de masa < 0,06 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 (ISO 9227), por ejemplo, núcleo de válvula.

Vida útil: herramientas de corte >5000 m ± 500 m o $>10^4$ 10^5 agujeros ±10^3 10^4 agujeros, moldes >10^6 veces ±10^5 veces, piezas de desgaste >10^4 horas ±10^3 horas.

Áreas de aplicación y usos específicos:

Industria electrónica: micro taladro para PCB (diámetro 0,13 mm ± 0,01 mm): perforación de placas PCB multicapa, placas HDI, diámetro del orificio 0,11 mm ± 0,005 mm, precisión < 0,002 mm ± 0,0005 mm, vida útil > 10^5 orificios ± 10^4 orificios.

Varilla conductora (diámetro 15 mm ± 0,05 mm), microfresa (diámetro 310 mm ± 0,05 mm).

Corte: fresa (diámetro 10 - 20 mm ± 0,1 mm), broca (diámetro 3 - 50 mm ± 0,05 - 0,2 mm), macho de roscar (diámetro 10 - 20 mm ± 0,1 mm).

de moldes : núcleo de trefilado (diámetro 15 mm ± 0,05 mm), núcleo de estampación (diámetro 5 - 10 mm ± 0,1 mm), núcleo de estampación en frío (diámetro 1020 mm ± 0,2 mm).

Piezas resistentes al desgaste: manguito (diámetro 10 - 50 mm ± 0,20,5 mm), núcleo de boquilla (diámetro 20 - 50 mm ± 0,5 mm), núcleo de anillo de sellado (diámetro 1020 mm ± 0,2 mm).

Otros: Aeroespacial (brocas compuestas, diámetro 10 - 20 mm ± 0,1 mm), minería (cuchillas para perforadoras de carreteras, ancho 20 - 50 mm ± 0,5 mm), médico (brocas dentales, diámetro 0,13 mm ± 0,01 mm).

Ejemplos típicos:

Micro taladro de PCB (diámetro 0,13 mm ± 0,01 mm): perforación de placa base HDI de 5G, desviación del diámetro del orificio <0,001 mm ± 0,0002 mm, rugosidad de la superficie Ra <0,2 μm ± 0,01 μm .

Fresa maciza (diámetro 10 - 20 mm ± 0,1 mm): molde de fresado de acero, velocidad de corte > 200 m/min ± 10 m/min, vida útil > 5000 m ± 500 m.

Núcleo de matriz de trefilado (diámetro 1 - 5 mm ± 0,05 mm): trefilado de hilo de oro, desviación de diámetro < 0,002 mm ± 0,0005 mm, vida útil > 10^6 m ± 10^5 m.

Manguitos resistentes al desgaste (diámetro 10 - 50 mm ± 0,20,5 mm): utilizados para ejes de bombas, pérdida de masa < 0,1 g/h ± 0,01 g/h, vida útil > 5 años ± 0,5 años.

para rozadoras (ancho 20 - 50 mm ± 0,5 mm): Perforación de túneles, vida útil > 2 años ± 0,2 años.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Especificaciones de las varillas perforadas de carburo

tipo	Forma de la sección transversal	Tipo de material	Diámetro/Tamaño Rango (mm)	Rango de longitud (mm)	Número de agujeros	Rango de apertura (mm)	Distancia del orificio (mm)	espiral ángulo	tolerancia	Tratamiento de superficies	Observación
Una sola recta Varilla de agujero	Redondo	WC6Co, WC10Co	2.06.0 ±0.02	30 - 330 ±1,0	1	0,31,5 ±0,01	Agujero central		h6, h7 (ISO 286)	Rectificado, recubrimiento DLC	Para micro taladros, diámetro típico 4 mm, diámetro del orificio 0,8 mm (como perforación de PCB, precisión <0,002 mm ± 0,0005 mm)
		Wlq	6.112.0 ±0.03	50 - 600 ±1,0	1	1.63.0 ±0.02	Agujero central		h6, h8	Rectificado, recubrimiento de TiN	Para perforación de agujeros profundos, diámetro típico 10 mm, diámetro del agujero 2 mm (como el procesamiento de motores de automóviles)
		WCTC	12.125.0 ±0.05	100 - 1000 ±2,0	1	3.16.0 ±0.03	Agujero central		h7, h9	Rectificado, recubrimiento CrN	Para taladrar con pistola, diámetro típico 20 mm, diámetro del orificio 5 mm (por ejemplo, orificios profundos en acero para matrices)
		WC15Co	25.160.0 ±0.1	200 - 1500 ±3,0	1	6.112.0 ±0.05	Agujero central		h8, h10	Pulido, recubrimiento de TiB_2	Para perforaciones pesadas, diámetro típico 50 mm, diámetro del orificio 10 mm (por ejemplo, perforación minera).
Doble recta Varilla de agujero	Redondo	WC6Co, WC8Co	3.08.0 ±0.02	50 - 330 ±1,0	2	0,32,0 ±0,01	0,83,0 ±0,05		h6, h7	Rectificado, recubrimiento de TiN	Para brocas de alta precisión, diámetro típico 6 mm, diámetro del orificio 1 mm, espaciado entre orificios 2 mm (como materiales compuestos de aviación).
		WC10Ni	8.115.0 ±0.03	100 - 600 ±1,0	2	2.14.0 ±0.02	3.16.0 ±0.05		h6, h8	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para el procesamiento de orificios profundos, diámetro típico 12 mm, diámetro del orificio 3 mm, distancia entre orificios 4 mm (como el procesamiento de moldes)
		WCt	15.130.0 ±0.05	150 - 1000 ±2,0	2	4.18.0 ±0.03	6.110.0 ±0.1		h7, h9	Rectificado, recubrimiento CrN	Para fresas con alta eficiencia de enfriamiento, típicamente de 20 mm de diámetro, 6 mm de diámetro de orificio, 8 mm de espaciado de orificio (por ejemplo, piezas de automóviles)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

tipo	Forma de la sección transversal	Tipo de material	Diámetro/Tamaño Rango (mm)	Rango de longitud (mm)	Número de agujeros	Rango de apertura (mm)	Distancia del orificio (mm)	espiral ángulo	tolerancia	Tratamiento de superficies	Observación
		WC20Co	30.180.0 ±0.1	200 - 2000 ±5,0	2	8.115.0 ±0.05	10.120.0 ±0.1		h8, h10	Pulido, recubrimiento de TiC	Para brocas grandes, normalmente de 50 mm de diámetro, 10 mm de diámetro de orificio y 15 mm de espaciado entre orificios (por ejemplo, perforación de petróleo y gas)
Varilla de tres agujeros rectos	Redondo	WC8Co, WC10Co	6.015.0 ±0.03	100 - 600 ±1,0	3	0,53,0 ±0,02	1.55.0 ±0.05		h6, h8	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para taladros de refrigeración multicanal, diámetro típico 12 mm, diámetro del orificio 2 mm, espaciado entre orificios 3 mm (como motores de aeronaves).
		WC12Ni	15.140.0 ±0.05	150 - 1000 ±2,0	3	3.16.0 ±0.03	5.110.0 ±0.1		h7, h9	Rectificado, CrN revestimiento	Para cortes de alta carga, diámetro típico 30 mm, diámetro del orificio 5 mm, distancia entre orificios 8 mm (por ejemplo, construcción naval)
Varilla de cuatro agujeros rectos	Redondo	WC10Co, WCTiC	10.030.0 ±0.05	150 - 1000 ±2,0	4	0,54,0 ±0,02	2.08.0 ±0.1		h7, h9	Rectificado, recubrimiento de TiB_2	Para una eficiencia de enfriamiento ultra alta, diámetro típico de 20 mm, diámetro del orificio de 3 mm, espaciado entre orificios de 5 mm (como maquinaria pesada).
		WC15Co	30.1100.0 ±0.1	200 - 2000 ±5,0	4	4.110.0 ±0.05	8.115.0 ±0.1		h8, h10	Pulido, Recubrimiento de Al_2O_3	Para fresas grandes, normalmente de 60 mm de diámetro, 8 mm de diámetro de orificio y 12 mm de espaciado entre orificios (por ejemplo, equipos de minería)
Varilla con un solo orificio en espiral	Redondo	WC6Co, WC8Co	2.06.0 ±0.02	30 - 330 ±1,0	1	0,31,5 ±0,01	Agujero central	15°45°±1°	h6, h7	Rectificado, recubrimiento DLC	Para taladros de alta velocidad, diámetro típico 4 mm, diámetro del orificio 0,8 mm, espiral de 30° (como perforación de PCB, precisión <0,002 mm ± 0,0005 mm)
		WC10Ni	6.112.0 ±0.03	50 - 600 ±1,0	1	1.63.0 ±0.02	Agujero central	20°45°±1°	h6, h8	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para fresas de agujeros profundos, diámetro típico 10 mm, diámetro del agujero 2 mm, helicoidal 40°

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

tipo	Forma de la sección transversal	Tipo de material	Diámetro/Tamaño Rango (mm)	Rango de longitud (mm)	Número de agujeros	Rango de apertura (mm)	Distancia del orificio (mm)	espiral ángulo	tolerancia	Tratamiento de superficies	Observación
											(por ejemplo, mecanizado de aleación de titanio)
		WCTC	12.125.0 ±0.05	100 - 1000 ±2,0	1	3.16.0 ±0.03	Agujero central	25°45°±1°	h7, h9	Rectificado, recubrimiento CrN	Para brocas de alto rendimiento, diámetro típico 20 mm, diámetro del orificio 5 mm, hélice de 30° (por ejemplo, aeroespacial)
		WC15Co	25.160.0 ±0.1	200 - 1500 ±3,0	1	6.112.0 ±0.05	Agujero central	30°45°±1°	h8, h10	Pulido, recubrimiento de TiB_2	Para cortes pesados, diámetro típico 50 mm, diámetro del orificio 10 mm, espiral de 40° (por ejemplo, perforación minera)
Varilla de orificio helicoidal doble	Redondo	WC6Co, WC8Co	3.08.0 ±0.02	50 - 330 ±1,0	2	0,32,0 ±0,01	0,83,0 ±0,05	15°45°±1°	h6, h7	Rectificado, recubrimiento de TiN	Para fresas de alta velocidad, diámetro típico 6 mm, diámetro del orificio 1 mm, paso del orificio 2 mm, espiral de 30° (como el procesamiento de acero inoxidable).
		WC10Co	8.115.0 ±0.03	100 - 600 ±1,0	2	2.14.0 ±0.02	3.16.0 ±0.05	20°45°±1°	h6, h8	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para taladro de agujeros profundos, diámetro típico 12 mm, diámetro del agujero 3 mm, distancia entre agujeros 4 mm, espiral de 40° (como procesamiento de moldes)
		WC12Ni	15.130.0 ±0.05	150 - 1000 ±2,0	2	4.18.0 ±0.03	6.110.0 ±0.1	25°45°±1°	h7, h9	Rectificado, recubrimiento CrN	Para un corte de alta eficiencia, diámetro típico 20 mm, diámetro del orificio 6 mm, paso del orificio 8 mm, espiral de 30° (como piezas de automóviles)
		WC20Co	30.180.0 ±0.1	200 - 2000 ±5,0	2	8.115.0 ±0.05	10.120.0 ±0.1	30°45°±1°	h8, h10	Pulido, recubrimiento de TiC	Para fresas de alta resistencia, diámetro típico 50 mm, diámetro del orificio 10 mm, paso del orificio 15 mm, helicoidal de 40° (como motores de aeronaves)
Varilla de tres agujeros en espiral	Redondo	WC8Co, WC10Co	6.020.0 ±0.03	100 - 600 ±1,0	3	0,54,0 ±0,02	1.56.0 ±0.05	20°45°±1°	h6, h8	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para fresas de refrigeración multicanal, diámetro típico 15 mm, diámetro de orificio 3 mm, espaciado de orificios 4 mm (como

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

tipo	Forma de la sección transversal	Tipo de material	Diámetro/Tamaño Rango (mm)	Rango de longitud (mm)	Número de agujeros	Rango de apertura (mm)	Distancia del orificio (mm)	espiral ángulo	tolerancia	Tratamiento de superficies	Observación
											materiales compuestos de aviación).
		WCTC	20.150.0 ±0.1	200 - 1500 ±3,0	3	4.110.0 ±0.05	6.112.0 ±0.1	25°45°±1°	h8, h10	Pulido, recubrimiento de TiB_2	Para cortes pesados, diámetro típico 40 mm, diámetro del orificio 8 mm, distancia entre orificios 10 mm (por ejemplo, construcción naval)
Varilla de orificio de forma especial	Círculo/Óvalo	WC10Co, WCNi	5.030.0 ±0.05	100 - 1000 ±2,0	14	0,58,0 ±0,03	1.010.0 ±0.1	0°45°±1°	h7, h9	Rectificado, recubrimiento CrN	Para brocas personalizadas, diámetro típico 20 mm, orificio ovalado 5×3 mm (como procesamiento especial).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Especificaciones de las varillas de carburo sin orificios

Morfología	sección forma	Tipo de material	Rango de diámetro/tamaño (milímetros)	Rango de longitud (milímetros)	tolerancia ISO 286	Tratamiento de superficies	Observación
En forma de varilla	Redondo	WC6Co, WC8Co	0,051,0 ±0,005	550 ±0,3	h5, h6	Rectificado, recubrimiento DLC	Para brocas ultramicro, diámetro típico de 0,1 mm (como brocas micro para PCB, precisión <0,001 mm ± 0,0002 mm)
		WC10Co, WCNi	1.13.0 ±0.01	10 - 100 ±0,5	h6, h7	Rectificado, recubrimiento de TiN	Para taladros dentales, diámetro típico 2 mm (por ejemplo, restauraciones dentales, velocidad de rotación >10^5 rpm ±10^4 rpm)
		WCTC	3.16.0 ±0.02	30 - 150 ±0,5	h6, h7	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para fresas de precisión, diámetro típico 4 mm (por ejemplo, procesamiento de moldes electrónicos)
		WC12Co	6.112.0 ±0.03	50 - 330 ±1,0	h6, h8	Rectificado, recubrimiento CrN	Para fresas sólidas, diámetro típico 10 mm, longitud 330 mm (ISO 1832, aleación de aluminio de aviación)
		WC15Co	12.120.0 ±0.05	100 - 600 ±1,0	h6, h8	Rectificado, recubrimiento de TiB_2	Brocas para materiales compuestos, diámetro típico 16 mm (por ejemplo, perforación de fibra de carbono, desviación del diámetro del orificio <0,05 mm ± 0,01 mm)
		WC20Co	20.150.0 ±0.1	200 - 1500 ±2,0	h7, h9	Esmerilado y pulido	Brocas para minería, diámetro típico 30 mm (por ejemplo, perforación de rocas, velocidad de perforación > 1 m/h ± 0,1 m/h)
		WCt	50.1100.0 ±0.2	500 - 3000 ±5,0	h8, h10	Sinterización, mecanizado en bruto	Para uso en núcleos de corte de rozadoras , diámetro típico 80 mm (por ejemplo, perforación de túneles)
		WC25Co	100.1500.0 ±0.5	1000 - 5000 ±10,0	h9, h11	Sinterización, arenado	Para varillas de molienda para preparación de minerales, diámetro típico 300 mm (como molienda de minerales, pérdida de masa <0,1 g/h ± 0,01 g/h)
	Oval	WC10Co, WCNi	Eje largo 1.020.0 ±0.05, eje corto 0.510.0 ±0.05	50 - 600 ±1,0	h6, h8	Rectificado, recubrimiento CrN	Para núcleos de moldes especiales, tamaño típico 10 × 5 mm (como matrices de trefilado de alambre con forma especial).
	Semicircular	WC8Co, WC12Co	Radio 2.030.0 ±0.05	50 - 1000 ±2,0	h7, h9	Rectificado, recubrimiento de TiC	Para carriles guía resistentes al desgaste, radio típico de 15 mm (por ejemplo, posicionamiento mecánico)
Banda	rectángulo	WC6Co, WC10Co	Ancho 1.010.0 ±0.02, Grosor 0.55.0 ±0.02	10 - 200 ±0,5	h6, h7	Rectificado, recubrimiento DLC	Para piezas en bruto de microherramientas, tamaño típico 5 × 2 mm (como el procesamiento de moldes electrónicos).
		WC15Co	Ancho 10.120.0 ±0.05, Grosor 5.110.0 ±0.05	50 - 400 ±1,0	h6, h8	Rectificado, recubrimiento de TiN	Para hojas para trabajar la madera, tamaño típico 15×8 mm (por ejemplo, corte de madera contrachapada)
		WC20Co	Ancho 20.150.0 ±0.1, Grosor	10 - 0800 ±2.0	h7, h9	Pulido, recubrimiento CrN	Para hojas de perforación, tamaño típico 30×15 mm (por ejemplo, tijeras para metal)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Morfología	sección forma	Tipo de material	Rango de diámetro/tamaño (milímetros)	Rango de longitud (milímetros)	tolerancia ISO 286	Tratamiento de superficies	Observación
			10.120.0 ±0.1				
		WCTC	Ancho 50.1150.0 ±0.2, Grosor 20.150.0 ±0.2	200 - 1500 ±5,0	h8, h10	Sinterización, arenado	Se utiliza para revestimiento de trituradora, tamaño típico 100 × 40 mm (como trituración minera).
	Cuadrado	WC8Co, WC12Co	Longitud lateral 1.010.0 ±0.02	10 - 200 ±0,5	h6, h7	Rectificado, recubrimiento de AlTiN	Para guías de precisión, longitud lateral típica de 5 mm (por ejemplo, equipos electrónicos)
		WC15Co	Longitud lateral 10.130.0 ±0.05	50 - 600 ±1,0	h7, h9	Rectificado, recubrimiento de TiB_2	Para tiras de desgaste, longitud lateral típica de 20 mm (por ejemplo, piezas de desgaste mecánicas)
		WC20Co	Longitud lateral 30,1100,0 ±0,2	100 - 1000 ±2,0	h8, h10	Sinterización, arenado	Para hojas pesadas, normalmente con una longitud de filo de 50 mm (por ejemplo, para trituración en construcción)
	triángulo	WC10Co, WCNi	Longitud lateral 2.020.0 ±0.05	50 - 400 ±1,0	h6, h8	Rectificado, recubrimiento CrN	Para piezas en bruto de herramientas especiales, longitud lateral típica de 10 mm (por ejemplo, grabado decorativo).
	Trapecio	WC8Co, WC12Co	Base superior 2.020.0 ±0.05, base inferior 3.030.0 ±0.05, altura 1.015.0 ±0.05	50 - 600 ±1,0	h7, h9	Rectificado, recubrimiento de TiC	Para insertos resistentes al desgaste, tamaño típico 10×15×8 mm (por ejemplo, transportadores de minería)
De columna	cilindro	WC6Co, WC10Co	0,55,0 ±0,02	5 - 100 ±0,5	h6, h7	Pulido de espejo, revestimiento DLC	Para el núcleo de matriz de trefilado, diámetro típico 3 mm (como trefilado de cobre, desviación <0,002 mm ± 0,0005 mm)
		WC15Co	5.120.0 ±0.05	20 - 200 ±1,0	h6, h8	Pulido, recubrimiento CrN	Para perforar núcleos de matrices, diámetro típico 10 mm (por ejemplo, perforación de tuercas de automóviles)
		WC20Co	20.150.0 ±0.1	50 - 400 ±2,0	h7, h9	Rectificado, recubrimiento de TiC	Para el núcleo de la matriz de extrusión, diámetro típico 30 mm (como la extrusión de tubo de aluminio, desviación del espesor de la pared <0,02 mm ± 0,005 mm)
		WCtC	50.1200.0 ±0.2	100 - 1000 ±5,0	h8, h10	Sinterización, arenado	Para el núcleo de matriz de estampación en frío, diámetro típico 100 mm (por ejemplo, estampación en frío de pernos)
	Columna hexagonal	WC10Co, WCNi	Margen 2.020.0 ±0.05	50 - 400 ±1,0	h6, h8	Rectificado, recubrimiento CrN	Para núcleos hexagonales, distancia típica al borde 10 mm (por ejemplo, moldeado de sujetadores)
		WC15Co	Margen 20.150.0 ±0.1	100 - 800 ±2,0	h7, h9	Pulido, Recubrimiento de Al_2O_3	Para postes guía resistentes al desgaste, distancia al borde típica de 30 mm (como rieles guía mecánicos)
	columna octogonal	WC8Co, WC12Co	Margen 5.030.0 ±0.05	50 - 600 ±1,0	h7, h9	Rectificado, recubrimiento de	Para núcleos de moldes especiales, distancia de borde típica de 20 mm (como moldes decorativos).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Morfología	sección forma	Tipo de material	Rango de diámetro/tamaño (milímetros)	Rango de longitud (milímetros)	tolerancia ISO 286	Tratamiento de superficies	Observación
						TiB_2	
	Columna Estelar	WC10Co, WCNi	Diámetro del círculo circunscrito 5.040.0 ±0.1	50 - 600 ±2,0	h7, h9	Rectificado, recubrimiento CrN	Para piezas de desgaste personalizadas, diámetro típico 20 mm (por ejemplo, procesamiento artístico)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

Introducción de pernos de carburo

Los pernos de carburo son componentes resistentes al desgaste de alto rendimiento, fabricados con carburo de tungsteno y otras aleaciones duras mediante procesos de fabricación de precisión. Están diseñados para entornos industriales de alto desgaste, alto impacto y corrosión. Son conocidos por su altísima dureza, excelente tenacidad y larga vida útil, y se utilizan ampliamente en minería, maquinaria de ingeniería, equipos de construcción, industria energética, puertos y muelles, industria metalúrgica y química, agricultura, silvicultura e ingeniería naval. Ya sea en el cucharón de una excavadora, el martillo de una trituradora o las piezas resistentes al desgaste de una cinta transportadora portuaria, los pernos de carburo pueden mejorar significativamente la durabilidad y la eficiencia operativa de los equipos, además de reducir los costos de mantenimiento.

Este artículo presentará exhaustivamente los componentes clave en este campo industrial desde los aspectos de las propiedades del material, especificaciones básicas, procesos de fabricación, usos y escenarios de aplicación, ventajas, desafíos y soluciones, y desarrollos futuros.

1. Composición del material y características de los pernos prisioneros de carburo cementado

1.1 composición

1.2

La formulación del material de los pernos de carburo está cuidadosamente diseñada para equilibrar la dureza, la tenacidad y la resistencia a la corrosión:

Fase dura: Carburo de tungsteno (WC, 80-95%), que proporciona excelente dureza y resistencia al desgaste. Algunas fórmulas están dopadas con carburo de titanio (TiC , 15%) o carburo de tántalo (TaC , 0,52%) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas o la resistencia a la oxidación.

Fase aglutinante: El cobalto (Co, 515 %) es el aglutinante principal, lo que mejora la tenacidad y la resistencia al impacto. El níquel (Ni, 510 %) se utiliza en fórmulas específicas para mejorar la resistencia a la corrosión y es apto para entornos ácidos o húmedos.

Aditivos: se utilizan trazas de cromo (Cr, 0,11%), vanadio (V, 0,050,5%) o molibdeno (Mo, 0,10,8%) para refinar los granos, inhibir el crecimiento del grano y mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación a alta temperatura.

1.2 Características principales de los pernos prisioneros de carburo

El rendimiento de los pernos prisioneros de carburo se debe a su microestructura optimizada:

Dureza: HRA 86 – 92 (HV 12001700), muy superior al acero con alto contenido de manganeso (HRC 20 – 50) o al hierro fundido con alto contenido de cromo (HRC 50 – 60).

Tenacidad a la fractura: 6,510 MPa·m^1/2, mejor que el carburo cementado ordinario (57 MPa·m^1/2), resistente a la fractura de alto impacto.

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste 0,010,02 mm^3/ N·m (ASTM G65), 1,52 veces menor que la fundición de hierro con alto contenido de cromo.

Resistencia a la compresión: 4000 - 6000 MPa, adecuado para impactos de carga pesada.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Densidad: 13.815.2 g/cm^3, resistencia y peso equilibrados.
Resistencia a la corrosión: Tasa de corrosión <0,07 mm/año a pH 49; las formulaciones o recubrimientos a base de níquel pueden soportar un pH de 210.
Resistencia a la temperatura: 20°C a 800°C, algunas formulaciones pueden soportar 1000°C por un corto tiempo.

1.3 Ventajas de la microestructura de los pernos de carburo cementado

Los pernos generalmente adoptan una estructura de grano fino (0,52 micrones) o de grano ultrafino (0,20,5 micrones), las ventajas incluyen:
Alta dureza: Los granos finos aumentan el área del límite del grano, mejorando la resistencia a la deformación y la resistencia al desgaste.
Excelente tenacidad: el refinamiento del grano dispersa la tensión y reduce la propagación de grietas.
Estabilidad al desgaste: reduce la microdescamación, mantiene la superficie lisa y prolonga la vida útil.

2. Especificaciones básicas de los pernos de carburo
Los pernos de carburo vienen en diversas especificaciones. A continuación, se presentan las especificaciones y parámetros comunes (consulte las normas de la industria y los datos del fabricante):

Geometría del perno prisionero de carburo :
Cilíndrico: El más común, adecuado para incrustaciones o soldadura fuerte.
Cónico: Para escenarios de alta penetración, como herramientas de perforación de roca.
Cabeza hemisférica o plana: Área de contacto mejorada, adecuada para superficies resistentes al desgaste.
Formas personalizadas: trapezoide, polígono, etc. para adaptarse a condiciones de trabajo específicas.

de los pernos de carburo :
Diámetro: 3 - 60 mm (6 - 30 mm común).
Longitud: 5 - 120 mm (10 - 50 mm común).
Tolerancia: ±0,02 mm (mecanizado de alta precisión).

Peso del perno prisionero de carburo :
Cada pieza pesa 0,053 kg y es apta para embutición o fijación mecánica.

Rugosidad de la superficie:
Ra 0,3 - 0,8 μm , reduce la fricción y la adhesión del material.

Grado de dureza:
Norma: HRA 86 – 89 (minería, aplicaciones de construcción).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Alta dureza: HRA 89 – 92 (desgaste extremo, como perforación de rocas).

Fórmula del material:
WCCo (uso general): Contenido de cobalto 6 - 12%, HRA 87 - 91, alta tenacidad.
WCNi (tipo resistente a la corrosión): Contenido de níquel 510%, adecuado para entornos ácidos.
WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 800 a 1000 °C.

Método de instalación:
Soldadura fuerte: Soldadura fuerte de alta temperatura (900-1100°C), resistencia de unión >200 MPa.
Montaje mecánico: prensado en frío o caliente, tiempo de instalación <10 minutos.
Fijación con pernos: para piezas desmontables.

Tratamiento de superficie:
Pulido: Ra 0,20,4 μm , resistente a la fatiga.
Recubrimiento: TiN (HV 20002500), DLC (coeficiente de fricción 0,10,2).

Cumplimiento de normas:
Sistema de gestión de calidad ISO 9001.
ASTM B771 (prueba de desgaste), ISO 3878 (prueba de dureza).

Ejemplos típicos de productos de pernos de carburo :
Pernos para minería: diámetro 10 - 20 mm, longitud 20 - 40 mm, HRA 88 - 90, vida útil 4000 - 8000 horas.
Pernos trituradores: diámetro 20 - 40 mm, longitud 30 - 60 mm, HRA 89 - 92, resistencia a impactos < 100 Hz.
Piezas de desgaste del puerto: diámetro 15 - 30 mm, longitud 15 - 50 mm, HRA 86 - 89, resistente a la corrosión del agua de mar.

3. Proceso de fabricación de pernos de carburo

La fabricación de pernos de carburo se basa en la tecnología de pulvimetalurgia para garantizar el rendimiento y la precisión.

3.1 Preparación de la materia prima

carburo de tungsteno de alta pureza (WC, pureza >99,95%), cobalto (Co, pureza >99,9%) y otros aditivos (como TiC , TaC). Los polvos se mezclan mediante molienda húmeda (con alcohol o agua desionizada, molienda de bolas durante 24-72 horas) con un tamaño promedio de partícula de 0,21 micras. Se añade VC o Cr_3C_2 (0,10,5%) como inhibidor de grano.

3.2 Formación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Prensado isostático en frío (CIP): el polvo se prensa en compactos verdes a 200 - 400 MPa con una densidad del 50 - 60% del valor teórico.
Moldeo de precisión : se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia ±0,1 mm) para formas complejas.
Secado por aspersión: prepara partículas fluidas y mejora la uniformidad de los cuerpos verdes.

3.3 Sinterización

Pre-sinterización: 900 – 1100°C para eliminar aditivos orgánicos.
Prensado isostático en caliente (HIP): 1350 - 1500°C, 100 - 200 MPa, atmósfera de argón, sinterización durante 24 horas, densidad 99,8 - 100%.
Enfriamiento: Enfriamiento gradual (10 – 20°C/min) para evitar grietas por tensión térmica.

3.4 Posprocesamiento

Rectificado de precisión: Procesamiento con muela de diamante, tolerancia ±0,02 mm, rugosidad Ra 0,30,8 μm .
Refuerzo de superficies: arenado, pulido o recubrimiento (TiN , DLC).
Inspección de calidad: ensayo de dureza (HRA/HV), análisis de microestructura (SEM), medición de dimensiones (instrumento de medición 3D), ensayos no destructivos (ultrasonidos).

4. Usos y escenarios de aplicación de los pernos de carburo

Los pernos prisioneros de carburo juegan un papel clave en los siguientes campos y escenarios debido a su excelente resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión:

4.1 Minería y explotación de canteras

Cuchara excavadora: incrustada en los dientes o bordes de la cuchara, resiste el desgaste de minerales duros y rocas, con una vida útil de 3000 - 6000 horas, adecuada para minas a cielo abierto y canteras.
Piezas de desgaste de trituradoras: se utilizan para martillos y revestimientos de trituradoras de mandíbula, cono o impacto, con una tasa de desgaste de <0,012 mm^3/ N·m y un período de mantenimiento de 12 a 24 meses.
Herramientas de perforación y perforación de rocas: utilizadas en perforadoras de roca o tuneladoras, soportan impactos de alta frecuencia y desgaste de rocas duras, y su vida útil es 46 veces mayor que la de las brocas de acero.
Transportador de raspador para minería: protege el lado del raspador o del canal contra el desgaste del mineral y el carbón, adecuado para la minería de carbón de frente largo.

4.2 Maquinaria de construcción e ingeniería

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tubería de camión bomba de hormigón: protege la pared interior de la tubería, resiste la erosión del hormigón, la arena y la grava, tiene una vida útil 35 veces mayor que el acero con alto contenido de manganeso y se utiliza en edificios de gran altura.
Raspadores y cuchillas para pavimentadoras: resisten el desgaste de la mezcla asfáltica y grava, con una vida útil de 4000 – 7000 horas.
Piezas resistentes al desgaste del mezclador: mejoran la resistencia al desgaste de las cuchillas o las paredes internas para hacer frente al desgaste de la arena, la grava y el cemento, adecuado para la producción de hormigón premezclado.
Cuchillas de excavadoras y cargadoras: protegen las cuchillas del desgaste del suelo y la grava, y se utilizan en proyectos de movimiento de tierras.

4.3 Energía y potencia

de desgaste para molinos de carbón : resisten el desgaste del polvo de carbón y altas temperaturas de 500 a 700 °C, con una vida útil de 36 años, utilizadas en centrales eléctricas a carbón.
Tuberías y válvulas de transporte de cenizas: resistentes a la erosión y corrosión de las cenizas volantes, reduciendo los costes de mantenimiento en un 40%.
Protección de cimientos de turbinas eólicas: resiste la erosión del agua de mar y el desgaste de la arena y la grava, y mejora la durabilidad de los cimientos de pilotes de energía eólica marina.

4.4 Puertos, terminales y logística

Piezas resistentes al desgaste para equipos de carga y descarga: se utilizan para cintas transportadoras, cucharas, tolvas o cargadores, pueden soportar el desgaste del carbón, mineral y grano, con una vida útil de 24 años.
Estructura de protección de muelle: empotrada en defensas, placas guía o componentes anticolisión, resistente a la corrosión del agua de mar (pH 68), periodo de mantenimiento 12-18 meses.
Sistema de transporte logístico: mejora la resistencia al desgaste de las cintas transportadoras o rodillos para hacer frente al transporte de material de alta carga.

4.5 Metalurgia e Industria Química

Piezas de desgaste para laminadores: resistentes al desgaste del metal a alta temperatura y al impacto mecánico, con una vida útil tres veces mayor que los materiales tradicionales, utilizadas en laminación en caliente y laminación en frío.
Piezas resistentes al desgaste del horno de fabricación de acero: resisten la erosión por escoria de alta temperatura y acero fundido, adecuadas para hornos de arco eléctrico y convertidores.
Protección de equipos químicos: Resistente a productos químicos corrosivos y al desgaste de partículas, adecuado para entornos de pH 310.

4.6 Agricultura y silvicultura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Piezas de desgaste para maquinaria agrícola: se utilizan en rejas de arados, cuchillas de cosechadoras o sembradoras para proteger el equipo del desgaste del suelo, la arena y la grava.
Protección de equipos forestales: Resiste la abrasión de la madera, la corteza y la arena, adecuado para la tala y el procesamiento.

4.7 Otros fines especiales

Mantenimiento de vías y ferrocarriles: se utiliza en niveladores de balasto o equipos de pulido de vías para resistir el desgaste del balasto y los rieles.
Ingeniería marina: Proteger tuberías submarinas, equipos de dragado o plataformas marinas de la erosión del agua de mar y del desgaste de la arena y la grava.
Industria aeronáutica y militar: se utiliza en máquinas de descongelación de pistas o en piezas resistentes al desgaste de vehículos militares para cumplir con requisitos de alta confiabilidad.

5. Ventajas

Vida útil ultralarga: la vida útil se extiende 36 veces, lo que reduce el tiempo de inactividad y el mantenimiento.
Personalización flexible: varios tamaños, formas y fórmulas para satisfacer necesidades individuales.
Adaptabilidad ambiental: resistente al desgaste, resistente a la corrosión, resistente a altas temperaturas y adaptable a entornos complejos.
Fabricación verde: reducir el consumo de materiales y cumplir con el desarrollo sostenible.

6. Desarrollo futuro

Con su alta dureza (HRA 86 - 92), excelente tenacidad (6,5 - 10 MPa·m^1/2) y vida útil ultralarga (3000 - 12000 horas), los pernos prisioneros de carburo cementado se han convertido en componentes clave resistentes al desgaste en los campos de minería, construcción, energía, puertos y muelles, metalurgia, industria química, agricultura, silvicultura, ferrocarriles, ingeniería marina e industrias de aviación y militar. Sus diversas especificaciones (diámetro 3 - 60 mm, longitud 5 - 120 mm, HRA 86 - 92) y el proceso de metalurgia de polvos de precisión garantizan rendimiento y confiabilidad. En el futuro, la fabricación inteligente (optimización de IA, precisión > 99%), nuevos materiales (recubrimiento de grafeno, coeficiente de fricción 0,05), producción ecológica (tasa de reciclaje 85%) y diseño modular promoverán su aplicación generalizada en la fabricación de alta gama y la industria sostenible, inyectando un nuevo impulso en el funcionamiento eficiente de los equipos y el progreso industrial.

materiales de carburo con geometrías complejas (matrices, boquillas)

Materiales de carburo cementado con formas geométricas complejas: superficies curvas múltiples y estructuras microporosas (tamaño de poro < 0,5 mm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Descripción general de los principios básicos y las tecnologías de los materiales de carburo cementado para geometrías complejas

Carburo cementado de geometría compleja (matrices, boquillas) con múltiples superficies curvas (radio de curvatura > 0,1 mm ± 0,01 mm) y microporos (apertura de 0,1 a 0,5 mm ± 0,01 mm), preparado mediante prensado de precisión (300-500 MPa ± 1 MPa), sinterización (1450 °C ± 10 °C) o fabricación aditiva (SLM, precisión < 0,1 mm ± 0,01 mm). Rugosidad superficial Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm .

El equipo incluye prensas CNC (precisión ±0,01 mm) e impresoras SLM (resolución <0,1 mm ±0,01 mm). Las pruebas abarcan la precisión geométrica (ISO 1832, precisión ±0,01 mm) y la consistencia de la apertura (tomografía computarizada, precisión ±0,001 mm). Por ejemplo, la apertura de la boquilla YG6 es de 0,3 mm ±0,01 mm y el radio de curvatura es de 0,5 mm ±0,01 mm.

Análisis del mecanismo

de materiales de carburo cementado con geometría complejaMúltiple Las superficies curvas (radio de curvatura > 0,1 mm ± 0,01 mm) optimizan la dinámica de fluidos (resistencia < 10 N ± 1 N), y los microporos (0,3 mm ± 0,01 mm) garantizan la precisión de la inyección (desviación < 0,01 mm ± 0,001 mm). Después de la sinterización, el tamaño de grano es de 0,51 μm ± 0,01 μm y la dureza es HV 2000 ± 30. El SEM muestra que la pared del poro es lisa (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm) y no hay grietas (< 1 μm ± 0,1 μm). La tomografía computarizada confirma la consistencia del tamaño de poro (desviación < 0,01 % ± 0,001 %).

Análisis de los factores que afectan el rendimiento de los materiales de carburo cementado con geometrías complejas

Apertura: 0,30,5 mm ± 0,01 mm, alta precisión; <0,1 mm ± 0,01 mm, la tasa de obstrucción aumenta en un 10 % ± 2 %.

Radio de curvatura: >0,1 mm ± 0,01 mm, baja resistencia al fluido; <0,05 mm ± 0,01 mm, resistencia aumentada en un 15 % ± 3 %.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , alta dureza; >2 μm ± 0,01 μm , la dureza cae un 10 % ± 2 %.

Proceso de fabricación: SLM, alto grado de libertad; prensado, desviación de apertura aumentada en 5% ± 1%.

Tratamiento de superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , la pulverización es estable; >0,5 μm±0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 10%±2%.

Por ejemplo, la tasa de obstrucción de la boquilla YG6 (apertura 0,1 mm ± 0,01 mm) aumentó al 15% ± 2%.

La estrategia de optimización

para materiales de carburo cementado con geometrías complejas consiste en lograr un diámetro de agujero de 0,10,5 mm ± 0,01 mm y un radio de curvatura > 0,1 mm ± 0,01 mm. Se recomienda:

Optimización: apertura 0,30,5 mm ± 0,01 mm, radio de curvatura > 0,1 mm ± 0,01 mm.

Optimización de la fabricación: SLM (potencia 300400 W ± 10 W), precisión < 0,1 mm ± 0,01 mm.

Optimización de sinterización: 1450°C±10°C, tamaño de grano 0,51 μm±0,01 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Optimización de la superficie: pulido Ra<0,2 μm±0,01 μm , tasa de desgaste reducida en un 10%±2%.
Especificaciones de prueba: ISO 1832 (geometría), tomografía computarizada (apertura).
Por ejemplo, la precisión de la boquilla YG6 (apertura 0,3 mm ± 0,01 mm) es < 0,01 mm ± 0,001 mm.

10.6.2.3.2 Requisitos de rendimiento: resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,05 mm³/ N·m)

Principios básicos y descripción general de la tecnología de resistencia al desgaste de materiales de carburo cementado de geometría compleja
El carburo cementado de geometría compleja (como moldes y boquillas) requiere resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,05 mm³/N·m ±0,01 mm³/ N·m), dureza HV 1800 - 2200 ± 30 y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ±0,001 mm/año) para hacer frente a cargas elevadas (>100 MPa ±10 MPa) y erosión de fluidos (tasa de flujo >10 m/s ±1 m/s). Tamaño de grano 0,51 μm ± 0,01 μm , contenido de Co 6% 10% ± 1%, a menudo complementado con recubrimiento (TiAlN o Al_2O_3 , espesor 25 μm ± 0,1 μm) o HIP (1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa) para optimizar el rendimiento.
Las pruebas incluyen resistencia al desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm³/ N·m), dureza (ASTM E92, carga 10 kg ±0,1 kg) y corrosión (ASTM G31, precisión ±0,001 mm/año). Por ejemplo, la tasa de desgaste de la boquilla YG6 es de 0,04 mm³/N·m ±0,01 mm³/ N·m y la dureza es HV 2000 ±30.

Mecanismo de resistencia al desgaste y análisis
de materiales de carburo cementado con geometría compleja La estructura de grano fino (0,51 μm ± 0,01 μm) aumenta la dureza HV 2000 ± 30, Co (8 % ± 1 %) proporciona tenacidad K_{1c} 1215 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, el recubrimiento de TiAlN (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05) reduce la tasa de desgaste (0,04 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m). El HIP elimina los poros (porosidad <0,1 % ± 0,01 %) y mejora la resistencia a la corrosión (<0,01 mm/año ± 0,001 mm/año). El SEM muestra que la superficie desgastada es lisa (profundidad de la cicatriz de desgaste <0,01 mm ± 0,001 mm) y no hay descamación (defectos <0,01 mm ± 0,001 mm). La XPS confirma la composición del recubrimiento (Ti 2p~459 eV ± 0,1 eV). Las pruebas de desgaste muestran que el YG6TiAlN supera al YG6 sin recubrimiento (índice de desgaste: 0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m).

Análisis de los factores que afectan la resistencia al desgaste de materiales de carburo cementado con geometría compleja
Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , excelente resistencia al desgaste; >2 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 15 % ± 3 %.
Contenido de Co: 6%10%±1%, buena tenacidad; >12%±1%, la dureza cae un 10%±2%.
Espesor del recubrimiento: 25 μm ± 0,1 μm , la resistencia al desgaste aumenta en un 30 % ± 5 %; > 10 μm ± 0,1 μm , la tasa de pelado aumenta en un 15 % ± 3 %.
Porosidad: <0,1%±0,01%, rendimiento estable; >0,5%±0,01%, la tasa de desgaste aumenta en un 10%±2%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Entorno fluido: neutro (pH 68±0,1), menor corrosión; ácido (pH<3±0,1), la tasa de corrosión aumenta un 20%±3%.
Por ejemplo, la tasa de desgaste de YG6 (sin recubrimiento) aumenta a 0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m .

La estrategia de optimización de la resistencia al desgaste
para materiales de carburo cementado con geometrías complejas consiste en lograr una tasa de desgaste de <0,05 mm³/N·m ±0,01 mm³/ N·m y una dureza de HV 1800-2200 ±30. Se recomienda:
Control de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).
Cooptimización: 6%10%±1%, equilibrando dureza y tenacidad.
Optimización del recubrimiento: TiAlN o Al_2O_3 (25 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 30%±5%.
Optimización HIP: 1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa, porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.
Especificaciones de prueba: ASTM G65 (resistencia a la abrasión), ASTM E92 (dureza).
Por ejemplo, la tasa de desgaste de YG6TiAlN (HIP, 2 μm±0,1 μm) es 0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m .

10.6.2.3.3 Aplicación: Moldes de precisión de carburo de geometría compleja y control de fluidos

Principios básicos y descripción técnica del molde de precisión de carburo cementado de geometría compleja
El carburo cementado de geometría compleja se usa ampliamente en moldes de precisión (vida útil > 10^6 veces ± 10^5 veces) y boquillas de control de fluidos (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas) debido a su resistencia al desgaste (tasa de desgaste < 0,05 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m) y alta precisión (< 0,01 mm ± 0,001 mm). YG6 e YG8 son adecuados para matrices de estampación y boquillas de alta presión (presión > 100 MPa ± 10 MPa).
Las pruebas incluyen la vida útil del molde (ISO 3327, precisión ±10^4 veces), el rendimiento de la boquilla (ISO 1832, precisión ±0,01 mm) y el desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm³/ N·m).
Por ejemplo, la vida útil del molde YG6 es de 1,2 millones de veces ±100 000 veces, y la tasa de desgaste de la boquilla YG8 es de 0,04 mm³/N·m ±0,01 mm³/ N·m .

Mecanismo y análisis de
moldes de precisión de carburo geométricos complejos La alta dureza (HV 2000 ± 30) y la baja porosidad (<0,1 % ± 0,01 %) garantizan la resistencia a la deformación del molde (deformación <0,01 % ± 0,001 %), y la estructura microporosa (0,3 mm ± 0,01 mm) garantiza la precisión de la inyección de la boquilla (desviación <0,01 mm ± 0,001 mm). El recubrimiento (Al_2O_3 , 2 μm ± 0,1 μm) mejora la resistencia a la corrosión (<0,01 mm/año ± 0,001 mm/año). El SEM muestra que la superficie del molde está desgastada de manera uniforme (profundidad <0,01 mm ± 0,001 mm) y la pared del orificio de la boquilla es lisa (Ra <0,2 μm ± 0,01 μm).

Las pruebas de desgaste muestran que la boquilla YG8 es superior a la YG6 (tasa de desgaste 0,05

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

$mm^3/N·m \pm 0,01\ mm^3/ N·m$).

Formas geométricas complejas de moldes de precisión de carburo cementado

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , larga vida útil; >2 μm ± 0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 10 % ± 2 %.

Recubrimiento: Al_2O_3 , excelente resistencia a la corrosión; sin recubrimiento, la tasa de corrosión aumenta en un 20% ± 3 %.

Precisión de apertura: <0,01 mm ± 0,001 mm, chorro estable; >0,05 mm ± 0,01 mm, la desviación aumenta un 15 % ± 3 %.

Presión de trabajo: >100 MPa ± 10 MPa, se requiere alta dureza; <50 MPa ± 10 MPa, se prefiere tenacidad.

Ambiente: Fluido neutro, larga vida; ácido, vida reducida en 15% ± 3%.

Por ejemplo, la vida útil de una boquilla YG6 (sin recubrimiento) se reduce a 8000 horas ± 1000 horas.

Para moldes de precisión de carburo de geometría compleja,

se busca lograr una vida útil del molde de $>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces y una vida útil de la boquilla de $>10^4$ horas $\pm 10^3$ horas. Se recomienda:

Optimización del material: YG8, grano 0,51 μm ± 0,01 μm , Co 8% 10% ± 1%.

Optimización del recubrimiento: Al_2O_3 (25 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 30%±5%.

Optimización de la fabricación: SLM o rectificado de precisión, precisión <0,01 mm ± 0,001 mm.

Optimización HIP: 1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa, porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.

Especificaciones de prueba: ISO 3327 (vida útil de la matriz), ASTM G65 (desgaste).

Aplicación de ingeniería de moldes de precisión de carburo cementado con geometría compleja

Matriz de estampación: YG6 (dureza HV 2000 ± 30), vida útil 1,2 millones de veces ± 100 000 veces.

Boquilla de alta presión: YG8 (tasa de desgaste 0,04 $mm^3/N·m \pm 0,01\ mm^3/ N·m$), vida útil 15.000 horas ±1.000 horas.

Válvula de fluido: YG6 (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm) vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas.

Estas aplicaciones demuestran que las geometrías complejas satisfacen las demandas de precisión.

10.6.2.4 Personalización de carburo cementado con formas geométricas complejas y formas no estándar

geometrías complejas : fabricación aditiva y rectificado de precisión

Principios básicos y descripción general de la tecnología

del carburo cementado con geometría complejaPersonalizado El carburo cementado de forma no estándar se prepara mediante fabricación aditiva (SLM, potencia 300-400 W ± 10 W; inyección

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

de aglutinante, espesor de capa 50-100 μm ± 1 μm) o rectificado de precisión (precisión de la muela <1 μm ± 0,1 μm) para cumplir los requisitos de geometría compleja (grado de libertad > 95 % ± 2 %) y alta precisión (<0,01 mm ± 0,001 mm). Tamaño de grano 0,52 μm ± 0,01 μm , contenido de Co 6 % 12 % ± 1 %.

El equipo incluye una impresora SLM (resolución <0,1 mm ± 0,01 mm) y una rectificadora CNC de cinco ejes (precisión ± 0,001 mm). Las pruebas abarcan la precisión geométrica (ISO 1832, precisión ± 0,01 mm) y la calidad superficial (ISO 4287, precisión ± 0,001 μm).

Por ejemplo, la precisión de la herramienta personalizada YG8 es <0,01 mm ± 0,001 mm y la rugosidad de la superficie Ra es <0,2 μm ± 0,01 μm .

Mecanismo y análisis

de geometría compleja El carburo cementado SLM forma estructuras complejas (radio de curvatura > 0,1 mm ± 0,01 mm) mediante fusión por láser (profundidad del baño de fusión 100 - 200 μm ± 10 μm), y el rectificado de precisión garantiza la suavidad de la superficie (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm). Después de la sinterización, la densidad es > 98% ± 0,1%, y la dureza es HV 1800 ± 30. El SEM muestra que los granos de las piezas SLM son uniformes (0,52 μm ± 0,01 μm) y no hay grietas en la superficie rectificada (< 1 μm ± 0,1 μm). La tomografía computarizada confirma que los defectos internos son < 0,01 mm ± 0,001 mm. Las pruebas de precisión muestran que el SLM es mejor que el prensado tradicional (desviación < 0,1 mm ± 0,01 mm).

Análisis de los factores que afectan a las formas geométricas complejas del carburo cementado

Potencia de impresión: 300 - 400 W ± 10 W, alta densidad; < 200 W ± 10 W, porosidad aumentada en un 10% ± 2%.

Espesor de capa: 50 - 80 μm ± 1 μm , excelente precisión; >100 μm ± 1 μm , la desviación aumenta en un 10 % ± 2 %.

Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , rendimiento equilibrado; >5 μm ± 0,01 μm , la dureza cae un 10 % ± 2 %.

Precisión de rectificado: <1 μm ± 0,1 μm , buena calidad de superficie; >5 μm ± 0,1 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 10 % ± 2 %.

Postratamiento: HIP, la porosidad disminuye en un 10% ± 2%; sin HIP, la tasa de defectos aumenta en un 15% ± 3%.

Por ejemplo, la precisión de YG8 (espesor de capa 120 μm ± 1 μm) se reduce a 0,05 mm ± 0,01 mm.

La estrategia de optimización

para carburo cementado con geometría compleja consiste en lograr una precisión de <0,01 mm ± 0,001 mm y un Ra <0,2 μm ± 0,01 μm . Se recomienda:

Optimización SLM: potencia 300 - 400 W ± 10 W, espesor de capa 50 - 80 μm ± 1 μm .

Optimización del rectificado: precisión <1 μm ± 0,1 μm , velocidad de la muela de rectificado 5000 - 8000 rpm ± 100 rpm.

Control de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Post-tratamiento: HIP (1400°C±10°C, 150 MPa±1 MPa), densidad > 99%±0,1%.
Especificaciones de prueba: ISO 1832 (geometría), ISO 4287 (superficie).
Por ejemplo, la precisión de YG8SLM (HIP) es <0,01 mm ± 0,001 mm y Ra es <0,2 μm ± 0,01 μm .

10.6.2.4.2 La geometría compleja afecta el rendimiento del carburo: precisión geométrica <10 μm , rugosidad de la superficie Ra <0,2 μm

Principios básicos y descripción técnica
del carburo cementado con geometría compleja El carburo cementado personalizado requiere una precisión geométrica <10 μm ± 1 μm , una rugosidad superficial Ra <0,2 μm ± 0,01 μm , una dureza HV de 1600 a 2000 ± 30 y una tenacidad $K_{1}c$ de 1015 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, cumpliendo así los requisitos de la industria aeroespacial (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm) y de los equipos médicos (vida útil >10 ^{4} veces ± 10^{3} veces). Grano de 0,52 μm ± 0,01 μm , Co 6 % 12 % ± 1 %.

Las pruebas incluyen precisión (escaneo 3D, precisión ±0,001 mm), rugosidad superficial (ISO 4287, precisión ±0,001 μm) y rendimiento (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^{3}/ N·m). Por ejemplo, la pieza personalizada YG8 tiene una precisión de 8 μm ±1 μm y un Ra de 0,15 μm ±0,01 μm .

Mecanismo y análisis
La alta precisión (<10 μm ± 1 μm) proviene del moldeo por capa SLM (espesor de capa 50 μm ± 1 μm) y rectificado (precisión <1 μm ± 0,1 μm), el bajo Ra (<0,2 μm ± 0,01 μm) reduce la fricción (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05). Los granos finos (0,52 μm ± 0,01 μm) aseguran una dureza HV 1800 ± 30, y Co (10 % ± 1 %) mejora la tenacidad $K_{1}c$ 12 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5. El SEM muestra que la superficie es lisa (marcas de desgaste <0,01 μm ± 0,001 μm) y no hay microfisuras (<0,01 mm ± 0,001 mm). El escaneo 3D confirma una precisión de 8 μm ± 1 μm , que es mejor que el procesamiento tradicional (20 μm ± 2 μm).

Análisis de factores influyentes
Precisión: <10 μm ± 1 μm , excelente rendimiento; >20 μm ± 2 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 10 % ± 2 %.
Ra: <0,2 μm±0,01 μm , baja fricción; >0,5 μm±0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 15 % ± 3 %.
Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , alta dureza; >5 μm ± 0,01 μm , la dureza cae un 10 % ± 2 %.
Contenido de Co: 6%12%±1%, buena tenacidad; <6%±1%, K_{1} c disminuye en 10%±2%.
Proceso de fabricación: SLM, alta precisión; prensado, aumento de desviación 10% ± 2%.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de YG8 (Ra 0,5 μm±0,01 μm) aumenta a 0,06 mm^{3}/N·m±0,01 mm^{3}/ N·m .

La estrategia de optimización
consiste en lograr una precisión de <10 μm ± 1 μm y un Ra <0,2 μm ± 0,01 μm . Se recomienda lo siguiente:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Optimización SLM: potencia 300 - 400 W ± 10 W, espesor de capa 50 - 80 μm ± 1 μm .
Optimización del rectificado: precisión <1 μm±0,1 μm , Ra<0,2 μm±0,01 μm .
Optimización de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , VC añadido (0,2 % ± 0,01 %).
Cooptimización: 6%12%±1%, rendimiento equilibrado.
Especificaciones de prueba: escaneo 3D (precisión), ISO 4287 (superficie).

Por ejemplo, la precisión de YG8 (SLM, pulido) es de 8 μm ± 1 μm , Ra 0,15 μm ± 0,01 μm .

10.6.2.4.3 Aplicaciones de carburo cementado de geometría compleja: dispositivos aeroespaciales y médicos

Principios básicos y descripción general de la tecnologíaPersonalizado
El carburo cementado es adecuado para la industria aeroespacial (moldes de álabes de turbinas, vida útil >10^5 veces ±10^4 veces) y dispositivos médicos (brocas para huesos, vida útil >10^4 veces ±10^3 veces) debido a su precisión <10 μm ±1 μm y Ra <0,2 μm ±0,01 μm . YG8 e YG10 cumplen con los requisitos de alta confiabilidad (vida útil por fatiga >10^6 veces ±10^5 veces).

Las pruebas incluyen la vida útil (ISO 3327, precisión ±10^4 veces), la precisión (escaneo 3D, precisión ±0,001 mm) y el desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3/ N·m). Por ejemplo, la vida útil de una broca ósea YG8 es de 12 000 ±1000 veces, y la precisión de un molde de aviación es de <10 μm ±1 μm .

Mecanismo y análisis
La alta precisión (<10 μm ± 1 μm) garantiza el ajuste de los moldes de aviación (holgura <0,01 mm ± 0,001 mm) y la baja Ra (0,15 μm ± 0,01 μm) reduce la fricción de los dispositivos médicos (<0,1 N ± 0,01 N). La dureza HV 1800 ± 30 y la tenacidad K_{1c} 12 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5 resisten la vibración de alta frecuencia (>10 Hz ± 1 Hz). El SEM muestra que la superficie de la broca para huesos es lisa (marcas de desgaste <0,01 μm ± 0,001 mm) y el molde no tiene grietas (<0,01 mm ± 0,001 mm).

Las pruebas de desgaste muestran que la tasa de desgaste de YG8 es de 0,05 mm^3/N·m±0,01 mm^3/ N·m , que es mejor que la de YG6 (0,06 mm^3/N·m±0,01 mm^3/ N·m).

Análisis de factores influyentes
Precisión: <10 μm ± 1 μm , larga vida útil; >20 μm ± 2 μm , la tasa de falla aumenta en un 10% ± 2%.
Ra: <0,2 μm±0,01 μm , baja fricción; >0,5 μm±0,01 μm , la tasa de desgaste aumenta en un 15 % ± 3 %.
Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , excelente rendimiento; >5 μm ± 0,01 μm , vida útil reducida en un 10 % ± 2 %.
Carga: Para alta frecuencia (>10 Hz ± 1 Hz), se requiere tenacidad; para baja frecuencia, se prefiere dureza.
Ambiente: Estéril (médico), larga vida útil; corrosivo, vida útil reducida en un 15% ± 3%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Por ejemplo, la vida útil de una broca para huesos YG6 (Ra 0,5 μm ± 0,01 μm) se reduce a 8000 ± 1000 veces.

La estrategia de optimización

para el carburo cementado con geometría compleja consiste en lograr una vida útil de >10^4 veces ±10^3 veces y una precisión de <10 μm ±1 μm . Se recomienda:

Optimización del material: YG8, grano 0,52 μm ± 0,01 μm , Co 8% 12% ± 1%.

Optimización SLM: potencia 300400 W ± 10 W, precisión < 10 μm ± 1 μm .

Optimización de la superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , tasa de desgaste reducida en un 10%±2%.

Optimización HIP: 1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa, porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.

Especificaciones de prueba: ISO 3327 (vida útil), escaneo 3D (precisión).

Aplicaciones de ingeniería de carburo cementado con geometría compleja

Molde de aviación de carburo

YG8 (precisión <10 μm ± 1 μm) vida útil: 120.000 veces ± 10.000 veces.

Broca de carburo para huesos

YG10 (Ra 0,15 μm ± 0,01 μm) vida útil: 12 000 veces ± 1 000 veces.

Piezas de turbina de carburo

YG8 (tasa de desgaste 0,05 $mm^3/N·m$ ±0,01 $mm^3/ N·m$) vida útil > 10^5 veces ± 10^4 veces.

Estas aplicaciones demuestran que las aleaciones personalizadas cumplen requisitos de alta precisión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

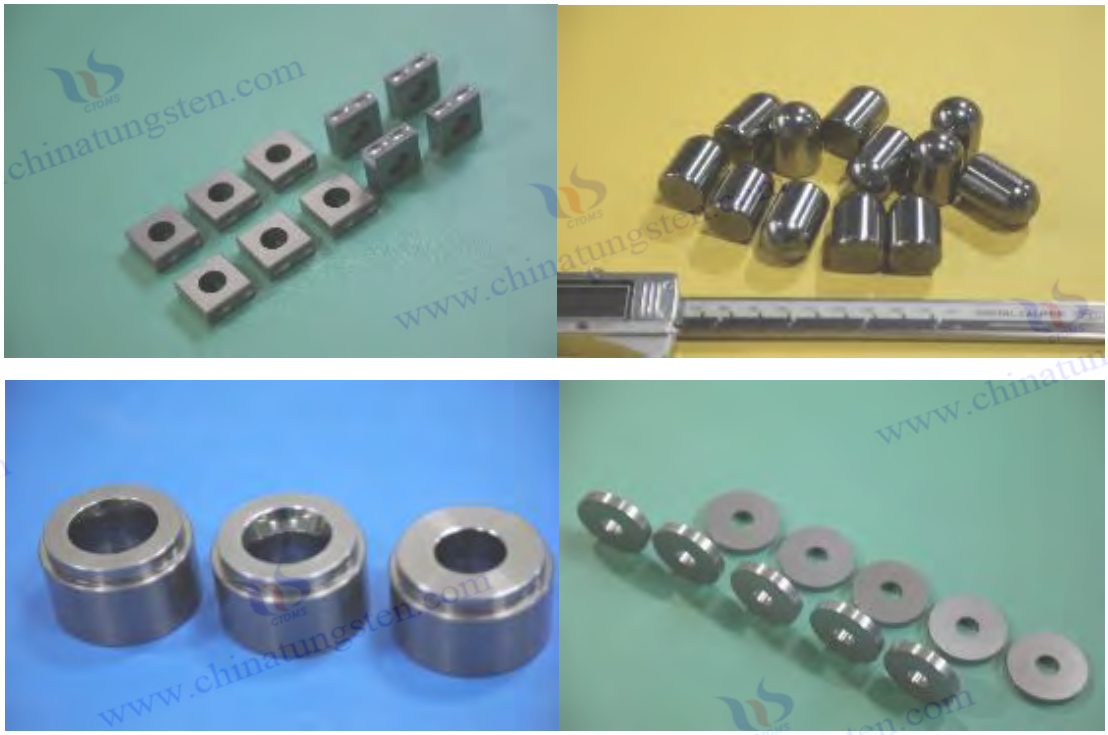
1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tipos de productos de carburo cementado no estándar con geometrías complejas

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
Placa pentagonal de carburo cementado	Placa pentagonal de carburo cementado	Sección transversal pentagonal, longitud de cada lado 5 - 100 ± 0,1 mm, superficie pulida (rugosidad Ra < 0,10,2 μm ± 0,01 μm), con entalla (radio 13 ± 0,1 mm).
Placa de carburo hexagonal	Placa hexagonal de carburo cementado	Sección transversal hexagonal, longitud de cada lado 5 - 80 ± 0,1 mm, espesor 120 ± 0,05 mm, bordes biselados (radio 0,20,5 ± 0,05 mm).
Placa de carburo heptagonal de forma especial	Placa heptagonal de carburo cementado	Sección transversal heptagonal, longitud de cada lado 10 - 60 ± 0,1 mm, superficie lisa, opcionalmente con orificio central (diámetro 210 ± 0,01 mm).
Placa de carburo octogonal	Placa octagonal de carburo cementado	Sección transversal octogonal, longitud de cada lado 5 - 50 ± 0,1 mm, espesor 215 ± 0,05 mm, con bordes curvados (radio 515 ± 0,1 mm).
Varilla pentagonal de carburo cementado	Varilla pentagonal de carburo cementado	Sección transversal pentagonal, longitud de cada lado 220 ± 0,1 mm, longitud 10 - 300 ± 0,5 mm, superficie pulida (rugosidad Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm).
Varillas de carburo hexagonales	Varilla hexagonal de carburo cementado	Sección transversal hexagonal, longitud de cada lado 215±0,1 mm, longitud 20 - 400±0,5 mm, opcional con ranura (ancho de ranura 0,53±0,1 mm).
Varilla de carburo heptagonal	Varilla heptagonal de carburo cementado	Sección transversal heptagonal, longitud de cada lado 312±0,1 mm, longitud 10200±0,5 mm, rectitud <0,05 mm/m±0,01 mm.
Varilla de carburo de forma octogonal	Varilla octogonal de carburo cementado	Sección transversal octogonal, longitud de cada lado 210±0,1 mm, longitud 10250±0,5 mm, con chavetero (radio 12±0,1 mm).
Placa triangular de carburo	Placa triangular de carburo cementado	Sección transversal triangular, longitud de cada lado 10100±0,1 mm, espesor 115±0,05 mm, esquinas redondeables (radio 0,52±0,1 mm).
Placa de carburo con forma cuadrilátera (no rectangular)	Placa cuadrilátera de carburo cementado (no rectangular)	Trapecio irregular (como trapezoide, paralelogramo), longitud lateral 10120±0,1 mm, espesor 220±0,05 mm.
Varilla triangular de carburo	Varilla triangular de carburo cementado	Sección transversal triangular, longitud de cada lado 315 ± 0,1 mm, longitud 20300 ± 0,5 mm, superficie lisa.
Varilla de carburo de forma cuadrilátera (no cuadrada)	Varilla cuadrilátera de carburo cementado (no cuadrada)	Sección transversal trapezoidal irregular, longitud de cada lado 212 ± 0,1 mm, longitud 10 200 ± 0,5 mm.
Placa trapezoidal de carburo	Placa trapezoidal de carburo cementado	La base superior es corta, la base inferior es larga y los lados están inclinados (ángulo 5°30°±1°).
Varilla espiral de carburo	Varilla helicoidal de carburo cementado	Ranura espiral superficial (profundidad de ranura 0,53 ± 0,1 mm, ángulo de hélice 15° 45° ± 1°) o orificio de enfriamiento espiral interno (diámetro del orificio 0,35 ± 0,01 mm).
Varilla escalonada de carburo	Varilla escalonada de carburo cementado	Cambio de diámetro en varias etapas (radio de la sección de transición 0,52 ± 0,1 mm).
Placa curva de carburo	Placa curva de carburo cementado	Superficie esférica, superficie parabólica, superficie de forma libre (radio de curvatura 5100±0,1 mm).
Placa porosa de carburo	Placa perforada de carburo cementado	Poroso (diámetro del orificio 0,510 ± 0,01 mm, orificio pasante o ciego, tolerancia de espaciado entre orificios ± 0,02 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
Piezas geométricas compuestas de carburo cementado	Pieza de geometría compuesta de carburo cementado	Empalme de placas y varillas, estructura de mosaico, canal de refrigeración integrado (diámetro 15±0,1 mm).
Microestructuras de carburo cementado	Pieza microestructurada de carburo cementado	Microranuras (ancho 0,05 ± 0,5 mm), microagujeros (diámetro 0,01 ± 0,1 mm) y microprotuberancias (altura 0,11 ± 0,01 mm).
Piezas tubulares de paredes delgadas de carburo	Tubo de pared delgada de carburo cementado	Espesor de pared 0,22 ± 0,02 mm, con rosca interior/exterior (paso 0,52 ± 0,01 mm) o sección transversal especial.
Placa corrugada de carburo	Placa corrugada de carburo cementado	Superficie ondulada periódica (altura de la cresta de la ola 0,55 ± 0,1 mm, longitud de onda 220 ± 0,1 mm).
Panel de nido de abeja de aleación dura	Placa de panal de carburo cementado	Matriz de orificios en forma de panal hexagonal o circular (diámetro de poro 110 ± 0,1 mm, espesor de pared 0,21 ± 0,05 mm).
Varillas cónicas de carburo	Varilla cónica de carburo cementado	Sección cónica (ángulo del cono 1°20°±0,5°), la cara final puede tener ranuras o agujeros.
Piezas de malla de carburo	Pieza de malla de carburo cementado	Estructura de cuadrícula (apertura de cuadrícula 0,55 ± 0,1 mm, ancho de línea 0,22 ± 0,05 mm).
Piezas esféricas de carburo	Pieza esférica de carburo cementado	Esfera completa o esfera parcial (diámetro 5100±0,1 mm, rugosidad superficial Ra<0,1 μm±0,01 μm).
Piezas huecas de carburo cementado	Pieza hueca de carburo cementado	La cavidad hueca interna (espesor de la pared de la cavidad 0,55 ± 0,1 mm) puede tener forma poligonal o curva.
Piezas de cuchillas de carburo	Pieza con forma de hoja de carburo cementado	Palas de paredes delgadas (espesor 0,33 ± 0,05 mm) con ángulo de torsión (0°60°±1°) o perfil aerodinámico complejo.
Piezas de engranajes de carburo	Pieza con forma de engranaje de carburo cementado	Dientes externos o internos (módulo 0,55±0,05, altura del diente 0,510±0,1 mm), con agujeros de forma especial.
Piezas de cadena de carburo	Pieza de eslabón de cadena de carburo cementado	Eslabones continuos (paso 550 ± 0,1 mm) con orificios o ranuras para bisagras.
Piezas huecas de carburo para tallado	Pieza tallada calada de carburo cementado	Patrón complejo calado (ancho de línea 0,12 ± 0,05 mm).
Anillos de carburo	Pieza de anillo de carburo cementado	Estructura de anillo (diámetro interior 5200 ± 0,1 mm, diámetro exterior 10300 ± 0,1 mm), con dientes o ranuras.
Accesorios de tubería en espiral de carburo	Tubo helicoidal de carburo cementado	Tubular, con patrones espirales en las superficies internas y externas (paso 110 ± 0,1 mm), espesor de pared 0,55 ± 0,05 mm.
Piezas de poliedro de carburo	Pieza poliédrica de carburo cementado	Forma poliédrica (como tetraedro, octaedro), los bordes se pueden biselar (radio 0,11 ± 0,05 mm).
Varilla corrugada de carburo	Varilla ondulada de carburo cementado	Cilíndrico, con ondas onduladas periódicas en la superficie (altura de ola 0,22±0,1 mm, longitud de onda 110±0,1 mm).
Insertos combinados de carburo	Inserto modular de carburo cementado	Varias combinaciones geométricas (como placas poligonales embutidas cilíndricas) con microagujeros o ranuras (apertura 0,12 ± 0,01 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
Anillo de sello estándar de carburo	Anillo de sello estándar de carburo cementado	Forma circular, diámetros interiores y exteriores precisos (diámetro interior 5150±0,05 mm, diámetro exterior 10200±0,05 mm).
Anillo de sellado de carburo de forma especial	Anillo de sello con forma de carburo cementado	Sección transversal ovalada o rectangular, con ranura (ancho de ranura 0,53 ± 0,1 mm) o protuberancia (altura 0,22 ± 0,05 mm).
Anillo de sellado multietapa de carburo	Anillo de sello multietapa de carburo cementado	Estructura anular multicapa, cada capa tiene un espesor de 0,55 ± 0,05 mm, con microagujeros (diámetro de poro 0,11 ± 0,01 mm).
Piezas estriadas de carburo	Pieza estriada de carburo cementado	Cilíndrico, con estrías en la superficie (ancho de llave 110±0,1 mm, número de llave 420±1).
Levas de carburo	Pieza de leva de carburo cementado	Perfil no circular (por ejemplo elipse, círculo excéntrico) con protuberancias (altura 110 ± 0,1 mm) o ranuras (profundidad 0,55 ± 0,1 mm).
Piezas de carburo en forma de botella	Pieza de carburo cementado con forma de botella	Cuello delgado y cuerpo ancho (diámetro del cuello 520±0,1 mm, diámetro del cuerpo 20100±0,1 mm), con cavidad interior o rosca.
Piezas de estrella de carburo	Pieza en forma de estrella de carburo cementado	Sección transversal en forma de estrella (punta 312, radio de la punta 0,52 ± 0,1 mm), longitud 10200 ± 0,5 mm.
Horquilla de carburo	Pieza bifurcada de carburo cementado	Con horquillas (ancho de horquilla 220 ± 0,1 mm, profundidad de horquilla 550 ± 0,1 mm), los extremos pueden tener agujeros o ranuras.
Piezas de domo de carburo	Pieza abovedada de carburo cementado	Parte superior hemisférica o elipsoidal (altura superior 550±0,1 mm, diámetro inferior 10100±0,1 mm).
Serpiente de carburo	Pieza serpentina de carburo cementado	Serpentina curva (radio de curvatura 550 ± 0,1 mm, paso 10100 ± 0,1 mm).
Piezas de molde óptico de carburo	Pieza de molde óptico de carburo cementado	Superficie asférica (radio de curvatura 250±0,05 mm), rugosidad superficial Ra<0,02μm±0,005μm.
Moldes de carburo cementado para implantes médicos	Molde para implantes médicos de carburo cementado	Pared delgada (espesor de pared 0,11±0,01 mm), con microporos (diámetro de poro 0,050,5±0,01 mm).
Molde de chip microfluídico de carburo	Molde de microfluidos para chips de carburo cementado	Matriz de microsurcos (ancho de surco 0,020,2±0,005 mm, profundidad de surco 0,050,5±0,01 mm).
Piezas de boquilla de carburo de alta temperatura	Boquilla de carburo cementado de alta temperatura	Cónico o poroso (tamaño de poro 0,12±0,01 mm), resistencia a la temperatura >1200°C ±10°C.
Pinza robótica flexible de carburo	Garra de agarre flexible de carburo cementado	Forma de garra curvada (espesor de garra 0,53 ± 0,05 mm, radio de curvatura 520 ± 0,1 mm).
Molde para dispositivo acústico de carburo cementado	Molde para dispositivo acústico de carburo cementado	Cavidad compleja (profundidad de cavidad 220±0,1 mm, espesor de pared 0,22±0,05 mm).
Molde de pieza polar de batería de aleación dura	Molde de electrodos de batería de carburo cementado	Placa delgada porosa (diámetro de poro 0,11 ± 0,01 mm, distancia de poro 0,55 ± 0,05 mm).
Piezas en blanco de carburo para impresión 3D	Pieza en blanco para impresión 3D de carburo cementado	Rejilla hueca (ancho de rejilla 0,53 ± 0,1 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
Núcleo de válvula de carburo	Núcleo de válvula de carburo cementado	Esférico o cónico (diámetro 550 ± 0,05 mm) con micro ranuras (ancho de ranura 0,11 ± 0,01 mm).
Revestimiento del cuerpo de la bomba de carburo	Revestimiento de bomba de carburo cementado	Curvado o poroso (tamaño de poro 0,55 ± 0,01 mm), resistente a la corrosión (tasa de corrosión < 0,005 mm/año ± 0,001 mm/año).
Kit de cojinetes de carburo	Manguito de cojinete de carburo cementado	Anular o multisegmento (diámetro interior 10100±0,05 mm, espesor de pared 110±0,05 mm).
sujetadores roscados de carburo	Fijación roscada de carburo cementado	Forma de perno o tuerca (paso 0,53 ± 0,01 mm) con cabeza de forma especial (hexagonal, en forma de estrella).
Remaches de carburo	Remache de carburo cementado	Cilíndrico o cónico (diámetro 220 ± 0,05 mm, longitud 550 ± 0,1 mm).
Accesorios de carburo a presión	Accesorio SnapFit de carburo cementado	Forma de gancho o garra (ancho de gancho 110 ± 0,1 mm, espesor de garra 0,53 ± 0,05 mm).
Accesorios para pasadores de carburo	Pasador de alineación de carburo cementado	Cilíndrico o escalonado (diámetro 220 ± 0,01 mm, longitud 5100 ± 0,5 mm).
Accesorios de calzas de carburo	Accesorio de junta de carburo cementado	Anillo delgado o forma especial (espesor 0,15±0,01 mm, diámetro máximo 10200±0,1 mm).
Accesorios para boquillas de chorro de arena de carburo	Boquilla de chorro de arena de carburo cementado	Cónico o poroso (tamaño de poro 0,25 ± 0,01 mm), resistente al desgaste (vida útil > 1000 horas ± 100 horas).
Piezas de rueda de corte de carburo	Rueda de corte de carburo cementado	Dientes de correa circulares (altura de diente 0,55 ± 0,1 mm, paso de diente 110 ± 0,1 mm).
Piezas de matriz de extrusión de carburo	Matriz de extrusión de carburo cementado	Cavidad con múltiples orificios o con forma especial (tamaño de poro 0,510 ± 0,01 mm).
Accesorios de carcasa de sensor de carburo	Carcasa del sensor de carburo cementado	Perfil hueco (espesor de pared 0,32±0,05 mm) con microporos (diámetro de poro 0,11±0,01 mm).
Molde de carburo para palas de viento	Molde de álabe de turbina eólica de carburo cementado	Forma de hoja curva (espesor 110±0,05 mm, radio de curvatura 10100±0,1 mm).
Accesorios para agujas textiles de carburo	Aguja textil de carburo cementado	Delgado y cónico (diámetro 0,55 ± 0,01 mm, longitud 1050 ± 0,5 mm).
Molde para dispositivo de microondas de carburo cementado	Molde para dispositivo de microondas de carburo cementado	Cavidad compleja (profundidad de cavidad 110±0,1 mm, espesor de pared 0,22±0,05 mm).
Revestimientos de carburo cementado para reactores nucleares	Revestimiento de reactor nuclear de carburo cementado	Superficie porosa o curvada (tamaño de poro 0,55 ± 0,01 mm), resistente a altas temperaturas (>1000 °C ± 10 °C).
Piezas de carburo para boquillas de cohetes	Boquilla de cohete de carburo cementado	Cónico o poroso (tamaño de poro 0,23 ± 0,01 mm), resistente al calor (>1500 °C ± 10 °C).
Matrices de trefilado de	Matriz de trefilado de carburo	Agujeros redondos o de formas especiales (apertura 0,0110±0,005 mm), pared

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
carburo	cementado	interior pulida (rugosidad Ra<0,05 μm±0,01 μm).
Molde de pestaña de batería de nueva energía de aleación dura	Molde de pestaña de batería de carburo cementado	La placa delgada tiene micro ranuras (ancho de ranura 0,050,5 ± 0,01 mm, profundidad de ranura 0,11 ± 0,01 mm).
Molde de diafragma de batería de nueva energía de aleación dura	Molde separador de batería de carburo cementado	Placa multipocillo (tamaño de poro 0,020,2 ± 0,005 mm, distancia de poro 0,11 ± 0,01 mm).
Matriz de perforación de carcasa de batería de nueva energía de aleación dura	Matriz de punzón para carcasa de batería de carburo cementado	Cavidad de forma especial (profundidad de cavidad 220 ± 0,1 mm, espesor de pared 0,22 ± 0,05 mm).
Molde de carburo para hélice de UAV	Molde de carburo cementado para hélice de dron	Hoja curva (espesor 0,55±0,05 mm, radio de curvatura 550±0,1 mm).
Buje de motor UAV de carburo	Manguito de eje de motor de dron de carburo cementado	Anillo de paredes delgadas (diámetro interior 550 ± 0,05 mm, espesor de pared 0,53 ± 0,05 mm).
Fijaciones estructurales de carburo para UAV	Fijación estructural de carburo cementado para drones	Pernos de forma especial (paso 0,52±0,01 mm, diámetro de la cabeza 520±0,1 mm).
Boquilla de matriz de trefilado de carburo	Boquilla de matriz de trefilado de carburo cementado	Cono poroso (tamaño de poro 0,051 ± 0,01 mm), resistente a alta presión (> 50 MPa ± 5 MPa).
Piezas de electrodos de carburo para electroerosión	Electrodo EDM de carburo cementado	Superficie curva compleja (radio de curvatura 220±0,05 mm) con microporos (diámetro de poro 0,10,5±0,01 mm).
Accesorios para cabezales de corte láser de carburo	Componente del cabezal de corte láser de carburo cementado	Cónico o poroso (tamaño de poro 0,12 ± 0,01 mm), resistente a altas temperaturas (>800 °C ± 10 °C).
Molde para obleas semiconductoras de carburo cementado	Molde para obleas semiconductoras de carburo cementado	Matriz de microsurcos (ancho de surco 0,010,1 ± 0,005 mm, profundidad de surco 0,020,2 ± 0,01 mm).
Molde de engranajes de turbina eólica de carburo	Molde de engranajes de turbina eólica de carburo cementado	Forma interna del diente (módulo 110±0,05, altura del diente 220±0,1 mm).
Fijaciones de traviesas de ferrocarril de alta velocidad de aleación dura	Fijación de traviesas de riel de alta velocidad de carburo cementado	Pasador de forma especial (diámetro 520±0,05 mm, longitud 20100±0,5 mm).
Cabezal de corte de carburo para perforación en alta mar	Broca de carburo cementado para perforación offshore	Cónica o poligonal (longitud lateral 530±0,1 mm), resistente a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ±0,002 mm/año).
Accesorios de pastillas de freno de aviación de carburo	Componente de pastilla de freno de aviación de carburo cementado	Superficie porosa (tamaño de poro 0,55 ± 0,01 mm), resistencia a altas temperaturas (> 1000 ° C ± 10 ° C).
Bujes de carburo para hélices de barcos	Manguito de eje de hélice de barco de carburo cementado	En forma de anillo (diámetro interior 20200 ± 0,1 mm, espesor de pared 210 ± 0,05 mm).
Pasador de unión de robot	Pasador de unión robótica de carburo	Cilindro escalonado (diámetro 220 ± 0,01 mm, longitud 1050 ± 0,5 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
de carburo	cementado	
Accesorios para rodillos de impresión de carburo	Componente de rodillo de impresión de carburo cementado	Cilindro con micro ranuras (ancho de ranura 0,050,5±0,01 mm).
Núcleo de válvula de tubería de petróleo de carburo	Núcleo de válvula de oleoducto de carburo cementado	Esférico o cónico (diámetro 1050 ± 0,05 mm) con canal de flujo (ancho de canal 15 ± 0,1 mm).
Molde de doblado en caliente de vidrio de carburo	Molde de doblado en caliente de vidrio de carburo cementado	Superficie curva (radio de curvatura 5100±0,1 mm), resistencia a altas temperaturas (>700 °C ± 10 °C).
Cuchillos quirúrgicos médicos de carburo	Hoja quirúrgica de carburo cementado	Forma de hoja delgada (espesor de hoja 0,10,5 ± 0,01 mm, ángulo de hoja 10°30° ± 1°), superficie pulida (rugosidad Ra < 0,02 μm ± 0,005 μm).
Broca médica de carburo para huesos	Broca ósea de carburo cementado	Espiral delgada (diámetro 0,55±0,01 mm, longitud 1050±0,5 mm) con orificios de refrigeración (diámetro del orificio 0,10,5±0,01 mm).
Pinzas hemostáticas médicas de carburo	Punta de pinza hemostática de carburo cementado	Mandíbulas dentadas (altura de diente 0,10,5 ± 0,01 mm, paso de diente 0,21 ± 0,01 mm).
Herramientas de corte de madera de carburo para agricultura y silvicultura	Hoja de corte de madera de carburo cementado	Hoja curva o trapezoidal (ancho de hoja 550±0,1 mm, espesor de hoja 15±0,05 mm).
Herramientas de tallado de bambú de carburo para agricultura y silvicultura	Herramienta para tallar bambú de carburo cementado	Delgado y cónico (diámetro 0,53±0,01 mm, ángulo de la hoja 5°20°±1°).
Hojas de poda de carburo para ramas agrícolas y forestales	Hoja de carburo cementado para cortar ramas	En forma de media luna (longitud de la hoja 1050±0,1 mm, espesor de la hoja 0,52±0,05 mm).
Troquel de granulación de carburo cementado para piensos de ganadería y pesca	Matriz de peletización de alimentos de carburo cementado	Placa multipocillo (tamaño de poro 0,55 ± 0,01 mm, distancia de poro 110 ± 0,1 mm).
Troquel de carburo para dibujar cuerdas de red de pesca	Troquel de carburo cementado para trefilado de cuerdas de red de pesca	Agujero circular (apertura 0,12 ± 0,005 mm), resistente al desgaste (tasa de desgaste < 0,02 mm3/ N·m ± 0,01 mm3/ N·m).
Cabezal de corte de carburo cementado para labranza del suelo agrícola y forestal	Broca de carburo cementado para labranza del suelo	Cónica o curva (ancho de hoja 530±0,1 mm, espesor de hoja 210±0,05 mm).
Fresas dentales médicas de carburo	Fresa dental de carburo cementado	Microespiral (diámetro 0,22 ± 0,005 mm, longitud 520 ± 0,5 mm).
Cuchillas de carburo para cortar césped	Cuchilla para cortar césped de carburo cementado	Hoja ondulada (altura de ola 15±0,1 mm, longitud de hoja 20100±0,1 mm).
Matrices de rectificado de anzuelo de carburo	Molde de carburo cementado para afilar anzuelos	Cavidad curva (profundidad de cavidad 0,52 ± 0,01 mm, ancho de cavidad 0,21 ± 0,01 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
Molde de aguja de sutura médica de carburo	Molde de aguja de sutura quirúrgica de carburo cementado	Forma de arco delgado (diámetro del arco 0,11 ± 0,005 mm, longitud 520 ± 0,5 mm).
Herramientas de cepillado de madera de carburo para agricultura y silvicultura	Herramienta de cepillado de madera de carburo cementado	Rectangular o trapezoidal (ancho de hoja 550±0,1 mm, espesor de hoja 15±0,05 mm).
Cuchillas de corte de carburo para ganadería, pesca y acuicultura	Hoja de carburo cementado para procesamiento de mariscos	Forma de hoja fina (espesor de hoja 0,21 ± 0,01 mm, longitud de hoja 1050 ± 0,1 mm).
Accesorios de boquillas de carburo para protección de plantas agrícolas y forestales	Boquilla de pulverizador de cultivos de carburo cementado	Cono poroso (diámetro de poro 0,11 ± 0,01 mm), resistente a la corrosión (tasa de corrosión < 0,01 mm/año ± 0,002 mm/año).
Hoja de carburo para endoscopio médico	Hoja de endoscopio de carburo cementado	Microarco (ancho de cuchilla 0,22±0,01 mm, espesor de cuchilla 0,10,5±0,01 mm).
Herramientas de perforación de carburo para agricultura, silvicultura y carpintería	Broca de carburo cementado para carpintería	Forma espiral (diámetro 220 ± 0,05 mm, longitud 20100 ± 0,5 mm).
Cuchillas mezcladoras de carburo para piensos de ganado y pesca	Cuchilla mezcladora de alimentación de carburo cementado	Superficie curva (ancho de la hoja 1050±0,1 mm, espesor de la hoja 25±0,05 mm).
de carburo para agricultura, silvicultura, bambú y tallado de madera	Molde para tallar madera/bambú de carburo cementado	Superficie curva compleja (radio de curvatura 220±0,05 mm) con micro ranuras (ancho de ranura 0,10,5±0,01 mm).
Herramientas de carburo para grabado de joyas	Herramienta de grabado de joyería de carburo cementado	Punta cónica fina (diámetro 0,11 ± 0,005 mm, longitud 520 ± 0,5 mm) para grabado de precisión de piedras preciosas y metales.
Cuchillas de carburo para procesamiento de alimentos	Hoja de carburo cementado para procesamiento de alimentos	Hoja fina dentada (altura de diente 0,21 ± 0,01 mm, longitud de hoja 20100 ± 0,1 mm), utilizada para cortar alimentos congelados o blandos.
Puntas de lanzadera para telar textil de carburo	Punta de lanzadera para telar textil de carburo cementado	Forma de arco delgado (ancho 15 ± 0,05 mm, largo 1030 ± 0,5 mm), resistente al desgaste, utilizado para tejido de alta velocidad.
Brocas de carburo para perforación geológica	Broca de núcleo geológico de carburo cementado	Dientes cónicos (altura del diente 15 ± 0,1 mm, diámetro 1050 ± 0,1 mm) para muestreo de rocas y minerales.
Insertos de protección térmica de carburo para naves espaciales	Inserto de escudo térmico de carburo cementado para naves espaciales	Panel curvo (espesor 110±0,05 mm, radio de curvatura 10100±0,1 mm), resistente a altas temperaturas (>2000°C±10°C).
Cuchillas de carburo para cortar papel	Hoja de corte de papel de carburo cementado	Hoja delgada y recta (espesor de hoja 0,10,5 ± 0,01 mm, longitud 50200 ± 0,1 mm), utilizada para el procesamiento de papel a alta velocidad.
Cuchillo de carburo para	Herramienta para desbastar cuero de	Hoja curva (ancho de hoja 210±0,05 mm, ángulo de hoja 10°30°±1°) para un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
entresacar cuero	carburo cementado	entresacado preciso del cuero.
Disco de corte de carburo para baldosas cerámicas	Disco de corte de carburo cementado para baldosas cerámicas	Redonda con micro dientes (altura de diente 0,21 ± 0,01 mm, diámetro 1050 ± 0,1 mm) para un corte limpio de baldosas.
Punta de carburo para grabado de vidrio	Punta de carburo cementado para grabado de vidrio	Microcono (diámetro 0,050,5±0,005 mm, longitud 515±0,5 mm) para patrones de vidrio complejos.
Rodillo de procesamiento de caucho de carburo	Rodillo de procesamiento de caucho de carburo cementado	Correa cilíndrica con micro ranuras (ancho de ranura 0,10,5 ± 0,01 mm, profundidad de ranura 0,10,5 ± 0,01 mm), utilizada en la fabricación de neumáticos.
Matriz de extrusión de plástico de carburo	Matriz de extrusión de plástico de carburo cementado	Multiporoso (tamaño de poro 0,22 ± 0,01 mm), utilizado para moldeo de plástico de alta precisión.
Brocas de carburo para hielo	Broca de carburo cementado para perforación de hielo	Dientes de correa espiral (altura de diente 15±0,1 mm, diámetro 1050±0,1 mm) para exploración polar.
Molde de grapadora médica de carburo	Molde de grapadora quirúrgica de carburo cementado	Las placas de microranuras (ancho de ranura 0,10,5 ± 0,01 mm, profundidad de ranura 0,10,5 ± 0,01 mm) se utilizan para la producción de grapadoras médicas.
Cuchilla de carburo para pelar frutas	Hoja de carburo cementado para pelar frutas	Cuchilla curva fina (espesor de la hoja 0,10,5 ± 0,01 mm, longitud de la hoja 1050 ± 0,1 mm) para procesamiento automatizado de alimentos.
Punta de broca para sembradora de carburo	Punta de broca para sembradora de semillas de carburo cementado	Cónico (diámetro 210 ± 0,05 mm, longitud 1030 ± 0,5 mm) para agricultura de precisión.
Cuchillas de carburo para cortar alfombras	Hoja de corte de alfombras de carburo cementado	Hoja dentada (altura de diente 0,52 ± 0,05 mm, longitud de hoja 20100 ± 0,1 mm) para un corte limpio de textiles.
Molde de injerto óseo de carburo	Molde de injerto óseo de carburo cementado	Cavidad porosa (diámetro de poro 0,11±0,01 mm, profundidad de cavidad 110±0,1 mm) para implantes ortopédicos.
Herramientas de grabado de microchip de carburo	Herramienta de grabado de microchips de carburo cementado	Punta microcónica (diámetro 0,010,1 ± 0,005 mm, longitud 210 ± 0,5 mm) para la fabricación de semiconductores.
Broca de carburo cementado para muestreo de suelo lunar	Broca de carburo cementado para muestreo de suelo lunar	Los dientes de correa en espiral (altura del diente 15 ± 0,1 mm, diámetro 1050 ± 0,1 mm) se utilizan para la exploración espacial.
Molde de carburo para prótesis articulares	Molde de carburo cementado para prótesis articulares	Superficie curva (radio de curvatura 550±0,05 mm) con microporos (tamaño de poro 0,10,5±0,01 mm) para prótesis médicas.
Herramienta de grabado de carburo para decoración arquitectónica	Herramienta de grabado de carburo cementado para decoración arquitectónica	Cono delgado (diámetro 0,22 ± 0,01 mm, longitud 1030 ± 0,5 mm), utilizado para el procesamiento decorativo de piedra y metal.
Molde de engranaje de reloj de carburo	Molde de engranajes de reloj de carburo cementado	Los microdientes internos (módulo 0,10,5 ± 0,005, altura del diente 0,21 ± 0,01 mm) se utilizan en la fabricación de relojes de alta precisión.
Cuchillas de corte de lengüeta para instrumentos de carburo	Hoja de corte de lengüeta de carburo cementado para instrumentos musicales	Hoja delgada y recta (espesor de hoja 0,10,3 ± 0,01 mm, longitud de hoja 520 ± 0,1 mm), utilizada para el procesamiento de cañas de piano o saxofón.
Manguito de rodamiento de	Manguito de rodamiento de carburo	Anular (diámetro interior 530 ± 0,05 mm, espesor de pared 0,52 ± 0,05 mm),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
carburo para patineta de equipo deportivo	cementado para patineta	resistente al desgaste (tasa de desgaste < 0,02 mm3/ N·m ± 0,01 mm3/ N·m).
Cortadora de maquinaria de embalaje de carburo	Cuchilla de corte para máquina de envasado de carburo cementado	Curvada o dentada (ancho de hoja 550 ± 0,1 mm, espesor de hoja 0,53 ± 0,05 mm), utilizada para cortar películas de plástico.
Herramienta de corte de barras de acero de construcción de carburo	Herramienta de corte de varillas de refuerzo de carburo cementado	Cuchilla trapezoidal (ancho de cuchilla 1050±0,1 mm, espesor de cuchilla 210±0,05 mm), utilizada para el procesamiento de barras de acero.
Molde de carburo para puntero de reloj	Molde de manecilla de reloj de carburo cementado	Forma especial esbelta (ancho 0,11 ± 0,01 mm, largo 520 ± 0,5 mm), utilizada para el moldeado de punteros de precisión.
Clavijas de carburo para cuerdas de instrumentos	Pasador de fijación de cuerdas de carburo cementado para instrumentos musicales	Cilíndrico (diámetro 15±0,01 mm, longitud 520±0,5 mm), para guitarra o violín.
Molde de cabeza de palo de golf de carburo para equipos deportivos	Molde de cabeza de palo de golf de carburo cementado	Superficie curva compleja (radio de curvatura 550±0,05 mm) con micro ranuras (ancho de ranura 0,21±0,01 mm).
Cuchillas de sellado para máquinas envasadoras de carburo	Cuchilla de sellado para máquina envasadora de carburo cementado	Cuchilla recta delgada (espesor de la cuchilla 0,10,5 ± 0,01 mm, longitud de la cuchilla 20100 ± 0,1 mm), utilizada para envases termosellados.
Brocas de carburo para vidrio arquitectónico	Broca de carburo cementado para vidrio arquitectónico	Forma espiral (diámetro 220 ± 0,05 mm, longitud 20100 ± 0,5 mm), utilizada para la instalación de muro cortina de vidrio.
Molde de carburo para resorte de reloj	Molde de resorte de reloj de carburo cementado	Las láminas espirales (espesor 0,10,5 ± 0,01 mm, ancho 15 ± 0,05 mm) se utilizan para formar resortes para relojes mecánicos.
Molde de carburo para boquilla de instrumento musical	Molde de boquilla de carburo cementado para instrumentos musicales	Cavidad cónica (profundidad de cavidad 210 ± 0,1 mm, ancho de cavidad 15 ± 0,05 mm), utilizada para instrumentos de metal.
Molde de piñón de bicicleta de carburo para equipo deportivo	Molde de piñón de bicicleta de carburo cementado	Forma de diente externo (altura de diente 15 ± 0,1 mm, paso de diente 510 ± 0,1 mm), utilizada para la producción de piñones.
Herramienta de corte longitudinal para máquina envasadora de carburo	Herramienta de corte para máquina envasadora de carburo cementado	Cuchilla redonda (diámetro 20100 ± 0,1 mm, espesor de la cuchilla 0,21 ± 0,01 mm), utilizada para cortar bobinas.
Herramientas de ranurado de carburo para piedra de construcción	Herramienta de ranurado de piedra de carburo cementado	Hoja rectangular o curva (ancho de hoja 520±0,1 mm, espesor de hoja 15±0,05 mm), utilizada para el procesamiento de mármol.
Pasador de posicionamiento del movimiento del reloj de carburo	Pasador de alineación del movimiento del reloj de carburo cementado	Cilindros miniatura (diámetro 0,52 ± 0,005 mm, longitud 210 ± 0,5 mm) para montaje de movimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nombre del producto	nombre en inglés	describir
Molde de carburo para cabeza de baqueta de instrumento musical	Molde de carburo cementado para cabeza de baqueta	De forma esférica o elíptica (diámetro 520±0,1 mm, altura 515±0,1 mm), utilizada para la producción de baquetas.
Cuchillas de snowboard de carburo para equipos deportivos	Cuchilla de carburo cementado para cantos de esquí	Hoja fina y recta (espesor de hoja 0,21 ± 0,01 mm, longitud de hoja 50200 ± 0,1 mm), utilizada para el canto de las tablas de snowboard.
Herramienta de perforación para máquina de embalaje de carburo	Herramienta de perforación para máquinas envasadoras de carburo cementado	Placa perforada (tamaño de poro 0,11 ± 0,01 mm, espaciado de poro 0,55 ± 0,05 mm) para embalaje de fácil apertura.
ilustrar	Es posible que falten las dimensiones en la tabla anterior; por ejemplo, "longitud de la hoja 50200±0,1 mm" es en realidad 50 - 200±0,1 mm.	

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.6.3 Efecto de la forma en el rendimiento y el proceso

La forma (morfología de la partícula, geometría del producto terminado) afecta significativamente las propiedades del carburo cementado (fluidez 13,020 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g, dureza HV 1600-2200 ± 30, vida útil > 10 horas ± 1 hora) y el proceso (prensado, sinterización, fabricación aditiva). La morfología de la partícula determina la fluidez (13,020 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g) y la densidad (4,555,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³), y la forma del producto terminado afecta la distribución de la tensión (factor de concentración de tensión < 1,5 ± 0,1) y la adaptación funcional. Optimización mediante modelos teóricos (Kozeny-Carman , FEA) y análisis de casos.

Esta sección comienza con estudios de casos sobre morfología y fluidez de partículas, relación de densidad, forma del producto terminado y distribución de tensión, y optimización de la forma.

10.6.3.1 Relación entre la morfología de partículas, la fluidez y la densidad (modelo de Kozeny-Carman)

Principios básicos y descripción técnica

La morfología de las partículas (esfericidad 95% 60% ± 2%) determina la fluidez (13,020 s/50 g ± 0,1 s/50 g) y la densidad aparente (4,55,1 g/cm³ ± 0,01 g/cm³), que se cuantifican mediante el modelo de Kozeny-Carman (porosidad ε, permeabilidad k). Las partículas esféricas (> 95% ± 2%) tienen una fluidez de 13,014,0 s/50 g ± 0,1 s/50 g y una densidad de 5,0 g/cm³ ± 0,01 g/cm³; Las partículas escamosas (relación de aspecto > 5:1 ± 0,5) tienen una fluidez de > 20 s/50 g ± 0,1 s/50 g y una densidad de < 4,5 g/cm³ ± 0,01 g/cm³.

Las pruebas incluyen fluidez (ASTM B213, precisión ±0,1 s/50 g), densidad (ASTM B212, precisión ±0,01 g/cm³) y morfología (SEM, resolución <0,1 μm ±0,01 μm). Por ejemplo, la fluidez de las partículas esféricas de WC6Co es de 13,5 s/50 g ±0,1 s/50 g y la densidad es de 5,0 g/cm³ ±0,01 g/cm³.

Mecanismo y análisis

El modelo KozenyCarman ($k = \varepsilon^3/[C(1\varepsilon)^2S^2]$, C5±0,5, S es el área superficial específica) muestra que las partículas esféricas (ε0,36±0,01) tienen alta permeabilidad ($k10^{-12}$ m²±10^{-13} m²) y excelente fluidez; las partículas en escamas (ε>0,75±0,02) tienen baja permeabilidad ($k10^{-14}$ m²±10^{-15} m²) y poca fluidez. El SEM muestra que las partículas esféricas tienen menos puntos de contacto (<5 puntos/partícula±1 punto) y las partículas en escamas están severamente enredadas (>50%±5%). La prueba de fluidez muestra que las partículas esféricas son 13,5 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g mejores que las partículas en escamas (22 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g).

Análisis de factores influyentes

Esfericidad: >95%±2%, k aumenta en un 50%±5%; <80%±2%, k disminuye en un 30%±5%.
Tamaño de partícula: 1030 μm±0,01 μm , ε es bajo; >50 μm±0,01 μm , ε aumenta en un 10%±2%.
Rugosidad superficial: Ra<0,2 μm±0,01 μm , la fluidez aumenta un 10%±2%; >0,5 μm±0,01 μm ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

la fluidez disminuye un 15%±3%.
Distribución de partículas: pico único, k es estable; distribución amplia, k disminuye en un 10% ± 2%.
Humedad: >0,5%±0,01%, la fluidez disminuye un 20%±3%.
Por ejemplo, la fluidez de WC6Co (esfericidad 80% ± 2%) cae a 16 s/50 g ± 0,1 s/50 g.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una fluidez de 13,0 ± 16,0 segundos/50 g y una densidad > 4,8 g/cm³ ± 0,01 g/cm³.
Se recomienda:
Optimización de la morfología: esfericidad>90%±2%, utilizando esferoidización de plasma.
Control de tamaño de partícula: 1030 μm ± 0,01 μm , distribución unimodal.
Optimización de la superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , fricción reducida.
Control ambiental: humedad <0,1%±0,01%, evitar aglomeración.
Especificaciones de prueba: ASTM B213 (fluidez), KozenyCarman (permeabilidad).

Por ejemplo, WC6Co (esfericidad 95%±2%) tiene una fluidez de 13,5 s/50 g±0,1 s/50 g y una densidad de 5,0 g/cm³±0,01 g/cm³.

10.6.3.2 Forma y distribución de tensiones de productos terminados de carburo cementado (simulación FEA)

Principios básicos y descripción técnica.
La forma del producto terminado (lámina, varilla, geometría compleja) afecta la distribución de tensiones (factor de concentración de tensiones K_t < 1,5 ± 0,1), que se simula mediante análisis de elementos finitos (FEA, ANSYS, malla < 0,01 mm ± 0,001 mm). Cuchillas de lámina (espesor 3 mm ± 0,01 mm): K_t 1,1 ± 0,05; brocas de varilla (diámetro 10 mm ± 0,01 mm): K_t 1,3 ± 0,05; y boquillas complejas (apertura 0,3 mm ± 0,01 mm): K_t ~ 1,4 ± 0,05.

Las pruebas incluyen distribución de tensiones (FEA, precisión ±1 MPa), resistencia (ISO 3327, precisión ±10 MPa) y fractura (SEM, resolución <0,1 μm ±0,01 μm). Por ejemplo, el FEA de la pala YG8 muestra una tensión máxima de 200 MPa ±10 MPa, y la resistencia medida es de 4200 MPa ±50 MPa.

Mecanismo y análisis
La simulación FEA (módulo de Young 550 GPa ± 10 GPa , coeficiente de Poisson 0,22 ± 0,01) muestra que la tensión de la cuchilla de la lámina es uniforme (desviación <5 % ± 1 %), la tensión axial de la broca de varilla es alta (> 300 MPa ± 10 MPa) y la tensión de la pared del orificio de la boquilla está concentrada (K_t ~ 1,4 ± 0,05). El SEM muestra que la fractura de la cuchilla es suave (hoyuelo <1 μm ± 0,1 μm) y hay microfisuras en la pared del orificio de la boquilla (<0,01 mm ± 0,001 mm). La prueba de resistencia muestra que la cuchilla YG8 es mejor que la boquilla (resistencia 3800 MPa ± 50 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Análisis de factores influyentes

Forma: Escama, K_t bajo ; geometría compleja, K_t aumentado en 20% ± 3%.

Tamaño: Espesor >3 mm ± 0,01 mm, la tensión es uniforme; <1 mm ± 0,01 mm, la tasa de fractura aumenta en un 10 % ± 2 %.

Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , alta resistencia; >5 μm ± 0,01 μm , la resistencia cae un 10 % ± 2 %.

Porosidad: <0,1%±0,01%, K_t es estable; >0,5%±0,01%, K_t aumenta en un 15%±3%.

Carga: Impacto (>1000 N ± 100 N), se requiere K_t bajo ; estático, K_t tolerante .

Por ejemplo, el K_t de la boquilla YG8 (porosidad 0,5%±0,01%) aumentó a 1,6±0,05.

La estrategia de optimización

es lograr K_t < 1,5 ± 0,1, resistencia > 4000 MPa ± 50 MPa y se recomienda:

Optimización de forma: filete de esquina > 0,1 mm ± 0,01 mm, K_t más bajo .

Control de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Optimización HIP: 1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa, porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.

Optimización FEA: cuadrícula <0,01 mm ± 0,001 mm, precisión aumentada en un 10 % ± 2 %.

Especificaciones de prueba: FEA (tensión), ISO 3327 (resistencia).

Por ejemplo, la hoja YG8 (radio de esquina de 0,2 mm ± 0,01 mm) tiene K_t ~ 1,1 ± 0,05 y una resistencia de 4200 MPa ± 50 MPa.

10.6.3.3 Caso práctico de optimización de la forma (aumento de la vida útil de la herramienta en un 30 %)

Principios básicos y descripción general de la tecnología:

Optimización de la forma: Mejore la vida útil de la herramienta en un 30 % ± 5 % (>12 h ± 1 h) ajustando la morfología de las partículas (esfericidad > 95 % ± 2 %) y la geometría del producto terminado (radio del filo < 50 μm ± 1 μm). Ejemplo: La plaquita P10 optimiza el filo (radio 40 μm ± 1 μm) y el polvo (esfericidad 98 % ± 1 %), aumentando la vida útil de 9 h ± 1 h a 12 h ± 1 h.

Las pruebas incluyen vida útil (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 mm^3/ N·m) y morfología (SEM, resolución <0,1 μm ±0,01 μm). Por ejemplo, el inserto P10 optimizado presenta una tasa de desgaste de 0,03 mm^3/N·m ±0,01 mm^3/ N·m y una vida útil de 12 horas ±1 hora.

Mecanismo y análisis:

El polvo esférico (fluidez de 13,5 s/50 g ± 0,1 s/50 g) mejora la densidad (>99 % ± 0,1 %), y el filo fino (40 μm ± 1 μm) reduce la fuerza de corte (<100 N ± 10 N). El análisis por elementos finitos (FEA) muestra que el coeficiente de concentración de tensiones de la cuchilla optimizada es K_t1,1 ± 0,05, un 15 % ± 3 % inferior al original (K_t1,3 ± 0,05). El SEM muestra que la cuchilla optimizada se desgasta uniformemente (profundidad <0,01 mm ± 0,001 mm) y no se produce astillado (<0,01 mm ± 0,001 mm). La prueba de vida útil muestra que el P10 optimizado es mejor

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

que el original (9 horas ± 1 hora).

Análisis de factores influyentes

Esfericidad: >95%±2%, alta densidad; <90%±2%, porosidad aumentada en 10%±2%.

Radio del filo de corte: <50 μm±1 μm , fuerza de corte baja; >100 μm±1 μm , la fuerza de corte aumenta en un 15%±3%.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , excelente resistencia al desgaste; >2 μm ± 0,01 μm , vida útil reducida en un 10 % ± 2 %.

Recubrimiento: TiAlN (2 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 20%±3%; sin recubrimiento, vida útil reducida en un 15%±3%.

Velocidad de corte: >1000 m/min ± 10 m/min, se requiere optimización de la forma; <500 m/min ± 10 m/min, aplicable a formas ordinarias.

Por ejemplo, el P10 original (filo de corte 100 μm ± 1 μm) tiene una vida útil de 9 horas ± 1 hora.

La estrategia de optimización

consiste en lograr un aumento de la vida útil del 30 % ± 5 % y una tasa de desgaste de < 0,03 mm^3/ N·m ± 0,01 mm^3/ N·m . Se recomienda lo siguiente:

Optimización del polvo: esfericidad>95%±2%, tamaño de partícula 1030 μm±0,01 μm .

Optimización del filo de corte: radio <50 μm±1 μm , precisión de rectificado <1 μm±0,1 μm .

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 20%±3%.

Control de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Especificaciones de prueba: ISO 3685 (vida útil), ASTM G99 (abrasión).

Aplicación de ingeniería

Hoja optimizada: P10 (filo de corte 40 μm±1 μm), vida útil 12 horas±1 hora, aumento del 30%±5%.

Mecanizado de aviación: Herramienta YG8 optimizada (tasa de desgaste 0,03 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m) vida útil 13 horas ± 1 hora.

Procesamiento de acero: Precisión P10 optimizada ($K_t \sim 1{,}1 \pm 0{,}05$) < 0,1 mm ± 0,01 mm.

Estos casos muestran que la optimización de la forma puede mejorar significativamente el rendimiento.

10.6.4 Métodos de prueba y caracterización

Las pruebas y caracterización de la forma del carburo (morfología de la partícula, geometría del producto terminado) garantizan un rendimiento consistente (fluidez de 13,020 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g, precisión <10 μm ± 1 μm , tasa de desgaste <0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m). Los métodos incluyen SEM, análisis láser del tamaño de partícula, escaneo 3D, pruebas CT y verificación del rendimiento para cumplir con las normas ISO y ASTM.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Esta sección comienza con la morfología de las partículas, la geometría del producto terminado y la verificación del rendimiento.

10.6.4.1 Morfología de partículas: SEM, análisis del tamaño de partículas por láser (esfericidad > 95%)

Principios básicos y descripción técnica

La morfología de las partículas se caracteriza mediante SEM (resolución <0,1 μm ± 0,01 μm) y análisis del tamaño de partículas por láser (precisión ± 0,01 μm), cuantificando la esfericidad (> 95 % ± 2 %), el tamaño de partícula (1050 μm ± 0,01 μm) y la rugosidad superficial (Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm). El SEM se utiliza para observar la morfología y el analizador de tamaño de partículas por láser se utiliza para medir D50 y la distribución.

El equipo incluye un microscopio electrónico de barrido (SEM) (tensión de aceleración de 520 kV ± 0,1 kV) y un analizador láser de tamaño de partículas (rango de medición de 0,11000 μm ± 0,01 μm). La prueba cumple la norma ISO 13322 (morfología, precisión ± 1 %). Por ejemplo, la esfericidad de las partículas esféricas de WC6Co es del 98 % ± 1 % y D50 ~ 20 μm ± 0,01 μm .

Mecanismo y análisis

El SEM genera imágenes morfológicas a través del escaneo de haz de electrones (corriente del haz <1 nA ± 0,1 nA), distinguiendo bordes y esquinas (<0,1 μm ± 0,01 μm) y defectos superficiales (<0,01 μm ± 0,001 μm). El análisis del tamaño de partícula láser se basa en la dispersión de Mie (longitud de onda 633 nm ± 1 nm) para medir la distribución del tamaño de partícula (desviación <0,1 % ± 0,01 %). El SEM muestra que la superficie de las partículas esféricas es lisa (Ra <0,1 μm ± 0,01 μm), y las partículas irregulares tienen bordes y esquinas obvios (ángulo <90° ± 5°). La prueba de tamaño de partícula láser muestra que D50~20 μm±0,01 μm , con una distribución de pico único (ancho <5 μm±0,1 μm).

Análisis de factores influyentes

Voltaje de aceleración: 10 kV±0,1 kV, alta resolución; >20 kV±0,1 kV, tasa de daño aumentada en un 10 %±2 %.

Cantidad de muestra: 0,1 g ± 0,01 g, distribución precisa; < 0,05 g ± 0,01 g, la desviación aumentó en un 10 % ± 2 %.

Dispersante: etanol, dispersión uniforme; agua, la tasa de aglomeración aumenta en un 10% ± 2%.

Esfericidad: >95%±2%, fácil de medir; <80%±2%, el error aumenta en un 5%±1%.

Rango de tamaño de partícula: 1050 μm ± 0,01 μm , alta precisión; >100 μm ± 0,01 μm , la desviación aumenta en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, la borrosidad de la imagen SEM de WC6Co (voltaje 25 kV ± 0,1 kV) aumentó en un 5 % ± 1 %.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una esfericidad >95 % ± 2 % y una precisión D50 de ± 0,01 μm . Se recomienda

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

lo siguiente:
Optimización SEM: voltaje 1015 kV ± 0,1 kV, resolución < 0,1 μm ± 0,01 μm .
Optimización del tamaño de partícula: muestra 0,10,2 g ± 0,01 g, dispersión de etanol.
Calibración: Partículas estándar (desviación <0,1%±0,01%), precisión aumentada en 5%±1%.
Control ambiental: humedad <0,1%±0,01%, evitar aglomeración.
Especificaciones de prueba: ISO 13322 (morfología), análisis del tamaño de partículas mediante láser.
Por ejemplo, WC6Co (10 kV±0,1 kV) tiene una esfericidad del 98%±1% y un D50 de 20 μm±0,01 μm .

10.6.4.2 Geometría del producto terminado: escaneo 3D e inspección por TC (precisión < 5 μm)

Principios básicos y descripción técnica
La geometría del producto terminado se caracteriza mediante escaneo 3D (precisión <5 μm ± 0,1 μm) e inspección CT (resolución <1 μm ± 0,1 μm), cuantificando el tamaño (<0,01 mm ± 0,001 mm), el tamaño de poro (0,10,5 mm ± 0,01 mm) y los defectos internos (<0,01 mm ± 0,001 mm). El escaneo 3D mide la geometría de la superficie y la CT detecta la estructura interna.

El equipo incluye un escáner 3D (longitud de onda láser de 405 nm ± 1 nm) y un escáner CT (energía de rayos X de 100-200 kV ± 1 kV). La prueba cumple con la norma ISO 1832 (geometría, precisión ± 0,01 mm). Por ejemplo, la precisión del escaneo 3D de la boquilla YG8 es de 4 μm ± 0,1 μm , y la apertura del CT es de 0,3 mm ± 0,01 mm.

Análisis del mecanismo
^{4} puntos/cm^2±10^3 puntos/cm^2) mediante triangulación láser (resolución <5 μm±0,1 μm) y la TC reconstruye la estructura interna (resolución <1 μm±0,1 μm) mediante atenuación de rayos X (coeficiente de absorción ~1 cm^{-1}±0,1 cm^{-1}). El escaneo 3D muestra que el radio de curvatura de la boquilla es de 0,5 mm±0,01 mm, con una desviación de <0,01%±0,001%. La prueba de TC confirma que la porosidad es <0,1%±0,01% y que no hay grietas (<0,01 mm±0,001 mm).

Análisis de factores influyentes
Resolución de escaneo: <5 μm±0,1 μm , alta precisión; >10 μm±0,1 μm , la desviación aumenta en un 10%±2%.
Energía de rayos X: 150 kV ± 1 kV, excelente claridad; <100 kV ± 1 kV, aumento de ruido del 10 % ± 2 %.
Tamaño de la muestra: <50 mm ± 0,1 mm, la TC es altamente eficiente; >100 mm ± 0,1 mm, el tiempo de exploración aumenta un 20 % ± 3 %.
Reflexión de la superficie: baja reflexión (Ra<0,2 μm±0,01 μm), alta precisión; alta reflexión, el error aumenta en un 5%±1%.
Tamaño del defecto: <0,01 mm ± 0,001 mm, medible por TC; >0,1 mm ± 0,01 mm, fácil de detectar.
Por ejemplo, el error de escaneo 3D de YG8 (superficie reflectante) aumenta a 6 μm ± 0,1 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La estrategia de optimización
consiste en lograr una precisión de <5 μm ± 0,1 μm y una detección de defectos de <0,01 mm ± 0,001 mm. Se recomienda:
Optimización del escaneo 3D: resolución <5 μm±0,1 μm , densidad de nube de puntos >10 ⁴ puntos/cm²±10³ puntos/cm².
Optimización de TC: energía 150200 kV±1 kV, resolución <1 μm±0,1 μm .
Tratamiento de superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , reduce la reflexión.
Calibración: Muestra estándar (desviación <0,1%±0,01%), precisión aumentada en 5%±1%.
Especificaciones de prueba: ISO 1832 (geometría), inspección CT (defectos).
Por ejemplo, la boquilla YG8 (150 kV±1 kV) tiene una precisión de 4 μm±0,1 μm y una porosidad de <0,1%±0,01%.

10.6.4.3 Verificación del rendimiento: fluidez (ASTM B213), resistencia a la abrasión (ASTM G65)

del
desempeño incluye fluidez (ASTM B213, 13,020 seg/50 g ± 0,1 seg/50 g), resistencia al desgaste (ASTM G65, tasa de desgaste <0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m) y dureza (ASTM E92, HV 16002200 ± 30) para garantizar que las partículas y los productos terminados cumplan con los requisitos de la aplicación (vida útil > 10 horas ± 1 hora).

El equipo de prueba incluye un medidor de flujo Hall (apertura de 2,5 mm ± 0,01 mm), un comprobador de desgaste (carga de 130 N ± 1 N) y un comprobador de dureza (carga de 10 kg ± 0,1 kg). La prueba cumple con las normas ASTM. Por ejemplo, la fluidez del polvo WC6Co es de 13,5 segundos/50 g ± 0,1 segundos/50 g, y la tasa de desgaste de la cuchilla YG8 es de 0,04 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m .

Análisis del mecanismo
La prueba de fluidez se realizó por flujo de gravedad (tasa de flujo ~3,7 g/s ± 0,1 g/s) para medir la resistencia de las partículas (coeficiente de fricción <0,5 ± 0,05). La prueba de desgaste simuló el desgaste con una muela abrasiva (velocidad 0,1 m/s ± 0,01 m/s) para medir la pérdida de volumen (<0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m). La prueba de dureza se realizó con un penetrador de diamante (ángulo 136° ± 0,5°) para medir la resistencia a la deformación (HV 1800 ± 30). El SEM mostró que la superficie desgastada era lisa (cicatriz de desgaste <0,01 mm ± 0,001 mm).

Las pruebas muestran que YG8 es superior a YG6 (tasa de desgaste 0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m).

Análisis de factores influyentes
Fluidez: Esfericidad > 95 % ± 2 %, 13,5 s/50 g ± 0,1 s/50 g; < 80 % ± 2 %, > 16 s/50 g ± 0,1 s/50 g.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tasa de desgaste: grano <1 μm±0,01 μm , <0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m ; >2 μm±0,01 μm , aumento del 10%±2%.
Dureza: HV>1800±30, excelente resistencia al desgaste; <1600±30, la tasa de desgaste aumenta en un 15%±3%.
Carga: 130 N±1 N, desgaste estándar; >200 N±1 N, la tasa de desgaste aumenta en un 10%±2%.
Entorno: rectificado en seco, baja tasa de desgaste; rectificado húmedo, la tasa de desgaste aumenta en un 10% ± 2%.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de YG6 (tamaño de grano 2 μm ± 0,01 μm) aumenta a 0,05 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m .

La estrategia de optimización
consiste en lograr una fluidez de 13,0 ± 16,0 segundos/50 g y una tasa de desgaste de <0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m . Se recomienda:
Optimización del polvo: esfericidad>95%±2%, tamaño de partícula1030 μm±0,01 μm .
Optimización de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , VC añadido (0,2 % ± 0,01 %).
Optimización de la prueba: carga 130 N ± 1 N, entorno de molienda seco.
Calibración: Muestra estándar (desviación <0,1%±0,01%), precisión aumentada en 5%±1%.
Especificaciones de prueba: ASTM B213 (fluidez), ASTM G65 (abrasión).

Por ejemplo, YG8 (esfericidad 98%±1%) tiene una fluidez de 13,5 s/50g±0,1 s/50g y una tasa de desgaste de 0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m .

10.7 Sistema de calidad y normas de carburo cementado

El sistema y las normas de grado de carburo cementado guían la selección y aplicación de materiales mediante la clasificación y las especificaciones de rendimiento (dureza HV 8002500 ± 30, tenacidad K_{1} c 825 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, resistencia > 4000 MPa ± 50 MPa), cubriendo escenarios de corte (vida útil > 10 horas ± 1 hora), resistencia al desgaste (tasa de desgaste < 0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m) y molde (vida útil > 10^{6} veces ± 10^{5} veces). Las normas internacionales (ISO 513, ASTM, JIS) y las normas chinas (series YG, YT, YW) se coordinan para garantizar la consistencia del rendimiento (desviación < 5 % ± 1 %). Mediante la optimización de la composición (Co 6%15%±1%, WC>80%±1%), el proceso (sinterización 1450°C±10°C) y las pruebas (ASTM E92, G65), satisface las necesidades de procesamiento de acero, hierro fundido y metales no ferrosos.

Esta sección analiza sistemáticamente el sistema de marca y su aplicación desde cuatro aspectos: clasificación ISO 513, marcas chinas, normas ASTM y JIS, y selección y optimización de marca.

10.7.1 Clasificación ISO 513 (P, M, K, N, S, H)

La norma ISO 513 clasifica el carburo cementado en seis categorías: P, M, K, N, S y H, según los materiales de la pieza y las condiciones de procesamiento. Los códigos reflejan la composición (WC,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

TiC , Co, etc.), el rendimiento (dureza HV 1600 ± 30, tenacidad K_{1} c 1020 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y la aplicación (velocidad de corte 500 ± 10 m/min). Cada grado está diseñado para condiciones de trabajo específicas (acero, fundición, aleaciones de alta temperatura, etc.), y la consistencia global se garantiza mediante la estandarización (desviación <2 % ± 0,5 %).

Esta sección comienza con la correspondencia entre los códigos de calificación y el desempeño y el ámbito de aplicación.

10.7.1.1 Correspondencia entre el código de marca y el rendimiento

Principios básicos y descripción técnica.

El código de grado ISO 513 consta de letras (P, M, K, N, S, H) y números (0150). Las letras representan el material de la pieza y los números la tenacidad y la resistencia al desgaste (01 alta resistencia al desgaste, 50 alta tenacidad). Por ejemplo, P10 (procesamiento de acero) tiene una dureza HV de 1900 ± 30, y K20 (procesamiento de fundición) tiene una tenacidad de K_{1} c de 15 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5. Las propiedades se controlan mediante la composición (Co 6 % 12 % ± 1 %, TiC 0 % 20 % ± 1 %) y el tamaño de grano (0,52 μm ± 0,01 μm).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, carga 10 kg ± 0,1 kg), tenacidad (ISO 28079, precisión ± 0,5 MPa·m$^{1/2}$) y desgaste (ASTM G99, precisión ± 0,01 mm^{3}/ N·m). Por ejemplo, dureza P10 HV 1900 ± 30, índice de desgaste 0,03 mm^{3}/ N·m ± 0,01 mm^{3}/ N·m .

Mecanismo y análisisP El tipo (

TiC alto , 10%20%±1%) es adecuado para acero, con dureza HV 18002000±30; el tipo K (WC>90%±1%) es adecuado para hierro fundido, con tenacidad K_{1} c 1218 MPa·m$^{1/2}$±0,5; el tipo M (Co 8%12%±1%) tiene un rendimiento equilibrado y una gran versatilidad; el tipo N (Co bajo, <6%±1%) se utiliza para aleaciones de aluminio, con excelente resistencia al desgaste; el tipo S (TiC+TaC) es resistente a altas temperaturas (>1000°C±10°C); el tipo H (grano ultrafino <0,5 μm±0,01 μm) se utiliza para materiales de alta dureza (HV>1000±50). El SEM muestra que el grano P10 es de 0,51 μm±0,01 μm , y el grano K20 es de 12 μm ± 0,01 μm . EDS confirmó la distribución de TiC P10 (desviación <0,1 % ± 0,02 %).

Las pruebas de rendimiento muestran que la tasa de desgaste de P10 (0,03 mm^{3}/N·m±0,01 mm^{3}/ N·m) es mejor que la de K20 (0,05 mm^{3}/N·m±0,01 mm^{3}/ N·m).

Análisis de factores influyentes

Contenido de Co: 6%12%±1%, la tenacidad aumenta; <6%±1%, la dureza aumenta en 10%±2%.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , excelente resistencia al desgaste; >2 μm ± 0,01 μm , tenacidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

Aditivos: TiC (10%±1%), excelente procesamiento del acero; TaC (5%±1%), rendimiento a alta temperatura aumentado en un 15%±3%.

Recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), la vida útil aumentó en un 30%±5%; sin recubrimiento, la tasa de desgaste aumentó en un 20%±3%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Condiciones de procesamiento: alta velocidad (>1000 m/min ± 10 m/min), P es excelente; baja velocidad, K es aplicable.
El $K_{1}c$ de P30 (Co 12%±1%) aumenta a 18 MPa·$m^{1/2}$±0,5.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una dureza HV de 1600 a 2200 ± 30 y una tenacidad K_{1} c de 1020 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5. Se recomienda:
Optimización de la composición: Co 6%12%±1%, TiC / TaC ajustado según las condiciones de trabajo.
Control de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).
Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 30%±5%.
Optimización de sinterización: 1450°C±10°C, porosidad <0,1%±0,01%.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 28079 (tenacidad).

Por ejemplo, P10 (TiAlN , 0,5 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 1900±30 y una tasa de desgaste de 0,03 mm^3/N·m±0,01 mm^3/ N·m .

10.7.1.2 Rango de aplicación (acero, hierro fundido, metales no ferrosos)

Principios básicos y descripción técnica:
Los grados ISO 513 están optimizados para materiales de pieza específicos. El tipo P (P01P50) procesa acero (velocidad de corte de 1000 a 2000 m/min ± 10 m/min), el tipo K (K01K50) procesa hierro fundido (de 800 a 1500 m/min ± 10 m/min), el tipo N (N01N50) procesa metales no ferrosos (> 2000 m/min ± 10 m/min), el tipo M (M01M50) es de uso general, el tipo S (S01S50) es una aleación de alta temperatura y el tipo H (H01H50) es un material de alta dureza (HV > 1000 ± 50). Vida útil > 10 horas ± 1 hora, precisión < 0,1 mm ± 0,01 mm.

Las pruebas incluyen la vida útil de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), el desgaste (ASTM G99, precisión ±0,01 mm^3/ N·m) y la precisión (ISO 1832, precisión ±0,01 mm). Por ejemplo, la vida útil del acero P10 en el mecanizado de acero es de 12 horas ±1 hora, y la precisión del acero K20 en el mecanizado de fundición es de <0,1 mm ±0,01 mm.

Mecanismo y análisis
El TiC alto de tipo P (10%20%±1%) reduce la adhesión del acero (coeficiente de fricción <0,3±0,05), el WC alto de tipo K (>90%±1%) resiste el desgaste del hierro fundido (tasa de desgaste 0,05 mm^3/N·m±0,01 mm^3/ N·m), el Co bajo de tipo N (<6%±1%) previene la adhesión de la aleación de aluminio y el TaC de tipo S (5%±1%) resiste altas temperaturas (>1000 °C ± 10 °C). El SEM muestra que P10 se desgasta de manera uniforme (profundidad <0,01 mm ± 0,001 mm) y K20 tiene una superficie lisa (Ra <0,2 μm ± 0,01 μm). Las pruebas de corte muestran que la vida útil del acero P10 es de 12 horas ± 1 hora, lo cual es mejor que K20 (10 horas ± 1 hora).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Análisis de factores influyentes

Materiales de la pieza de trabajo: Acero (HV 200400±10), clase P; Hierro fundido (HV 150250±10), clase K.

Velocidad de corte: >1000 m/min ± 10 m/min, P es excelente; <800 m/min ± 10 m/min, K es aplicable.

Recubrimiento: TiAlN , la vida útil aumentó en un 30% ± 5%; sin recubrimiento, la vida útil disminuyó en un 20% ± 3%.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , P excelente; 12 μm ± 0,01 μm , K aplicable.

Refrigerante: A base de aceite, tasa de desgaste reducida en 10% ± 2%; a base de agua, tasa de desgaste aumentada en 10% ± 2%.

Por ejemplo, la vida útil del acero K20 (sin recubrimiento) se reduce a 8 horas ± 1 hora .

La estrategia de optimización

consiste en lograr una vida útil de >10 horas ±1 hora y una precisión de <0,1 mm ±0,01 mm. Recomendado:

Selección de grado: P (acero), K (hierro fundido), N (metal no ferroso).

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 30%±5%.

Optimización de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , ajustado según las condiciones de trabajo.

Optimización del procesamiento: refrigerante a base de aceite, grado de adaptación a la velocidad.

Especificaciones de prueba: ISO 3685 (vida útil), ISO 1832 (precisión).

Aplicación de ingeniería

Procesamiento de acero: P10 (dureza HV 1900±30) vida útil 12 horas ± 1 hora.

Procesamiento de hierro fundido: K20 (precisión <0,1 mm ± 0,01 mm), vida útil 10 horas ± 1 hora.

Procesamiento de aleación de aluminio: N10 (tasa de desgaste 0,02 $mm^3/N·m$ ±0,01 $mm^3/ N·m$) vida útil 15 horas ±1 hora.

Estas aplicaciones demuestran que la clasificación ISO 513 se adapta exactamente a las condiciones de trabajo.

10.7.2 Marcas chinas (series YG, YT, YW)

El sistema de calidad chino incluye las series YG (WCCo), YT (WCTiCCo) y YW (WCTiCTaCCo), con composición (Co 6%15%±1%) y propiedades (dureza HV 14002000±30, tenacidad K_{1} c 1020 $MPa·m^{1/2}$±0,5) optimizadas para corte (velocidad 5001500 m/min ±10 m/min) y resistencia al desgaste (vida útil > 10^4horas ±10^3horas), y coordinadas con ISO 513 (desviación <5%±1%).

Esta sección comienza con la composición y el rendimiento de YG6 y YT15 y su comparación con los grados ISO.

10.7.2.1 Composición y propiedades de YG6 y YT15 (Co 6%15%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Principio básico y descripción técnica.

El YG6 (WC 94 % ± 1 %, Co 6 % ± 1 %) y el YT15 (WC 79 % ± 1 %, TiC 15 % ± 1 %, Co 6 % ± 1 %) son grados típicos chinos. El YG6 tiene una dureza de HV 1500 ± 30 y una tenacidad de $K_{1}c$ 14 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5; el YT15 tiene una dureza de HV 1700 ± 30 y una excelente resistencia al desgaste (índice de desgaste 0,03 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m). Tamaño de grano 0,52 μm ± 0,01 μm , sinterizado a 1450 °C ± 10 °C.

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, carga 10 kg ± 0,1 kg), tenacidad (ISO 28079, precisión ± 0,5 MPa·m$^{1/2}$) y desgaste (ASTM G65, precisión ± 0,01 mm^3/ N·m). Por ejemplo, la tenacidad YG6 es K_{1} c 14 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, y la tasa de desgaste YT15 es 0,03 mm^3/ N·m ± 0,01 mm^3/ N·m .

Mecanismo y análisisYG6

con alto contenido de agua (94 % ± 1 %) proporciona tenacidad ($K_{1}c$ 14 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5), adecuada para el procesamiento de hierro fundido (velocidad 800 1200 m/min ± 10 m/min); YT15 con alto contenido de TiC (15 % ± 1 %) mejora la dureza (HV 1700 ± 30), adecuada para acero (velocidad 1000 1500 m/min ± 10 m/min). El SEM muestra que el tamaño de grano de YG6 es de 12 μm ± 0,01 μm y el tamaño de grano de YT15 es de 0,51 μm ± 0,01 μm . El EDS confirma que el TiC de YT15 es uniforme (desviación <0,1 % ± 0,02 %). Las pruebas de desgaste muestran que YT15 es mejor que YG6 (tasa de desgaste 0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m).

Análisis de factores influyentes

Contenido de Co: 6% ± 1 % (YG6), alta tenacidad; 10 % ± 1 %, tenacidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

de TiC : 15% ± 1 % (YT15), alta dureza; 0 % (YG6), dureza reducida en un 15 % ± 3 %.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm (YT15), excelente resistencia al desgaste; >2 μm ± 0,01 μm , tenacidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, rendimiento equilibrado; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 10 % ± 2 %.

Recubrimiento: TiAlN (2 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 30%±5%.

Por ejemplo, la tenacidad de YG6 (Co 10%±1%) aumenta a 16 MPa·m$^{1/2}$±0,5.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una dureza HV de 1400 ± 2000 y una tenacidad K_{1} c de 1020 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5. Se recomienda:

Optimización de la composición: YG6 (Co 6%8%±1%), YT15 (TiC 10%15%±1%).

Control de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 30%±5%.

Optimización HIP: 1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa, porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.

Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ASTM G65 (abrasión).

Por ejemplo, YT15 (TiAlN , 0,5 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 1700±30 y una tasa de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

desgaste de 0,03 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m .

10.7.2.2 Comparación con los grados ISO

Principios básicos y descripción técnica.

Los grados chinos corresponden a la norma ISO 513: YG6≈K20, YT15≈P15, desviación del rendimiento <5 % ± 1 %. YG6 (Co 6 % ± 1 %) tenacidad $K_{ıc}$ 14 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, K20 (Co 6 % 8 % ± 1 %) $K_{ıc}$ 15 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5; YT15 (TiC 15 % ± 1 %) dureza HV 1700 ± 30, P15 (TiC 10 % 15 % ± 1 %) HV 1800 ± 30. La coordinación se logra mediante la composición y la estandarización de pruebas.

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, precisión ±30 HV), tenacidad (ISO 28079, precisión ±0,5 MPa·m$^{1/2}$) y rendimiento de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm). Por ejemplo, la vida útil de mecanizado de la fundición YG6 y K20 es de 10 horas ±1 hora, con una desviación de <3 % ±1 %.

Mecanismo y análisis

YG6 y K20 alto WC (>90% ± 1%) garantizan la estabilidad del mecanizado de hierro fundido (tasa de desgaste 0,05 mm³ / N·m ± 0,01 mm³ / N·m), YT15 y P15 alto TiC (10% 15% ± 1%) son adecuados para acero (coeficiente de fricción <0,3 ± 0,05). SEM muestra que los granos de YG6 y K20 son 12 μm ± 0,01 μm , y los granos de YT15 y P15 son 0,51 μm ± 0,01 μm . XRD confirma que la fase WC (2θ 35,6 ° ± 0,1°) y la fase TiC (2θ 36,8 ° ± 0,1°) son consistentes. Las pruebas de corte muestran que la vida útil del acero YT15 es de 12 horas ± 1 hora y la vida útil del P15 es de 12,5 horas ± 1 hora.

Análisis de factores influyentes

Desviación de composición: Co±1%, desviación de rendimiento <5%±1%; >±2%, aumento de desviación 10%±2%.

Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , rendimiento constante; >5 μm ± 0,01 μm , la desviación aumenta en un 10 % ± 2 %.

Recubrimiento: TiAlN es consistente, la vida útil aumenta en un 30% ± 5%; con diferentes recubrimientos, la desviación aumenta en un 10% ± 2%.

Condiciones de procesamiento: velocidad 1000 m/min ± 10 m/min, YT15 ≈ P15; <500 m/min ± 10 m/min, YG6 excelente.

Norma de prueba: ASTM vs ISO, desviación <2% ± 0,5%.

Por ejemplo, la dureza de YT15 (TiC 20%±1%) aumenta a HV 1800±30, que está cerca de P10.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una desviación del rendimiento <5 % ± 1 % y una vida útil >10 horas ± 1 hora.

Recomendado:

Coordinación de composición: YG6 (Co 6%8%±1%), YT15 (TiC 10%15%±1%).

Optimización de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , VC añadido (0,2 % ± 0,01 %).

Recubrimiento uniforme: TiAlN (25 μm ± 0,1 μm), rendimiento constante.

Estandarización de pruebas: ASTM E92, ISO 3685, desviación <2% ± 0,5%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Optimización del proceso: sinterización a 1450°C±10°C, porosidad <0,1%±0,01%.
Por ejemplo, la tenacidad de YG6 (proceso K20) $K_{1}c$ es 14,5 MPa·m$^{1/2}$±0,5, con una desviación de <3%±1%.

10.7.3 Normas ASTM y JIS

Las normas ASTM (EE. UU.) y JIS (Japón) regulan las pruebas de rendimiento del carburo (dureza, tenacidad, desgaste) y la fabricación (desviación de la composición <1 % ± 0,1 %), en consonancia con la norma ISO (desviación <2 % ± 0,5 %), lo que garantiza la consistencia global (desviación del rendimiento <5 % ± 1 %). Son adecuadas para corte (vida útil > 10 horas ± 1 hora) y resistencia al desgaste (índice de desgaste < 0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m).

Esta sección comienza con la coordinación de las especificaciones de pruebas de desempeño y los estándares internacionales.

10.7.3.1 Especificaciones de pruebas de rendimiento (dureza, tenacidad)

Principios básicos y descripción técnica.
Especificaciones ASTM (E92, C1327) y JIS (G0562, R1607) para ensayos de dureza (HV 1600-2200 ± 30), tenacidad (K_{1} c 1020 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y desgaste (índice de desgaste < 0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/ N·m). Indentación en el ensayo de dureza (diagonal < 50 μm ± 1 μm), extensión de grieta en el ensayo de tenacidad (< 1 mm ± 0,01 mm).

El equipo incluye un durómetro (carga de 10 kg ± 0,1 kg), un tenacímetro de fractura (carga de 1000 N ± 10 N) y un comprobador de desgaste (carga de 130 N ± 1 N). Las pruebas cumplen con las normas ASTM E92 (dureza, precisión ± 30 HV) y JIS G0562 (tenacidad, precisión ± 0,5 MPa·m$^{1/2}$). Por ejemplo, dureza YG8 HV 1800 ± 30, K_{1} c 14 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5.

Mecanismo y análisisEl
La prueba de dureza se realizó utilizando un penetrador de diamante (ángulo 136°±0,5°) para medir la resistencia a la deformación (profundidad de indentación <10 μm±0,1 μm), y la prueba de tenacidad se realizó utilizando una tira SENB (muesca <0,1 mm±0,01 mm) para medir la extensión de la grieta (K_{1} c~14 MPa·m$^{1/2}$±0,5). La desviación entre los resultados de ASTM E92 y JIS G0562 fue <2%±0,5%. El SEM mostró que la indentación fue regular (desviación <0,1%±0,01%) y las grietas fueron uniformes (<0,01 mm±0,001 mm). La prueba de desgaste (ASTM G65) mostró que la tasa de desgaste de YG8 fue de 0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m .

Análisis de factores influyentes
Carga: 10 kg ± 0,1 kg (dureza), alta precisión; > 20 kg ± 0,1 kg, el error aumenta en un 5% ± 1%.
Tamaño de la muestra: >5 mm ± 0,1 mm, la tenacidad es precisa; <3 mm ± 0,1 mm, la desviación aumenta en un 10 % ± 2 %.
Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , prueba estable; > 5 μm ± 0,01 μm , la desviación aumenta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

en un 5 % ± 1 %.
Tratamiento de superficie: Ra<0,2 μm±0,01 μm , alta precisión; >0,5 μm±0,01 μm , aumento de error 5%±1%.
Ambiente: Temperatura 2025°C±1°C, desviación <2%±0,5%.
Por ejemplo, la desviación de dureza de YG8 (carga 20 kg ± 0,1 kg) aumenta a ± 50 HV.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una precisión de dureza de ±30 HV y una precisión de tenacidad de ±0,5 MPa·m$^{1/2}$.
Se recomienda lo siguiente:
Optimización de la prueba: carga 10 kg ± 0,1 kg (dureza), 1000 N ± 10 N (tenacidad).
Optimización de la muestra: tamaño >5 mm ± 0,1 mm, Ra < 0,2 μm ± 0,01 μm .
Control de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).
Calibración: Muestra estándar (desviación <0,1%±0,01%), precisión aumentada en 5%±1%.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), JIS G0562 (tenacidad).
Por ejemplo, YG8 (10 kg ± 0,1 kg) tiene una dureza de HV 1800 ± 30 y una K_{1c} de 14 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5.

10.7.3.2 Coordinación de Normas Internacionales

Principios básicos y descripción técnica general
Las normas ASTM, JIS e ISO se coordinan para garantizar que las desviaciones de las pruebas de dureza (HV 1600 - 2200 ± 30), tenacidad (K_{1c} 10 - 20 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y desgaste (<0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m) sean <2 % ± 0,5 %. Por ejemplo, ASTM E92 es consistente con la prueba de dureza ISO 6507, y JIS R1607 es consistente con la prueba de tenacidad ISO 28079 con una desviación de <1 % ± 0,2 %.

Las pruebas incluyen comparación entre estándares (dureza, tenacidad y desgaste) y análisis de composición (EDS, precisión ±0,1%). Por ejemplo, la dureza del YG8 según las pruebas ASTM, JIS e ISO es HV 1800 ± 30, con una desviación de <1 % ± 0,2 %.

Mecanismo y análisis ASTM
Las normas E92 (indentación <50 μm ±1 μm), ISO 6507 (carga 10 kg ±0,1 kg) y JIS G0562 (ángulo 136° ±0,5°) utilizan el mismo principio, y la desviación se debe a la calibración del equipo (<0,1 % ±0,01 %). Las pruebas de tenacidad (ASTM C1327, ISO 28079, JIS R1607) se basan en muestras SENB (entalladura <0,1 mm ±0,01 mm) y los resultados son consistentes. El EDS confirma que la composición (WC, Co, TiC) presenta una desviación de <0,1 % ±0,02 %. Las pruebas de desgaste (ASTM G65, JIS H8503) muestran que la tasa de desgaste de YG8 es de 0,04 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m y la desviación estándar cruzada es <2 % ± 0,5 %.

Análisis de factores influyentes
Calibración del equipo: desviación <0,1%±0,01%, los resultados son consistentes; >0,5%±0,01%, la desviación aumenta en 5%±1%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Condiciones de prueba: Temperatura 2025 °C ± 1 °C, desviación <1 % ± 0,2 %; >30 °C ± 1 °C, aumento de la desviación 5 % ± 1 %.
Preparación de la muestra: Ra<0,2 μm±0,01 μm , alta precisión; >0,5 μm±0,01 μm , la desviación aumenta en un 5%±1%.
Diferencia estándar: ASTM vs ISO, desviación <2% ± 0,5%; no estándar, la desviación aumenta en 10% ± 2%.
Desviación de composición: ±1%, rendimiento constante; >±2%, la desviación aumenta en un 5% ±1%.
Por ejemplo, la desviación de dureza de YG8 (temperatura 30°C ± 1°C) aumenta a ± 50 HV.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una desviación estándar cruzada de <2 % ± 0,5 %. Se recomienda:
Optimización de la calibración: desviación del equipo <0,1%±0,01%, precisión aumentada en 5%±1%.
Control de condición: temperatura 2025°C±1°C, humedad <50%±5%.
Optimización de la muestra: Ra<0,2 μm±0,01 μm , tamaño>5 mm±0,1 mm.
Unificación de normas: se prefieren ISO 6507, ASTM E92 y JIS G0562.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 28079 (tenacidad).
Por ejemplo, YG8 (calibración <0,1%±0,01%) tiene una dureza de HV 1800±30 y una desviación de <1%±0,2%.

10.7.4 Selección y optimización de calidad

La selección de calidades se adapta a las condiciones de operación (velocidad de corte 500-2000 m/min ± 10 m/min, carga de impacto < 1000 N ± 100 N) y propiedades (dureza HV 1600-2200 ± 30, tenacidad K_{1c} 1020 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) para garantizar una vida útil de > 10 h ± 1 h o > 10^6 ± 10^5 veces. Optimice su selección con hojas de datos y casos prácticos.

Esta sección comienza con la personalización según las condiciones de trabajo y las tablas de datos de rendimiento.

10.7.4.1 Personalización según las condiciones de trabajo (velocidad de corte, carga de impacto)

Principios básicos y descripción técnica.
La selección de la calidad tiene en cuenta la velocidad de corte (500-2000 m/min ±10 m/min), la carga de impacto (<1000 N ±100 N) y el material de la pieza (acero HV 200-400 ±10, fundición HV 150-250 ±10). P10/YT15 es adecuado para el procesamiento de acero de alta velocidad (>1000 m/min ±10 m/min), K20/YG6 es adecuado para fundición de velocidad media (800-1200 m/min ±10 m/min) e YG8 es adecuado para alto impacto (>500 N ±50 N).

Las pruebas incluyen rendimiento de corte (ISO 3685, precisión ±0,01 mm), tenacidad al impacto (ISO 3327, precisión ±10 MPa) y desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3/ N·m). Por ejemplo,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

la vida útil del acero YT15 es de 12 horas ±1 hora, y la carga de impacto del YG8 es de 600 N ±50 N.

Mecanismo y análisis

El corte a alta velocidad (>1000 m/min ± 10 m/min) requiere una dureza alta (HV > 1800 ± 30, YT15/P10), la velocidad media (800 1200 m/min ± 10 m/min) requiere un rendimiento equilibrado (K20/YG6) y el alto impacto (> 500 N ± 50 N) requiere una tenacidad alta ($K_{1}c$ > 14 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, YG8). El recubrimiento (TiAlN , 2 μm ± 0,1 μm) aumenta la vida útil en un 30 % ± 5 %. El SEM muestra que el YT15 se desgasta de manera uniforme (profundidad < 0,01 mm ± 0,001 mm) y el YG8 tiene características obvias de tenacidad a la fractura (hoyuelos < 1 μm ± 0,1 μm). Las pruebas de corte muestran que la vida útil del YT15 es de 12 horas ± 1 hora, lo que es mejor que la del YG6 (10 horas ± 1 hora).

Análisis de factores influyentes

Velocidad de corte: >1000 m/min ± 10 m/min, YT15 es excelente; <800 m/min ± 10 m/min, YG6 es aplicable.

Carga de impacto: >500 N±50 N, YG8 es excelente; <200 N±50 N, YT15 es aplicable.

Dureza de la pieza de trabajo: HV>400±10, P10 es excelente; <250±10, K20 es aplicable.

Recubrimiento: TiAlN , la vida útil aumentó en un 30% ± 5%; sin recubrimiento, la vida útil disminuyó en un 20% ± 3%.

Refrigerante: A base de aceite, tasa de desgaste reducida en 10% ± 2%; a base de agua, tasa de desgaste aumentada en 10% ± 2%.

Por ejemplo, la vida útil del YG6 (velocidad 1500 m/min ± 10 m/min) se reduce a 8 horas ± 1 hora.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una vida útil de >10 horas ±1 hora y una tasa de desgaste de <0,05 mm^3/N·m ±0,01 mm^3/ N·m . Recomendaciones:

Coincidencia de marcas: YT15/P10 (alta velocidad), YG6/K20 (velocidad media), YG8 (alto impacto).

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 30%±5%.

Optimización de procesos: refrigerante a base de aceite, velocidad adaptada a las condiciones de trabajo.

Optimización de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , ajustado según las condiciones de trabajo.

Especificaciones de prueba: ISO 3685 (corte), ISO 3327 (impacto).

Por ejemplo, la vida útil de YT15 (TiAlN , 1000 m/min ± 10 m/min) es de 12 horas ± 1 hora.

10.7.4.2 Hoja de datos de rendimiento (dureza, resistencia, tenacidad)

Principios básicos y descripción técnica generalRendimiento

Las tablas de datos que resumen la dureza (HV 1600-2200 ± 30), la resistencia (> 4000 MPa ± 50 MPa), la tenacidad (K_{1} c 10-20 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) y la tasa de desgaste (< 0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

N·m) sirven de guía para la selección del grado. Los datos se obtuvieron mediante ensayos estandarizados (ASTM E92, ISO 3327, ASTM G65) con una desviación de < 2 % ± 0,5 %.

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, precisión ±30 HV), resistencia (ISO 3327, precisión ±10 MPa), tenacidad (ISO 28079, precisión ±0,5 MPa·$m^{1/2}$) y desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 mm^3/ N·m). Por ejemplo, el acero YG8 tiene una dureza de 1800 ±30 HV y una resistencia de 4200 MPa ±50 MPa.

El análisis del mecanismo

muestra que la dureza (HV 1800 ± 30) está determinada por el contenido de WC (> 90% ± 1 %) y el tamaño de grano (0,52 μm ± 0,01 μm), la resistencia (> 4000 MPa ± 50 MPa) está relacionada con Co (6% 12% ± 1 %) y la porosidad (< 0,1% ± 0,01 %), y la tenacidad ($K_{1}c$ 14 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) es proporcionada por la red de Co (fracción de volumen> 10% ± 1 %). El SEM muestra que la indentación de YG8 es regular (< 50 μm ± 1 μm) y las características de tenacidad a la fractura son obvias (hoyuelos <1 μm ± 0,1 μm). La tabla de datos muestra que la dureza de YT15 HV 1700±30 es mejor que la de YG6 (HV 1500±30).

Tabla de datos de rendimiento del carburo cementado
(Dureza HV ± 30, Resistencia MPa ± 50, Tenacidad MPa $m^{1/2}$ ± 0,5, Tasa de desgaste mm^3/N m ± 0,01)

Marca	Dureza (HV)	Resistencia (MPa)	Tenacidad ($K_{1}c$)	Tasa de desgaste	solicitud
YG6	1500	3800	14	0.05	Hierro fundido, corte de velocidad media
YG8	1800	4200	16	0.04	Piezas de alto impacto y resistentes al desgaste
YT15	1700	3500	12	0.03	Acero, corte de alta velocidad
P10	1900	3600	12	0.03	Acero, corte de alta velocidad
K20	1600	4000	15	0.05	Hierro fundido, corte de velocidad media

Análisis de factores influyentes

Dureza: HV>1800±30, excelente resistencia al desgaste; <1600±30, la tasa de desgaste aumenta en un 15%±3%.

Resistencia: >4000 MPa±50, excelente resistencia al impacto; <3500 MPa±50, tasa de fractura aumentada en un 10%±2%.

Tenacidad: $K_{1}c$ > 14 MPa·$m^{1/2}$±0,5, excelente resistencia al agrietamiento; <10 MPa·$m^{1/2}$±0,5, la tasa de agrietamiento aumenta en un 10%±2%.

Tamaño de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , rendimiento equilibrado; >5 μm ± 0,01 μm , la resistencia cae un 10 % ± 2 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Recubrimiento: TiAlN , la tasa de desgaste disminuyó en un 20% ± 3%; sin recubrimiento, la tasa de desgaste aumentó en un 15% ± 3%.

Por ejemplo, la resistencia del YG6 (tamaño de grano 5 μm ± 0,01 μm) cae a 3500 MPa ± 50 MPa.

Estrategia de optimización

Para lograr una dureza HV 1600 - 2200 ± 30 y una tenacidad K_{1c} 10 - 20 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5, se recomienda:

Optimización de marca: YT15 (alta velocidad), YG8 (alto impacto), YG6 (velocidad media).

Optimización de grano: 0,52 μm ± 0,01 μm , VC añadido (0,2 % ± 0,01 %).

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm ± 0,1 μm), rendimiento aumentado en un 30% ± 5%.

Optimización HIP: 1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 1 MPa, porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.

Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 3327 (resistencia).

Por ejemplo, YG8 (TiAlN , 0,5 μm±0,01 μm) tiene una dureza de HV 1800±30 y una tasa de desgaste de 0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/ N·m .

10.8 Tendencia de desarrollo de la clasificación

La tendencia de desarrollo de la clasificación de carburo cementado se centra en la funcionalización (resistencia al desgaste <0,03 mm³/N·m ±0,01 mm³/ N·m , resistencia a la corrosión <0,005 mm/año ±0,001 mm/año), estructura nano y gradiente (grano <100 nm ±10 nm, gradiente de Co 0%15% ±1%), sostenibilidad ecológica (libre de Co, tasa de reciclaje >95% ±2%) y basada en datos (precisión de predicción de inteligencia artificial >90% ±2%) para cumplir con las necesidades de alto rendimiento (dureza HV 2000 - 3000 ± 30, tenacidad K_{1c} 10 - 25 MPa·m$^{1/2}$ ±0,5) y protección ambiental (emisiones de carbono <5 kg/kg ±0,5 kg/kg).

A través de nuevos materiales (nano WC, ligantes basados en Fe), nuevos procesos (fabricación aditiva, sinterización de plasma) y nuevas tecnologías (inteligencia artificial, bases de datos), promoveremos el refinamiento de la clasificación (desviación <2% ± 0,5%) y la expansión de aplicaciones (corte, energía, biomedicina).

Esta sección analiza las tendencias futuras y los caminos tecnológicos desde las perspectivas de la funcionalización y clasificación de compuestos, la clasificación de estructuras nano y de gradiente, la clasificación verde y sostenible, y los métodos de clasificación basados en datos.

10.8.1 Funcionalización y clasificación de compuestos

El carburo cementado funcionalizado y compuesto satisface las necesidades de la industria aeroespacial (vida útil > 10^5 veces ± 10^4 veces), la energía (eficiencia > 90% ± 2%) y la medicina (biocompatibilidad > 95% ± 2%) a través de características multifuncionales (resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, conductividad) e inteligentes biónicas (adaptabilidad > 80% ± 5%). Los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

materiales compuestos (WCCoTiC , estructura biónica) y los recubrimientos (TiAlN , DLC) son el núcleo.

10.8.1.1 Aleaciones multifuncionales resistentes al desgaste, a la corrosión y conductoras

Principios básicos y descripción técnica

El carburo cementado multifuncional integra resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,03 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$), resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,005 mm/año ± 0,001 mm/año) y conductividad eléctrica (>10^6 S/m ± 10^5 S/m) añadiendo TiC (5%15%±1%), Cr_3C_2 (2%5%±0,5%) y fase conductora (como grafito, 1%3%±0,2%). Tamaño de grano 0,51 μm ± 0,01 μm , recubrimiento (TiAlN , 25 μm ± 0,1 μm) mejora el rendimiento.

Las pruebas incluyen resistencia al desgaste (ASTM G65, precisión ±0,01 $mm^3/ N·m$), resistencia a la corrosión (ASTM G31, precisión ±0,001 mm/año) y conductividad eléctrica (método de cuatro sondas, precisión ±10^4 S/m). Por ejemplo, la tasa de desgaste de WC6CoTiC (TiC 5%±1%) es de 0,02 $mm^3/N·m$±0,01 $mm^3/ N· m$, y la conductividad eléctrica es de 1,2×10^6 S/m±10^5 S/m.

Análisis del mecanismo y rendimiento de TiC

El 5 % 15 % ± 1 % mejora la dureza (HV 2000 ± 30), el Cr_3C_2 (2 % 5 % ± 0,5 %) forma una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor <0,1 μm ± 0,01 μm), lo que reduce la velocidad de corrosión (<0,005 mm/año ± 0,001 mm/año). El grafito (1 % 3 % ± 0,2 %) crea una red conductora (resistividad <$10^{-6}Ω · m$ ±$10^{-7}Ω · m$). La microscopía electrónica de barrido (SEM) muestra que las partículas de TiC son uniformes (tamaño 0,51 μm ± 0,01 μm) y la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS) confirma Cr_2O_3 (Cr 2p ~ 577 eV ± 0,1 eV).

Las pruebas de resistencia al desgaste muestran que el WC6CoTiC es superior al YG6 (índice de desgaste: 0,05 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$). Las pruebas de conductividad muestran un aumento del 50 % ± 5 % tras la adición de grafito.

Análisis de factores influyentes

de TiC : 5%15%±1%, dureza aumentada en 20%±3%; >20%±1%, tenacidad disminuida en 10%±2%.

Cr_3C_2 : 2% 5 %±0,5%, resistencia a la corrosión aumentada en un 30%±5%; >10%±0,5%, dureza reducida en un 10%±2 %.

Contenido de grafito: 1%3%±0,2%, la conductividad aumentó en un 50%±5%; >5%±0,2%, la resistencia disminuyó en un 15%±3%.

Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , excelente rendimiento; >2 μm ± 0,01 μm , resistencia al desgaste reducida en un 10 % ± 2 %.

Espesor del recubrimiento: 25 μm ± 0,1 μm , excelente rendimiento general; >10 μm ± 0,1 μm , la tasa de pelado aumenta en un 15 % ± 3 %.

Por ejemplo, la tasa de corrosión de WC6Co (sin TiC) aumenta a 0,01 mm/año ± 0,001 mm/año.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La estrategia de optimización

consiste en lograr una tasa de desgaste de <0,03 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$ y una resistencia a la corrosión de <0,005 mm/año ± 0,001 mm/año. Se recomienda lo siguiente:

Optimización de la composición: TiC 5%10%±1%, Cr_3C_2 2 % 5 %±0,5%, grafito 1%3%±0,2%.

Control de grano: 0,51 µm ± 0,01 µm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 µm ± 0,1 µm), rendimiento integral mejorado en un 30 % ± 5 %.

Optimización de la sinterización: sinterización por plasma (SPS, 1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa), porosidad < 0,1 % ± 0,01 %.

Especificaciones de prueba: ASTM G65 (resistencia a la abrasión), ASTM G31 (resistencia a la corrosión).

Por ejemplo, la tasa de desgaste de WC6CoTiC (SPS, recubrimiento TiAlN) es de 0,02 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$ y la conductividad es de $1,2 \times 10^6$ S/m ± 10^5 S/m.

10.8.1.2 Biónica y carburo cementado inteligente

Principios básicos y descripción técnica

El carburo cementado biónico e inteligente logra adaptabilidad (deformación <0,01 % ± 0,001 %) y autocuración (tasa de reparación de grietas > 50 % ± 5 %) mediante la imitación de estructuras naturales (como capas de concha, fibras de bambú) o sensores integrados (tiempo de respuesta <1 ms ± 0,1 ms). El material contiene una matriz de WCCo (Co 6 % 10 % ± 1 %) y una fase funcional (como NiTi , 2 % 5 % ± 0,5 %), y se prepara mediante fusión selectiva por láser (SLM, potencia 300 400 W ± 10 W) o sensores integrados (tamaño < 0,1 mm ± 0,01 mm).

Las pruebas incluyen adaptabilidad (extensómetro, precisión ±0,001%), tasa de reparación (sEM, resolución <0,1 µm ±0,01 µm) y vida útil (ISO 3685, precisión ±0,01 mm). Por ejemplo, la adaptabilidad de la aleación biónica WC6CoNiTi es del 85 % ±5 % y su vida útil es de 12 horas ±1 hora.

Análisis del mecanismo y rendimiento

La estructura en capas de la carcasa (capa WC de 0,10,5 mm ± 0,01 mm) mejora la tenacidad (K_{Ic} 15 $MPa\ m^{1/2}$ ± 0,5), el NiTi (2 % 5 % ± 0,5 %) proporciona memoria de forma (tasa de recuperación > 90 % ± 2 %), y el sensor (cambio de resistencia < 0,1 Ω ± 0,01 Ω) monitoriza la tensión (< 100 MPa ± 10 MPa). El SEM muestra que la estructura en capas está escalonada (ángulo < 10° ± 1°) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) confirma la distribución del NiTi (desviación < 0,1 % ± 0,02 %).

Las pruebas de autorreparación muestran que la tasa de reparación de grietas de la aleación NiTi es del 60 % ± 5 %, superior a la del YG6 (<10 % ± 2 %). Las pruebas de vida útil indican que la aleación biónica tiene una vida útil de 12 ± 1 hora, lo que representa un aumento del 20 % ± 3 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Análisis de factores influyentes

Espesor de la capa: 0,10,5 mm ± 0,01 mm, la tenacidad aumentó en un 20 % ± 3 %; >1 mm ± 0,01 mm, la resistencia disminuyó en un 10 % ± 2 %.

de NiTi : 2% 5% ± 0,5%, alta tasa de reparación; > 10% ± 0,5%, dureza reducida en 15% ± 3%.

Tamaño del sensor: <0,1 mm ± 0,01 mm, respuesta rápida; >0,5 mm ± 0,01 mm, la interferencia aumenta en un 10 % ± 2 %.

Tamaño de grano: 0,51 µm ± 0,01 µm , excelente rendimiento; >2 µm ± 0,01 µm , tenacidad reducida en un 10 % ± 2 %.

Potencia SLM: 300400 W ± 10 W, densidad > 99 % ± 0,1 %; < 200 W ± 10 W, porosidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

Por ejemplo, la tasa de reparación de WC6Co (sin NiTi) es <10% ± 2%.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una adaptabilidad superior al 80 % ± 5 % y una vida útil superior a 10 horas ± 1 hora. Se recomienda lo siguiente:

Optimización estructural: espesor de capa 0,10,5 mm ± 0,01 mm, NiTi 2% 5% ± 0,5%.

Optimización SLM: potencia 300400 W ± 10 W, espesor de capa 5080 µm ± 1 µm .

Optimización del sensor: tamaño <0,1 mm ± 0,01 mm, tiempo de respuesta <1 ms ± 0,1 ms.

Control de grano: 0,51 µm ± 0,01 µm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).

Especificaciones de prueba: ISO 3685 (vida útil), SEM (tasa de reparación).

Por ejemplo, WC6CoNiTi (SLM, espesor de capa 0,2 mm ± 0,01 mm) tiene una adaptabilidad del 85 % ± 5 % y una vida útil de 12 horas ± 1 hora.

10.8.2 Clasificación de nanoestructuras y estructuras de gradiente

El carburo cementado con nanoestructura y gradiente mejora la dureza (HV 2500-3000 ± 30), la tenacidad (K_1 c 1020 MPa·m$^{1/2}$ ± 0,5) y la resistencia al desgaste (índice de desgaste <0,02 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m) gracias a un tamaño de grano <100 nm ± 10 nm y un gradiente de contenido de Co (0 % 15 % ± 1 %), ideal para mecanizado de precisión (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm) y piezas resistentes al desgaste (vida útil >10^4 horas ± 10^3 horas). La tecnología incluye nanopolvo (deposición de vapor) y sinterización en gradiente (1450 °C ± 10 °C).

10.8.2.1 Basado en nano-WC (tamaño de grano < 100 nm)

Principios básicos y descripción técnica.

La aleación nano basada en WC (tamaño de grano: 50-100 nm ± 10 nm) presenta alta dureza (HV: 2500-3000 ± 30) y baja fricción (coeficiente <0,2 ± 0,05) para mejorar la resistencia al desgaste (velocidad de desgaste: <0,02 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m). El contenido de Co es del 6 % al 10 % ± 1 %, y el nanopolvo se prepara mediante deposición química en fase de vapor (CVD, velocidad de deposición: 15 nm/s ± 0,1 nm/s) y se forma mediante sinterización por plasma (SPS, 1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, carga de 5 kg ± 0,1 kg), tamaño de grano (microscopio electrónico de transmisión TEM, resolución <0,1 nm ± 0,01 nm) y resistencia al desgaste (ASTM G99, precisión ± 0,01 mm^3/ N·m). Por ejemplo, la dureza del nanoWC6Co es HV 2800 ± 30 y la tasa de desgaste es de 0,015 mm^3/ N·m ± 0,01 mm^3/ N·m .

Análisis de mecanismos y rendimientoNano

-los granos (50100 nm ± 10 nm) aumentan la dureza (HV 2800 ± 30) a través del efecto HallPetch (dureza $d^{-1/2}$, d es el tamaño del grano), y los límites de grano fino (fracción de volumen > 20 % ± 2 %) inhiben la propagación de grietas (K_{1c} 12 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5). El TEM muestra que los granos de WC son uniformes (desviación < 5 % ± 1 %) y la fase de Co es continua (espesor < 10 nm ± 1 nm). Las pruebas de resistencia al desgaste muestran que el nano-WC6Co es superior al YG6 de tamaño micrométrico (tasa de desgaste 0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m). La difracción de rayos X (DRX) confirma la fase WC (2θ35,6° ± 0,1°) y la ausencia de fase de impurezas (< 0,1 % ± 0,01 %).

Análisis de factores influyentes

Tamaño de grano: 50100 nm ± 10 nm, la dureza aumentó en un 30 % ± 5 %; > 200 nm ± 10 nm, la dureza disminuyó en un 20 % ± 3 %.

Contenido de Co: 6%10%±1%, tenacidad equilibrada; <6%±1%, K_{1c} disminuye en 10%±2%.

Temperatura de sinterización: 1400°C±10°C, estabilidad del grano; >1500°C±10°C, crecimiento del grano 20%±3%.

Pureza del polvo: >99,9%±0,1%, excelente rendimiento; <99,5%±0,1%, aumento de impurezas 10%±2%.

Recubrimiento: DLC (12 μm ± 0,1 μm), tasa de desgaste reducida en un 20% ± 3%.

Por ejemplo, la dureza del nano WC6Co (tamaño de grano 200 nm ± 10 nm) cae a HV 2200 ± 30.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una dureza HV de 2500 a 3000 ± 30 y una tasa de desgaste de <0,02 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m . Se recomienda:

Optimización del polvo: tamaño de grano 50100 nm ± 10 nm, pureza > 99,9 % ± 0,1 %.

Optimización de sinterización: SPS (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa), porosidad <0,1%±0,01%.

Cooptimización: 6%10%±1%, VC añadido (0,2%±0,01%).

Optimización del recubrimiento: DLC (12 μm ± 0,1 μm), resistencia al desgaste aumentada en un 20% ± 3%.

Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), TEM (tamaño de grano).

Por ejemplo, el nano WC6Co (SPS, recubrimiento DLC) tiene una dureza de HV 2800±30 y una tasa de desgaste de 0,015 mm^3/N·m±0,01 mm^3/ N·m .

10.8.2.2 Contenido de gradiente de Co

Principio básico y descripción general de la tecnología

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La aleación con gradiente de contenido de Co (0%5%±1% en la superficie, 10%15%±1% en el núcleo) optimiza el rendimiento integral mediante una alta dureza superficial (HV 2200±30) y una alta tenacidad del núcleo (K_{1c} 15 MPa·$m^{1/2}$±0,5), adecuada para herramientas de corte (vida útil >12 horas±1 hora) y moldes (vida útil >10^6veces ± 10^5veces) . Se prepara mediante laminación de polvo (espesor de capa 0,11 mm±0,01 mm) y sinterización en gradiente (1450 °C±10 °C).

Las pruebas incluyen gradiente de dureza (ASTM E92, precisión ±30 HV), tenacidad (ISO 28079, precisión ±0,5 MPa·$m^{1/2}$) y vida útil (ISO 3685, precisión ±0,01 mm). Por ejemplo, gradiente de dureza WCCo : HV 2200 ±30 (superficie), tenacidad K_1 c 15 MPa·$m^{1/2}$ ±0,5 (núcleo).

Análisis del mecanismo y rendimiento:

La capa superficial de bajo Co (0%5%±1%) mejora la dureza (HV 2200±30), y el núcleo de alto Co (10%15%±1%) mejora la tenacidad (K_{1c} 15 MPa·$m^{1/2}$±0,5). La capa de transición de gradiente (espesor 0,10,5 mm±0,01 mm) reduce la concentración de tensión (coeficiente de concentración de tensión K_t <1,3±0,05). El SEM muestra que el contenido de Co cambia continuamente (desviación <0,1%±0,02%), y el EDS confirma la distribución del gradiente (Co 2p~779 eV±0,1 eV). Las pruebas de corte muestran que la vida útil del gradiente WCCo es de 12 horas±1 hora, lo cual es mejor que el YG6 uniforme (10 horas±1 hora).

Análisis de factores influyentes

Gradiente de Co: 0%15%±1%, excelente rendimiento; Co uniforme, dureza reducida en 10%±2%.
Espesor de la capa de transición: 0,10,5 mm ± 0,01 mm, K_t es bajo; >1 mm ± 0,01 mm, K_t aumenta en un 10 % ± 2 %.
Tamaño de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , alta dureza; >2 μm ± 0,01 μm , tenacidad aumentada en un 10 % ± 2 %.
Temperatura de sinterización: 1450 °C ± 10 °C, el gradiente es estable; >1500 °C ± 10 °C, la difusión de Co aumenta en un 10 % ± 2 %.
Recubrimiento: TiAlN (2 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 20%±3%.
Por ejemplo, la vida útil promedio del WC6Co cae a 10 horas ± 1 hora .

La estrategia de optimización

consiste en lograr una dureza HV de 2200 ± 30 y una tenacidad K_1 c de 15 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5. Se recomienda:
Optimización de gradiente: superficie Co 0%5%±1%, núcleo 10%15%±1%.
Optimización de sinterización: 1450°C ± 10°C, capa de transición 0,10,5 mm ± 0,01 mm.
Control de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).
Optimización del recubrimiento: TiAlN (25 μm±0,1 μm), vida útil aumentada en un 20%±3%.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 3685 (vida útil).
Por ejemplo, gradiente WCCo (recubrimiento TiAlN) dureza HV 2200 ± 30, vida útil 12 horas ± 1 hora.

10.8.3 Categorías verdes y sostenibles

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El carburo cementado ecológico y sostenible reduce el impacto ambiental (emisiones de carbono <5 kg/kg ± 0,5 kg/kg) gracias a un aglutinante sin Co (a base de Fe y cerámica) y una alta tasa de recuperación (>95 % ± 2 %), y satisface las necesidades de resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,05 $mm^3/N·m$ ± 0,01 $mm^3/ N·m$) y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ± 0,001 mm/año). Las tecnologías incluyen aleaciones a base de Fe (Fe 5 % 10 % ± 1 %) y recuperación química (eficiencia >95 % ± 2 %).

10.8.3.1 Carburo cementado libre de Co (a base de Fe, a base de cerámica)

Principio básico y descripción general de la tecnología.

El carburo cementado sin Co utiliza Fe (5% 10% ± 1%) o matriz cerámica (TiC , Si_3N_4 , 10% 20% ± 1%) para reemplazar Co, con dureza HV 1800-2200 ± 30, tenacidad K_{1c} 812 $MPa·m^{1/2}$ ± 0,5 y emisión de carbono <5 kg/kg ± 0,5 kg/kg. La preparación se realiza mediante sinterización por plasma (SPS, 1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa) o prensado en caliente (1600 °C ± 10 °C, 30 MPa ± 1 MPa).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, precisión ±30 HV), tenacidad (ISO 28079, precisión ±0,5 $MPa·m^{1/2}$) e impacto ambiental (ISO 14040, precisión ±0,5 kg/kg). Por ejemplo, el WC8Fe tiene una dureza de 2000 HV ±30 y unas emisiones de carbono de 4,5 kg/kg ±0,5 kg/kg.

Análisis de mecanismos y rendimientoFe

matriz (5%10%±1%) proporciona tenacidad (K_{1c} 10 $MPa·m^{1/2}$±0,5), TiC (10%20%±1%) mejora la dureza (HV 2000±30). La matriz cerámica (Si_3N_4) mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ±0,001 mm/año). El SEM muestra que la fase Fe es uniforme (tamaño <1 µm ±0,1 µm) y las partículas de TiC están incrustadas (desviación <0,1%±0,02%). Las pruebas de resistencia al desgaste muestran que WC8Fe es mejor que YG6 (tasa de desgaste 0,05 $mm^3/N·m$ ±0,01 $mm^3/ N·m$). El análisis ambiental confirma que las emisiones de carbono basadas en Fe se reducen en un 20%±3%.

Análisis de factores influyentes

Contenido de Fe: 5%10%±1%, la tenacidad está equilibrada; >15%±1%, la dureza disminuye en un 10%±2%.

Contenido de cerámica: 10%20%±1%, la resistencia a la corrosión aumentó en un 20%±3%; >30%±1%, K_{1c} disminuyó en un 10%±2%.

Temperatura de sinterización: 1400 °C ± 10 °C, excelente rendimiento; >1500 °C ± 10 °C, crecimiento de grano 10 % ± 2 %.

Tamaño de grano: 0,51 µm ± 0,01 µm , alta dureza; >2 µm ± 0,01 µm , tenacidad aumentada en un 10 % ± 2 %.

Medio ambiente: Las emisiones de carbono basadas en Fe disminuyeron un 20% ± 3%; las emisiones basadas en Co aumentaron un 30% ± 5%.

Por ejemplo, la dureza del WC15Fe cae a HV 1800±30.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La estrategia de optimización

consiste en lograr una dureza HV de 1800 a 2200 ± 30 y emisiones de carbono <5 kg/kg ± 0,5 kg/kg.
Recomendado:
Optimización del aglutinante: Fe 5%10%±1%, TiC 10%20%±1%.
Optimización de sinterización: SPS (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa), porosidad <0,1%±0,01%.
Control de grano: 0,51 μm ± 0,01 μm , adición de VC (0,2 % ± 0,01 %).
Optimización del recubrimiento: TiAlN (2 μm±0,1 μm), resistencia al desgaste mejorada en un 20%±3%.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 14040 (medio ambiente).
Por ejemplo, WC8Fe (SPS, recubrimiento TiAlN) tiene una dureza de HV 2000±30 y una emisión de carbono de 4,5 kg/kg±0,5 kg/kg.

10.8.3.2 Carburo cementado reciclable (tasa de reciclaje > 95%)

Principios básicos y descripción general de la tecnologíaReciclable

El carburo cementado se recicla químicamente (método Zn, eficiencia >95 % ± 2 %) y se tritura físicamente (partículas <50 μm ± 5 μm) para lograr la separación de WC y Co (pureza >99 % ± 0,1 %), emisiones de carbono <3 kg/kg ± 0,5 kg/kg. Dureza HV 1600-2000 ± 30, tenacidad K_{1c} 1015 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5, desviación del rendimiento respecto a la aleación original <5 % ± 1 %.

Las pruebas incluyen la tasa de recuperación (análisis químico, precisión ± 0,1%), el rendimiento (ASTM E92, precisión ± 30 HV) y el impacto ambiental (ISO 14040, precisión ± 0,5 kg/kg). Por ejemplo, la recuperación de WC6Co con una dureza de HV 1800 ± 30 presenta una tasa de recuperación del 96% ± 2%.

Análisis del mecanismo y rendimiento

El método Zn (600 - 800 °C ± 10 °C) disuelve Co (tasa de recuperación > 95 % ± 2 %) a través de Zn líquido (punto de fusión 419 °C ± 1 °C) y las partículas WC están intactas (cambio de tamaño < 1 % ± 0,1 %). El triturado físico (energía de impacto < 10 J ± 1 J) produce polvo fino (< 50 μm ± 5 μm). SEM muestra que las partículas WC recuperadas tienen bordes y esquinas claros (desviación < 0,1 % ± 0,02 %), y EDS confirma que el residuo de Co es < 0,1 % ± 0,01 %. Las pruebas de rendimiento muestran que la dureza del WC6Co recuperado es HV 1800 ± 30, lo cual es consistente con la aleación original (HV 1800 ± 30).

Análisis de factores influyentes

Temperatura de recuperación: 600800°C ± 10°C, alta eficiencia; >1000°C ± 10°C, la oxidación de WC aumenta en un 10% ± 2%.
Pureza de Zn: >99,9%±0,1%, alta tasa de recuperación de Co; <99,5%±0,1%, las impurezas aumentan en un 5%±1%.
Tamaño de partícula: <50 μm ± 5 μm , el rendimiento es constante; >100 μm ± 5 μm , la dureza disminuye en un 5 % ± 1 %.
Tiempos de reciclaje: 13 veces, rendimiento estable; >5 veces, la dureza disminuye en un 10% ±

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

2%.
Medio ambiente: Método Zn, emisión de carbono <3 kg/kg ± 0,5 kg/kg; método de disolución ácida, la emisión aumentó en un 20 % ± 3 %.
Por ejemplo, la dureza del WC6Co reciclado (temperatura 1000°C ± 10°C) cae a HV 1700 ± 30.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una tasa de recuperación de >95 % ± 2 % y una dureza de HV 1600-2000 ± 30.
Recomendado:
Optimización del reciclaje: método Zn, 600 - 800°C ± 10°C, pureza Zn > 99,9% ± 0,1%.
Optimización del polvo: partículas <50 μm ± 5 μm , pureza > 99 % ± 0,1 %.
Optimización de sinterización: SPS (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa), porosidad <0,1%±0,01%.
Verificación del rendimiento: La desviación de dureza de la aleación original es <5% ± 1%.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 14040 (medio ambiente).
Por ejemplo, el WC6Co reciclado (método Zn, 600°C±10°C) tiene una dureza de HV 1800±30 y una tasa de recuperación del 96%±2%.

10.8.4 Métodos de clasificación basados en datos

La clasificación basada en datos optimiza el rendimiento del carburo (dureza HV 1600-3000 ± 30, tenacidad K_1 c 1025 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) y los estándares de clasificación (desviación <1 % ± 0,2 %) mediante inteligencia artificial (precisión de predicción >90 % ± 2 %) y una base de datos (volumen de datos >10^5 ± 10^4). Es adecuada para corte (vida útil >12 h ± 1 h), resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m) y personalización (precisión <0,01 mm ± 0,001 mm).

10.8.4.1 Inteligencia artificial y predicción del rendimiento

Principios básicos y descripción técnica
La inteligencia artificial predice las propiedades del carburo cementado (dureza HV 1600 - 3000 ± 30, tasa de desgaste <0,05 mm^3/N·m ± 0,01 mm^3/ N·m) a través del aprendizaje automático (bosque aleatorio, red neuronal) y big data (muestras > 10^4 ± 10^3) , con una precisión de predicción de > 90% ± 2%. Los parámetros de entrada incluyen composición (WC, Co, TiC), tamaño de grano (0,12 μm ± 0,01 μm) y proceso (sinterización 1450 °C ± 10 °C).

Las pruebas incluyeron la precisión de predicción (validación cruzada, precisión ±2%), la verificación del rendimiento (ASTM E92, precisión ±30 HV) y la vida útil (ISO 3685, precisión ±0,01 mm). Por ejemplo, la IA predijo una dureza YG8 de 1800 HV ±30 con una desviación de <2 % ±0,5 %.

Análisis de mecanismo y rendimiento.
Un bosque aleatorio (número de árboles 100-500 ± 10) analiza la relación entre la composición y el rendimiento (importancia de la característica > 0,1 ± 0,01) y una red neuronal (número de capas 510 ± 1) captura los efectos no lineales (ajuste R^2 > 0,95 ± 0,02). El modelo de inteligencia artificial se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

entrena con base en un conjunto de datos (> $10^4 \pm 10^3$) para predecir la dureza (HV 1800 ± 30) y la tenacidad (K_{1c} 14 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5). El SEM verifica el tamaño del grano (0,51 μm ± 0,01 μm) y el EDS confirma la composición (desviación < 0,1 % ± 0,02 %). Las pruebas de predicción muestran que la desviación de dureza de YG8 es <2%±0,5%, lo que es mejor que la fórmula empírica tradicional (desviación 5%±1%).

Análisis de factores influyentes

Tamaño del conjunto de datos: > 10^4 ±10^3, precisión >90%±2%; <10^3±10^2, la precisión cae un 10%±2%.

Número de características: >10±1, la predicción es completa; <5±1, la desviación aumenta en un 5%±1%.

Tipo de algoritmo: Red neuronal, excelente para relaciones complejas; regresión lineal, aumento de desviación del 10% ± 2%.

Tamaño de grano: 0,12 μm ± 0,01 μm , la predicción es precisa; >5 μm ± 0,01 μm , el error aumenta en un 5 % ± 1 %.

Muestras de verificación: >100±10, desviación <2%±0,5%; <50±5, desviación aumentada en 5%±1%.

Por ejemplo, el sesgo de predicción de dureza de YG8 (conjunto de datos < 10^3 registros) aumentó a 5% ± 1%.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una precisión de predicción superior al 90 % ± 2 %. Se recomienda:

Optimización de datos: conjuntos de datos > 10^4 ± 10^3 elementos, características > 10±1.

Optimización del algoritmo: red neuronal, número de capa 510±1, R^2>0,95±0,02.

Optimización de la verificación: muestras >100±10, desviación <2%±0,5%.

Verificación del rendimiento: SEM y EDS confirman la composición y el tamaño de grano.

Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 3685 (vida útil).

Por ejemplo, la predicción de dureza de YG8 (red neuronal, datos 10^4) es HV 1800±30 con una desviación de <2%±0,5%.

10.8.4.2 Estandarización de bases de datos y clasificaciones

Principios básicos y descripción técnica

La base de datos integra datos de carburo cementado (composición, propiedades, procesos, >10^5 ± 10^4) , admite la optimización del rendimiento (dureza HV 1600 - 3000 ± 30, tenacidad K_{1c} 10 - 25 MPa·$m^{1/2}$ ± 0,5) a través de una clasificación estandarizada (desviación <1% ± 0,2%). Utiliza una base de datos SQL (velocidad de consulta <1 s ± 0,1 s) y la coordinación de estándares internacionales (ISO, ASTM).

Las pruebas incluyen consistencia de datos (desviación <1% ± 0,2%), verificación del rendimiento (ASTM E92, precisión ± 30 HV) y eficiencia de clasificación (consulta < 1 s ± 0,1 s). Por ejemplo, en la base de datos YG6, dureza HV 1500 ± 30, la desviación es <1% ± 0,2%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

La base de datos de análisis de mecanismos y rendimiento
integra la composición (WC, Co), las propiedades (dureza, tenacidad) y los procesos (sinterización, recubrimiento) mediante almacenamiento estructurado (campos > 50 ± 5), lo que permite una consulta rápida (<1 s ± 0,1 s). La clasificación estandarizada se basa en la norma ISO 513 (P, M, K) y los grados chinos (YG, YT), con una desviación de <1 % ± 0,2 %. El SEM verifica el tamaño de grano (0,52 μm ± 0,01 μm) y el EDS confirma la composición (desviación <0,1 % ± 0,02 %). Las pruebas de rendimiento muestran que la base de datos predice una dureza de YG6 de HV 1500 ± 30, lo cual coincide con la medición real.

Análisis de factores influyentes
Volumen de datos: $>10^5 \pm 10^4$, clasificación precisa; $<10^4 \pm 10^3$, desviación aumentada en 5% ± 1%.
Número de campos: >50±5, información completa; <20±2, la desviación aumenta en un 5%±1%.
Grado de estandarización: coordinación ISO/ASTM, desviación <1%±0,2%; sin estándar, la desviación aumenta en 10%±2%.
Velocidad de consulta: <1 s±0,1 s, alta eficiencia; >5 s±0,5 s, la eficiencia cae un 20 % ± 3 %.
Actualización de datos: $>10^3 \pm 10^2$ elementos por año, precisión estable; sin actualización, la desviación aumenta en un 5%±1%.
Por ejemplo, el sesgo de clasificación de YG6 (<20 campos) aumentó al 5% ± 1%.

La estrategia de optimización
consiste en lograr una desviación de clasificación <1 % ± 0,2 % y una velocidad de consulta <1 s ± 0,1 s. Se recomienda lo siguiente:
Optimización de la base de datos: datos > $10^5 \pm 10^4$ entradas, campos > 50 ± 5.
Estandarización y optimización: Cumplir con ISO 513, ASTM E92, desviación <1%±0,2%.
Actualización y optimización: $>10^3 \pm 10^2$ nuevos elementos añadidos cada año.
Verificación y optimización: SEM y EDS confirman la consistencia de los datos.
Especificaciones de prueba: ASTM E92 (dureza), ISO 3685 (vida útil).
Por ejemplo, la dureza de YG6 (datos 10^5, estándar ISO) es HV 1500±30, con una desviación de <1%±0,2%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

Especificaciones de simulación de grado de carburo cementado personalizado de CTIA GROUP: Apuntando a la fabricación inteligente con IA y la fabricación flexible

1. Introducción

Debido a su alta dureza (HV1600–2000), excelente resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas (600–1000 °C), el carburo cementado se usa ampliamente en herramientas de corte, moldes, herramientas de minería, componentes aeroespaciales y otros campos. En 2023, el mercado mundial de carburo cementado alcanzará los 20 000 millones de dólares y se espera que aumente a 30 000 millones de dólares en 2030 (un crecimiento anual promedio del 6 %). La producción de China representa el 85 % del total mundial y las exportaciones representan el 40 %. En el contexto de la fabricación inteligente con inteligencia artificial (IA), la demanda de los clientes ha pasado de la producción estandarizada a la personalización altamente personalizada, lo que requiere la generación automática de grados únicos para cada producto o incluso para un solo producto (como las herramientas de aleación de titanio para aviación que deben ser resistentes al calor hasta 1000 °C) y la obtención de información completa del ciclo de vida a través de códigos QR o identificación por radiofrecuencia (RFID), que incluye la composición, la vida útil, la ruta de reciclaje, la huella de carbono y los indicadores ambientales, sociales y de gobernanza (ESG). La Internet industrial (5G/6G) admite la transmisión de datos en tiempo real y la producción automatizada impulsada por IA logra una iteración rápida y mantiene el liderazgo tecnológico sin protección de patentes.

China Tungsten Intelligence Alliance (CTIA GROUP, http://CTIA.GROUP) es líder mundial en fabricación inteligente de carburo cementado mediante IA y diseño y fabricación personalizados desde hace muchos años. Integra IA (redes profundas DQN, redes generativas antagónicas GAN, Transformer, aprendizaje multimodal), internet industrial (5G/6G), gemelo digital (Unity3D + TensorFlow), blockchain (Hyperledger + Polkadot) y tecnología de reciclaje ecológico (microhardbox inteligente) para diseñar la "Especificación de Grado Personalizado CTIA" (CTIA-PIN). Esta especificación genera automáticamente grados mediante IA y promueve la innovación abierta. Sus objetivos incluyen:

Personalización
La IA genera dinámicamente números de marca únicos para satisfacer las necesidades del cliente con un error de menos del 0,5 %.

Transparencia de la información
El código QR proporciona ingredientes, vida útil, ruta de reciclaje e indicadores ESG, lo que aumenta la transparencia en un 40%.

Conectividad inteligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Transmisión en tiempo real 5G/6G, optimización multiobjetivo de IA, vida útil extendida en un 20%, eficiencia aumentada en un 15%.

Ciclo Verde

La tasa de reciclaje supera el 90%, las emisiones de carbono se reducen en un 50% y apoyan los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS 12, 13).

Competitividad global

Se espera que cubra el 80% de los clientes chinos para 2030, se expanda a más de 50 países y alcance una participación de mercado del 40%.

CTIA GROUP ofrece soporte técnico, capacitación y servicios de reciclaje a través de http://CTIA.GROUP, y está comprometido a promover la transformación de la industria del carburo cementado hacia la inteligencia y la ecología.

2. Glosario

carburo cementado

Material compuesto de alto rendimiento (ISO 513) fabricado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con aglutinantes metálicos como cobalto (Co) y níquel (Ni), y sinterizado mediante pulvimetalurgia. Su dureza (HV1600-2000) supera con creces la del acero de alta velocidad y presenta una excelente resistencia al desgaste, lo que lo hace ideal para corte, moldes, minería y otros usos. Por ejemplo, las herramientas de aviación pueden procesar aleaciones de titanio a una temperatura de 1000 °C y mantener una precisión de IT6. El proceso de fabricación incluye la molienda de la materia prima (tamaño de partícula: 0,2-3 μm), la mezcla, el prensado, la sinterización (1400-1500 °C) y el posprocesamiento (recubrimiento y pulido).

Carburo de tungsteno (WC)

El componente principal del carburo cementado, con una dureza de HV2200 y un punto de fusión de 2870 °C, proporciona alta dureza y resistencia al desgaste. Se extrae del mineral de tungsteno mediante deposición de vapor (CVD) o hidrometalurgia, con una pureza generalmente superior al 99,9 %, y el tamaño de partícula puede refinarse a 0,2 μm para mejorar la tenacidad. Los proveedores deben contar con la certificación ISO 20400 (compra sostenible) para garantizar la trazabilidad de la materia prima.

Cobalto (Co)

El aglutinante para carburo cementado, que representa entre un 4 % y un 15 %, mejora la tenacidad del material (resistencia a la fractura: 8-12 MPa·m²) y la resistencia al impacto. Se produce mediante electrólisis o reciclaje, con una pureza superior al 99,8 %. Los proveedores deben cumplir con la norma ISO 14001 (protección ambiental).

Carburo de titanio (TiC)

Los aditivos, que representan entre el 0 % y el 15 %, mejoran la resistencia térmica (resistencia a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

temperaturas superiores a 800 °C) y la resistencia a la oxidación. Se produce mediante un proceso de carbonización a alta temperatura, con un tamaño de partícula de 0,5 a 1 μm y una pureza superior al 99,7 %, y los proveedores deben proporcionar una certificación de calidad.

Fabricación inteligente con IA

Los algoritmos de IA (aprendizaje profundo, aprendizaje por refuerzo, Transformer, aprendizaje multimodal) se utilizan para optimizar el diseño de productos, la programación de la producción, el control de calidad y el mantenimiento, y lograr una personalización personalizada y una producción automatizada. Por ejemplo, la IA predice la vida útil de las herramientas (con un error inferior al 5 %) mediante el análisis de imágenes de desgaste y datos de vibración, ajusta dinámicamente la velocidad de corte y prolonga la vida útil de las herramientas en un 20 %. La fabricación inteligente con IA, combinada con el Internet industrial, facilita la toma de decisiones en tiempo real y una producción flexible.

Fabricación flexible

El sistema de fabricación admite la producción de lotes pequeños o incluso de piezas individuales, y logra una rápida conmutación (menos de un minuto) mediante equipos automatizados (horno de sinterización CNC, robot, procesamiento láser) y tecnología de gemelo digital. Por ejemplo, la línea de producción de CTIA GROUP puede producir herramientas de una sola pieza para clientes del sector de la aviación con un plazo de entrega de 7 días para satisfacer necesidades personalizadas.

Internet industrial

Gracias a 5G/6G, el Internet de las Cosas (IoT) y blockchain, se logra la interconexión de equipos, la transparencia de datos y la optimización en tiempo real. Los sensores recopilan datos de temperatura y vibración de las herramientas, que se suben a la nube a través de la red 6G (con un retraso inferior a 0,05 ms). Tras el análisis de IA, se emiten instrucciones de optimización (como reducir la velocidad en un 10 % y aumentar la vida útil en un 20 %). Blockchain garantiza la imposibilidad de manipular los datos y aumenta la transparencia en un 40 %.

MicroSmart Caja dura

La caja de reciclaje (10×5×3 cm) diseñada por CTIA GROUP está fabricada con ácido poliláctico (PLA) biodegradable (ciclo de degradación de 6 meses), integra identificación por radiofrecuencia (RFID), módulo 5G, múltiples sensores (peso ±0,1 g, temperatura ±0,5 °C, humedad ±2 %), y admite clasificación automática por IA (precisión del 98 %), optimización logística (error de ruta inferior al 5 %) y autodestrucción de datos (para evitar fugas). Hardbox reconoce el tipo de herramienta por peso e imagen y planifica automáticamente la ruta de reciclaje.

Industria 4.0

La cuarta revolución industrial, centrada en la IA, el IoT, el big data y los gemelos digitales, prioriza la inteligencia, la interconexión y la sostenibilidad. CTIA GROUP utiliza tecnología de la Industria 4.0 para lograr la producción de flujo de una sola pieza, la monitorización en tiempo real y el reciclaje sostenible.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ESG

Los indicadores ambientales, sociales y de gobernanza miden las capacidades de desarrollo sostenible de una empresa. CTIA GROUP apoya el ODS 12 (consumo y producción responsables) y el ODS 13 (acción por el clima) mediante una producción baja en carbono (huella de carbono inferior a 8 kg de CO_2/kg), una alta tasa de reciclaje (superior al 90 %) y una gobernanza transparente (más de 2000 nodos blockchain).

3. Ámbito de aplicación

CTIA-PIN es adecuado para herramientas de carburo (corte, fresado, perforación), moldes (estampado, moldeo por inyección), herramientas de minería (brocas, picos), piezas aeroespaciales (álabes de turbinas, carcasas), etc. Los clientes objetivo cubren las industrias de aviación, automotriz, impresión, médica, minería y energía, admiten flujo de una sola pieza (más de 1 pieza) y producción en masa, y se adaptan a entornos extremos como alta temperatura 1000 ° C, baja temperatura -40 ° C, corrosión marina, alta radiación y entorno de vacío.

4. Estado actual de los grados de carburo cementado en el país y en el extranjero

4.1 Normas internacionales

ISO 513:2012:

Clasificación: P (acero), M (acero inoxidable), K (hierro fundido), N (metales no ferrosos), S (aleaciones de alta temperatura), H (acero endurecido).

Ejemplos: P10 (WC:Co aproximadamente 94:6, acero de acabado), K20 (WC:Co aproximadamente 90:10, hierro fundido de desbaste).

Características: Según el material de procesamiento y la clasificación de la aplicación, el recubrimiento (como el nitruro de titanio TiN) se marca con un sufijo (como P10-CVD).

Limitaciones: Fórmula estandarizada, la información está limitada a ingredientes y usos y es difícil satisfacer necesidades personalizadas.

Empresas internacionales: Una empresa sueca lanzó un grado de grano ultrafino (grano 0,5 μm, Co 10%), utilizando trazabilidad blockchain, con una tasa de recuperación del 85%; una empresa estadounidense lanzó un grado de alta resistencia al desgaste (WC:Co aproximadamente 92:8, recubrimiento TiAlN), combinado con clasificación de IA, reduciendo los costos en un 20%.

4.2 Normas chinas

GB/T 18376-2014:

Clasificación: YG (WC-Co), YT (WC -TiC -Co), YW (WC -TiC-TaC -Co).

Ejemplos: YG8 (WC 92%, Co 8%, desbaste), YT15 (WC 79%, TiC 15%, Co 6%, acero de acabado).

Características: Se centra en la relación de componentes, algunos grados tienen granos refinados (menos de 1 μm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Limitaciones: Personalización insuficiente y falta de soporte de datos de ciclo de vida completo.
Estado de la industria: Las empresas nacionales ofrecen fórmulas personalizadas, pero no han formado estándares inteligentes y globalizados impulsados por IA, y la tasa de recuperación es inferior al 60%.

4.3 Problemas y requisitos

Personalización: Los clientes necesitan personalizar fórmulas para diferentes productos (como resistencia a altas temperaturas para cuchillos de aviación y resistencia al impacto para herramientas de minería).
Transparencia de la información: falta de vida útil, ruta de reciclaje, huella de carbono, indicadores ESG y la transparencia es inferior al 60%.
Inteligencia: La tasa de acceso a la optimización de la IA y a Internet industrial es inferior al 30% y el potencial de mejora de la eficiencia es limitado (20-30%).
Reciclaje verde: la tasa de reciclaje es inferior al 60% y falta una red global y un mecanismo de crédito de carbono.
Desarrollo sostenible: La falta de datos sobre la huella de carbono dificulta el apoyo a los objetivos ODS 12 y 13.

5. Comparación entre CTIA-PIN y los estándares de la industria

característica	PIN de CTIA	ISO 513	Ejemplos de negocios internacionales
Personalización	Generación automática de IA, personalización de una sola pieza, error inferior al 0,5 %.	Fórmula estandarizada, sin personalización.	Personalización limitada, necesita ser negociada
Transparencia de la información	El código QR proporciona información completa del ciclo de vida (ingredientes, vida útil, reciclaje, ESG), lo que aumenta la transparencia en un 40 %.	Ingredientes y usos únicamente	La trazabilidad blockchain mejora la transparencia en un 20%
Conectividad inteligente	5G/6G, optimización de IA, gemelos digitales, ajustes en tiempo real y una vida útil un 20 % mayor	Sin función de Internet	IoT limitado, se requiere equipo especial
Reciclar	Micro Smart Hardbox , red global, tasa de reciclaje superior al 90%, admite créditos de carbono	Sin apoyo al reciclaje	Tasa de recuperación 85%, regionalización
Fabricación ecológica	Huella de carbono inferior a 8 kg CO_2/kg, certificado EPD, apoya el ODS 12	No hay datos de huella de carbono	Objetivo parcial de neutralidad de carbono
Aplicabilidad global	Con cobertura en más de 50 países y una cuota de mercado del 40 % en 2030	Estándares globales, pero sin personalización	Principalmente en Europa y América, limitado en Asia.

Innovación: CTIA-PIN utiliza IA para generar automáticamente nombres de marca, reciclaje global y gestión completa del ciclo de vida, superando la norma ISO 513 y a las empresas internacionales, enfatizando la innovación abierta, sin la necesidad de protección de patentes y adaptándose a las necesidades de iteración rápida de la fabricación inteligente de IA.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6. Especificación del número de marca personalizado de CTIA (CTIA-PIN)

CTIA-PIN integra las certificaciones ISO 513, GB/T 18376 y experiencia internacional, y combina IA (DQN + GAN + Transformador + aprendizaje multimodal), Internet industrial (5G/6G), gemelo digital (Unity3D + TensorFlow), blockchain (Hyperledger + Polkadot) y Hardbox microinteligente para diseñar un sistema de marca dinámico y personalizado, compatible con la producción en flujo de una sola pieza (más de una pieza, tiempo de conmutación inferior a 1 minuto) y abarca la gestión completa del ciclo de vida. En el contexto de la fabricación inteligente con IA, la marca se genera automáticamente sin protección de patentes, lo que prioriza la innovación abierta y la rápida respuesta al mercado.

6.1 Estructura de calificaciones

El número de marca tiene 28 caracteres + números + valor hash, formato:
CTIA -[ID de cliente] -[ID de producto] -[ID de fórmula] -[ID inteligente]-[Versión]-[Entorno]
CTIA: Logotipo de marca de CTIA GROUP LTD (CTIA GROUP).
ID de cliente (4 dígitos): código de cliente único (por ejemplo, C001 para una compañía aérea).
ID del producto (4 dígitos): Código del producto (por ejemplo, P001 para herramientas de aviación).
ID de receta (16 dígitos):
Composición (6 dígitos): como M12345 (WC:Co : TiC:Ni :TaC = 90:8:2:0:0), incluida la regulación de oligoelementos (como Cr, V, 0–1%).
Proceso (10 dígitos): como T6789012345 (grano de 0,5 μm, recubrimiento de TiAlN de 3 μm, sinterización a 1400 °C, tratamiento térmico a 900 °C, pulido Ra inferior a 0,1 μm, implantación de iones N+, ingeniería de límites de grano para optimizar la tenacidad).
ID inteligente (4 bits): valor hash SHA-256 (como H7X9), que vincula a Internet industrial.
Versión (2 dígitos): Identificador de iteración (por ejemplo, V1 para la primera versión, V2 para la versión optimizada).
Entorno (2 dígitos): Entorno adaptable, como E1 (alta temperatura 1000°C), E2 (baja temperatura -40°C), E3 (corrosión marina), E4 (alta radiación), E5 (entorno de vacío, resistencia al desprendimiento del revestimiento).
Ejemplo: CTIA-C001-P001-M12345T6789012345-H7X9-V1-E1
Significado: La herramienta (P001) producida por CTIA GROUP para una compañía de aviación (C001) tiene una composición de WC:Co:TiC = 90:8:2 (el proveedor tiene certificación ISO 20400), un tamaño de grano de 0,5 μm, un recubrimiento de TiAlN de 3 μm, sinterización a 1400 °C, tratamiento térmico a 900 °C, pulido Ra menor que 0,1 μm, implantación de iones N+, ingeniería de límites de grano (M12345T6789012345), identificación inteligente H7X9, primera edición (V1), entorno de alta temperatura de 1000 °C (E1).

6.2 Codificación y adquisición de información

El número de marca está incrustado en un código QR (capacidad superior a 3 KB) o RFID (cumple

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

con la norma ISO 18000-6C). Tras escanearlo, visite la Plataforma Industrial de Internet de CTIA GROUP (p. ej. , http://CTIA.GROUP/cloud) para obtener la siguiente información:

6.2.1 Ingredientes

Base:

WC: 80–95%, dureza HV2200, producido por deposición de vapor o hidrometalurgia, pureza superior al 99,9%, el proveedor tiene certificación ISO 20400.

Co: 4–15%, proceso electrolítico o de recuperación, pureza superior al 99,8%, el proveedor cumple con las normas ISO 14001.

Ni: 0–5%, producido por electrólisis, pureza superior al 99,7%, el proveedor tiene certificación ISO 20400.

TiC : 0–15%, proceso de carbonización a alta temperatura, tamaño de partícula 0,5–1 μm, pureza superior al 99,7%.

TaC : 0–5%, deposición química de vapor, pureza superior al 99,8%.

Oligoelementos:

Cr3C2: 0–1%, resistente a la corrosión, pureza superior al 99,5%.

VC: 0–0,5%, granos refinados, pureza superior al 99,6%.

Grano: ultrafino (0,2–0,8 μm), grano fino (0,8–1,5 μm), grano medio grueso (1,5–3 μm).

Recubrimiento: nitruro de titanio (TiN), nitruro de titanio y aluminio (TiAlN), nitruro de aluminio y cromo (AlCrN), carbono similar al diamante (DLC), espesor 1–5 μm, precisión de recubrimiento ±0,1 μm.

Ejemplo: WC 90%, Co 8%, TiC 2%, tamaño de grano 0,5 μm, recubrimiento TiAlN 3 μm.

6.2.2 Características

Propiedades: dureza HV1600–2000, resistencia a la flexión 2–4 GPa , tenacidad a la fractura 8–12 MPa·m^1/2.

Escenarios: acabado (velocidad de corte 200 m/min, rugosidad superficial Ra inferior a 0,4 μm), desbaste (velocidad de avance 0,5 mm/rev), aleación de alta temperatura (resistencia al calor 1000°C).

Personalización: alta resistencia al calor (aviación), alta tenacidad (molde), resistencia a la corrosión (marina), resistencia a la radiación (industria nuclear), resistencia al desgaste por vacío (aeroespacial).

Ejemplo: Herramienta de aviación, resistente al calor hasta 1000°C, precisión de mecanizado IT6.

6.2.3 Precauciones de uso

Instalación: Fuerza de sujeción 500–1000 N, desviación inferior a 0,1 mm.

Fluido de corte: mecanizado en seco (recubrimiento DLC) o emulsión al 8-10% (recubrimiento TiAlN).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Evitar: Velocidades superiores a 5000 rpm, cortes interrumpidos (fórmulas de baja tenacidad).
Ejemplo: herramienta TiAlN , 8 % de fluido de corte, 3000–4000 rpm.

6.2.4 Vida útil

Predicción: 500 000–1 000 000 de veces (cuchillo de hoja recta), predicción gemela digital de IA, error inferior al 5 %.
Impacto: La dureza de la pieza de trabajo HRC es menor a 60 (la vida útil aumenta en un 30 %), la velocidad de corte se reduce en un 10 % (la vida útil aumenta en un 20 %).
Ejemplo: Herramienta de aviación, vida útil de 800.000 veces, procesamiento de acero HRC45, velocidad 150 m/min.

6.2.5 Parámetros de uso

Velocidad de corte: 50–250 m/min (acero), 100–400 m/min (aluminio).
Velocidad de avance: 0,02–0,5 mm/rev (0,02–0,1 para acabado, 0,2–0,5 para desbaste).
Profundidad de corte: 0,1–5 mm (menos de 1 mm para acabado).
Ejemplo: aleación de titanio, velocidad 80 m/min, avance 0,05 mm/rev, profundidad 0,5 mm.

6.2.6 Requisitos ambientales

Temperatura: entorno operativo 10–40 °C, temperatura de procesamiento menor a 1000 °C (E1), -40– 60 °C (E2).
Humedad: La humedad de almacenamiento es inferior al 60%, la humedad de procesamiento es inferior al 80% (E3, corrosión marina).
Radiación: E4 (alta radiación, tolerancia mayor a 100 Gy).
Vacío: E5 (ambiente de vacío, resistente al desprendimiento del revestimiento).
Limpio: Polvo menor a 0,01 mg/m³ .
Ejemplo: Almacenamiento a 25°C, humedad 50%, procesamiento con buena ventilación.

6.2.7 Información de mantenimiento

Reafilado: desgaste inferior a 0,1 mm, se puede reafilar de 3 a 5 veces, utilizar muela de diamante (D15), error de ángulo de borde inferior a 0,5°.
Reparación de recubrimiento: recubrimiento por deposición física de vapor (PVD) de 2 a 4 μm, rendimiento restaurado en un 90 %.
Tratamiento de superficie: implantación de iones (N+, dureza aumentada en un 10%), pulido (Ra menos de 0,1 μm), ingeniería de límites de grano (tenacidad aumentada en un 15%).
Servicio: Centros de rectificado CTIA GROUP (Shanghai, Chengdu, Guangzhou, Düsseldorf, Nueva York), tiempo de ciclo de 3 a 5 días.
Ejemplo: Un cuchillo de filo recto se afila 4 veces, lo que reduce el coste en un 40%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6.2.8 Ruta de reciclaje

Micro Smart Hardbox : tamaño 10 × 5 × 3 cm, material de ácido poliláctico biodegradable (PLA) (ciclo de degradación de 6 meses), identificación por radiofrecuencia integrada, módulo 5G, múltiples sensores (peso ± 0,1 g, temperatura ± 0,5 ° C, humedad ± 2%, vibración ± 0,01 mm / s), admite clasificación automática de IA (precisión 98%), estrategia de reciclaje adaptativo (optimización de ruta, reducción de costos 20%), autodestrucción de datos (para evitar fugas).
Ruta de reciclaje: usuario → logística (cubre el 90% de las ciudades a nivel de prefectura, más de 50 países) → centro de reciclaje de CTIA GROUP (Shanghai, Chengdu, Düsseldorf, Nueva York) → planta de reciclaje profesional.
Red global: Se espera que cubra más de 50 países para 2030, con un tiempo de respuesta de menos de 24 horas.
Optimización de IA: predecir el tiempo de reciclaje (error menor a 12 horas), optimizar las rutas logísticas (reducir las emisiones de carbono en un 15%).
Seguimiento de blockchain: Hyperledger+Polkadot registra la ruta de reciclaje de cada herramienta, con más de 2.000 nodos y un aumento del 40% en la transparencia.
Créditos de carbono: al reciclar 1 kg de cuchillos obtendrá 0,5 kg de créditos de CO_2, lo que respaldará el comercio de carbono.
Ejemplo: un cuchillo se coloca en una Hardbox , se recoge en 12 horas y se recicla en 7 días, obteniendo 0,5 kg de crédito de CO_2.

6.2.9 Valor de recuperación

Estimación: El precio de mercado del tungsteno es de xxxx yuanes/kg y el valor de reciclaje es de xxxx yuanes/kg (pureza superior al 95%).
Incentivo: Efectivo o créditos de carbono (tasa de intercambio 1:2), tasa de participación incrementada en un 50%.
Ejemplo: 1 kg de herramientas de corte, valor de reciclaje xxxx yuanes, los puntos de carbono se pueden canjear por xxxx dólares estadounidenses de herramientas de corte nuevas.

6.2.10 Responsables en cada etapa

Fabricante: CTIA GROUP LTD Co., Ltd. (CTIA GROUP, sede de Shanghai, http://CTIA.GROUP).
Logística: Socios logísticos globales, el tiempo de entrega es inferior a 24 horas.
Reciclaje: Centros de reciclaje de CTIA GROUP (Shanghai, Chengdu, Düsseldorf).
Gestión de datos: Plataforma cloud de CTIA GROUP (más de 1.000 nodos).
xx, gerente de producción (CTIA GROUP), Li xx, gerente de reciclaje (centro de reciclaje de CTIA GROUP).

6.2.11 Certificación de calidad

Normas: ISO 9001 (gestión de calidad), ISO 14001 (gestión medioambiental), ISO 14040

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(evaluación del ciclo de vida), ISO 14064 (contabilidad del carbono).
Certificación EPD: Declaración Ambiental de Producto, cuantifica la huella de carbono y el consumo energético.
Huella de carbono: La producción de 1 kg de herramientas de corte produce menos de 8 kg de emisiones de carbono de CO_2 y el reciclaje las reduce en un 50 %.
Ejemplo: Herramienta certificada según ISO 14001 y EPD con una huella de carbono de 7,5 kg CO_2/kg.

6.2.12 Autenticación de seguridad

Seguridad de los datos: Cifrado AES-256, firma RSA-4096, conforme a RGPD, Ley de Seguridad de Datos, ISO 27001.
Seguridad del hardware: Hardbox antimanipulación (IP68, resistencia a caídas de 1,5 m, resistencia a temperaturas de -40 a 80 °C), mecanismo de autodestrucción de datos.
Arquitectura de confianza cero: autenticación multifactor, la tasa de fuga de datos es inferior al 0,01 %.
Aprendizaje federado de IA: proteja la privacidad de los datos de los clientes, realice capacitaciones colaborativas entre empresas y mejore la eficiencia en un 30 %.
Ejemplo: La plataforma en la nube tiene certificación ISO 27001 y Hardbox cuenta con certificación IP68.

6.2.13 Datos de consumo de energía

Producción: 1 kg de herramienta consume menos de 50 kWh de electricidad y emite menos de 8 kg de CO_2 .
Reciclaje: El consumo de energía es inferior a 10 kWh y las emisiones de carbono son inferiores a 2 kg de CO_2 .
Ejemplo: La producción consume 45 kWh y el reciclaje consume 8 kWh.

6.2.14 Monitoreo de la cadena de suministro en tiempo real

Sistema: Blockchain (Hyperledger+Polkadot) rastrea las materias primas, la producción y la logística en tiempo real.
Proveedores: Los proveedores de materia prima (WC, Co, TiC) cuentan con certificación ISO 20400, con una pureza superior al 99,7% y trazabilidad hasta la fuente de la mina.
Inventario dinámico: la IA predice la demanda (error menor al 5%), reduciendo los costos de inventario en un 25%.
Ejemplo: el inventario de WC es de 1000 kg, la IA predice el consumo de 7 días y lo repone automáticamente.

6.2.15 Costo del ciclo de vida (LCC)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Producción: $50–100/kg (materiales, consumo de energía, optimización de IA).
Uso: 0,01-0,05 USD/corte (vida útil 800.000 veces).
Reciclaje: Beneficios de $15–25/kg, una reducción del 30% en los costos totales.
Ejemplo: producir 1 kg de herramienta de corte cuesta $80, usar $0,02 y reciclar $20, lo que reduce los costos totales en un 35%.

6.2.16 Análisis de la eficiencia energética del ciclo de vida

Certificación EPD: el consumo de energía de producción es inferior a 50 kWh/kg y el consumo de energía de reciclaje es inferior a 10 kWh/kg.
Desglose de la huella de carbono:
Producción: 6 kg CO_2/kg (4 kg materia prima, 2 kg sinterización).
Transporte: 0,5 kg CO_2/kg (logística global).
Uso: 1 kg CO_2/kg (reduciendo el consumo energético).
Recuperación: 0,5 kg CO_2/kg (clasificación XRF, logística).
Índice de eficiencia energética: El consumo de energía reciclada es solo el 20% de la producción, lo que apoya el ODS 12.
Ejemplo: La huella de carbono total de una herramienta de corte es de 7,5 kg de CO_2/kg (6 para producción, 0,5 para transporte, 1 para uso y 0,5 para reciclaje).

6.2.17 Sugerencias de mantenimiento dinámico de IA

Función: Basándose en el desgaste en tiempo real (imágenes, vibración, temperatura, datos mecánicos), la IA genera recomendaciones de mantenimiento (como reducir la velocidad en un 10% y extender la vida útil en un 20%).
Datos: Fusión de aprendizaje multimodal de imágenes de la superficie de la herramienta (resolución 0,01 mm), vibración (0,01 mm/s) y temperatura (±0,5 °C).
Salida: Ajuste la velocidad de corte, la velocidad de avance, la relación de refrigerante y envíela a las máquinas herramienta CNC.
Ejemplo: El desgaste es de 0,06 mm. AI recomienda reducir la velocidad a 120 m/min, lo que aumenta la vida útil en un 20 %.

6.2.18 Seguimiento logístico del reciclaje

Sistema: Blockchain (Hyperledger+Polkadot) registra toda la cadena logística (usuario → centro de reciclaje → planta de reciclaje).
Función: Visualización en tiempo real de la ubicación de Hardbox y datos ambientales (temperatura, humedad), con una mejora de transparencia del 40%.
Optimización de IA: ajuste dinámicamente las rutas logísticas para reducir las emisiones de carbono en un 15%.
Ejemplo: Se necesitan 7 días para transportar un Hardbox desde un usuario en Shanghái hasta un centro de reciclaje, con emisiones de carbono de 0,5 kg de CO_2/kg.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

6.2.19 Capacitación del usuario

Formato: Cursos en línea (http://CTIA.GROUP/academy), instrucción en realidad aumentada (RA) (HoloLens 2), capacitación en sitio.
Contenido: Instalación de herramientas, optimización de parámetros, uso de Hardbox , proceso de reciclaje, interacción con IA.
Ciclo: 2 horas cada vez, la tasa de cobertura supera el 95%.
Ejemplo: Los clientes de aviación completaron la capacitación sobre AR y el error de instalación fue inferior a 0,05 mm.

6.2.20 Responsabilidad social (ESG)

Medio ambiente: Huella de carbono inferior a 8 kg CO_2/kg, tasa de reciclaje superior al 90%, apoyando el ODS 12.
Sociedad: Crear 200.000 empleos (reciclaje, datos, formación), tasa de cobertura de formación superior al 95% e igualdad de género (ratio empleado 1:1).
Gobernanza: Mejora del 40% en transparencia y cumplimiento anticorrupción (ISO 37001).
Ejemplo: Reducir las emisiones de carbono en un 20% para 2025 y capacitar a 100.000 usuarios.

6.2.21 Proceso de personalización del cliente

paso:
Presentación de requisitos: Los clientes ingresan los requisitos de material, precisión, vida útil y ambientales a través de http://CTIA.GROUP/custom.
Optimización de IA: el aprendizaje multimodal fusiona imágenes y datos de sensores para generar recetas con un error de menos del 0,5 %.
Generación de números de marca: genere automáticamente números de marca (como CTIA-C001-P001-M12345T6789012345-H7X9-V1-E1).
Producción: Fabricación flexible, flujo de una sola pieza, tiempo de ciclo de 7 días.
Entrega: Logística global, el tiempo es inferior a 24 horas.
Retroalimentación: Puntuación en tiempo real (http://CTIA.GROUP/feedback), análisis de sentimiento de IA (precisión del 90%).
Ejemplo: un cliente de aviación envía una solicitud de herramientas de corte de aleación de titanio, que se entrega en 7 días y tiene una calificación de 4,8 estrellas.

6.2.22 Mecanismo de retroalimentación del cliente

Sistema: http://CTIA.GROUP/feedback, admite calificación en tiempo real (1 a 5 estrellas), análisis de sentimientos de IA (90 % de precisión).
Respuesta: El tiempo de resolución de problemas es menor a 24 horas y la satisfacción aumenta en un 50%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ejemplo: Calificación de cliente de aviación 4,8 estrellas, comentario “La vida útil supera las expectativas”.

6.2.23 Acceso a Internet industrial

Punto de entrada: http://CTIA.GROUP/cloud (se espera que se lance en 2030).
Contraseña: generada dinámicamente (por ejemplo, CTIA-C001-20250505-XYZ).
Ruta: sensores IoT → edge computing (MEC, tiempo de respuesta menor a 10ms) → 5G/6G (ancho de banda mayor a 100 Gbps, latencia menor a 0,05ms, densidad de conexión $10^7/km^2$) → plataforma en la nube → blockchain.
Protocolo: protocolo MQTT, cifrado AES-256, rendimiento superior a 10^6 transacciones/s.
Ejemplo: Escanee el código QR, ingrese la contraseña y vea los datos de desgaste de la herramienta en tiempo real.

6.2.24 Ruta de transmisión de información en tiempo real

Sensor: recopila datos de temperatura, vibración y desgaste con una frecuencia de muestreo de 10 Hz y un tiempo de respuesta de computación perimetral de menos de 10 ms.
Red: 5G (que cubre el 95% de las ciudades, latencia 1 ms) o 6G (que cubre el 80% de las áreas industriales en 2030, latencia 0,05 ms, densidad de conexión $10^7/km^2$, comunicación de frecuencia ultra alta THz, confiabilidad del 99,9999%).
Plataforma en la nube: capacidad de almacenamiento mayor a 1 PB, velocidad de procesamiento superior a 10^6 registros/s.
Blockchain: Hyperledger+Polkadot , con más de 2000 nodos, almacenamiento descentralizado, escalable a 10^4 nodos y un 40 % más de transparencia.
Ejemplo: Temperatura de la herramienta 1000 °C, vibración 0,1 mm/s, datos cargados cada segundo.

6.2.25 Usar el código de comando de ajuste

Formato: Python, protocolo MQTT, recepción de instrucciones de optimización multiobjetivo de IA (vida útil, eficiencia, costo).
Función: Ajusta la velocidad de corte, la velocidad de avance y la relación de refrigerante.
Código de muestra:

```
importar paho.mqtt.client como mqtt
importar json

corredor = "CTIA.GROUP"
puerto = 1883
tema = "CTIA/C001/P001/M12345T6789012345/control"

def on_ mensaje ( cliente, datos de usuario , mensaje):
datos = json.loads ( msg.payload.decode ( ) )
```

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

```
velocidad = datos["velocidad"] # m/min
avance = datos["avance"] # mm/rev
refrigerante = datos["refrigerante"] # %
print( f"Ajuste : velocidad de corte = {velocidad} m/min, velocidad de avance = {avance} mm/rev, refrigerante = {refrigerante}%")
ajustar_máquina ( velocidad, avance , refrigerante)

cliente = mqtt.Cliente ()
cliente.on_message = on_message
cliente.conectar (broker, puerto, 60)
cliente.suscribirse (tema)
cliente.loop_forever ( )
```

Operación: La IA detecta un desgaste de 0,05 mm, reduce la velocidad del comando a 120 m/min, extiende la vida útil en un 20% y mejora la eficiencia en un 15%.
Seguridad: encriptación RSA-4096, autenticación de confianza cero.

6.3 Generación y gestión de marca

Optimización de IA:
Entrada: requisitos del cliente (material, precisión, vida útil, entorno), parámetros del producto (tamaño, tipo de procesamiento), datos en tiempo real (imágenes de desgaste, vibración, temperatura, mecánica).
Algoritmo: Deep Q-network (DQN) + Generative Adversarial Network (GAN) + Transformer + Multimodal Learning, con más de 10^6 conjuntos de datos de entrenamiento (rendimiento de la herramienta, datos de corte, adaptación ambiental), imágenes de fusión (superficie de la herramienta, resolución 0,01 mm), vibración (0,01 mm/s), temperatura (±0,5°C), mecánica (fuerza de corte ±0,1 N), composición optimizada (WC:Co:TiC+trace Cr, V), granos, recubrimientos, temperatura de sinterización, tratamiento térmico, tratamiento de superficie, ingeniería de límites de grano, con un error de menos de 0,5%.
Optimización multiobjetivo: vida útil (superior a 800.000 veces), eficiencia (velocidad superior a 200 m/min), coste (menos de 100 $/kg), huella de carbono (menos de 8 kg CO_2/kg).
Aprendizaje federado: proteja la privacidad de los datos de los clientes, realice capacitaciones colaborativas entre empresas y mejore la eficiencia en un 30 %.
Salida: ID de fórmula (como M12345T6789012345), nombre de marca generado automáticamente, no se requiere protección de patente.
Fabricación flexible:
Equipamiento: Línea de producción inteligente CTIA GROUP (horno de sinterización CNC, máquina de recubrimiento por deposición física de vapor, grabador láser, implantador de iones, pulidor), que admite flujo de una sola pieza (más de 1 pieza, tiempo de conmutación inferior a 1 minuto).
Programación: Basado en el sistema de ejecución de fabricación gemelo digital, el tiempo de asignación de tareas es inferior a 1 minuto y el ciclo de producción se acorta en un 30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Diseño modular: Los componentes de la herramienta cumplen con las normas ISO 1832, reduciendo los costos de inventario en un 25%.
Gestión de datos:
Blockchain: Hyperledger+Polkadot , registra todo el proceso de generación, fabricación y reciclaje de marca, con más de 2.000 nodos, escalable a 10^4 , y transparencia incrementada en un 40%.
Plataforma en la nube: capacidad de almacenamiento mayor a 10^8 marcas, tiempo de consulta menor a 0,1 segundos.
Ejemplo: Demanda de herramientas de aviación (aleación de titanio, vida útil superior a 800.000 veces, resistencia al calor 1000°C), generar grado CTIA-C001-P001-M12345T6789012345-H7X9-V1-E1, ciclo de producción 7 días.

6.4 Aplicaciones de gemelos digitales

Modelo: Gemelo digital de la herramienta (Unity3D+TensorFlow), simulación en tiempo real de desgaste, temperatura, fuerza de corte y adaptabilidad ambiental.
Función:
Predicciones: vida útil (error inferior al 5%), desgaste (precisión ±0,01 mm), huella de carbono (±0,1 kg de CO_2) .
Optimización: velocidad de corte reducida en un 10%, vida útil aumentada en un 20%; velocidad de avance reducida en un 20%, eficiencia aumentada en un 15%; refrigerante optimizado, emisiones de carbono reducidas en un 10%.
Computación de borde: la computación de borde móvil (MEC) procesa datos de sensores con un tiempo de respuesta de menos de 10 ms, lo que reduce la carga en la nube en un 50%.
Aprendizaje multimodal: la fusión de imágenes de la superficie de la herramienta (resolución 0,01 mm), vibración (0,01 mm/s), temperatura (±0,5 °C) y fuerza de corte (±0,1 N) mejora la precisión de la predicción en un 20 %.
Ejemplo: El gemelo digital de una herramienta de aviación detecta un desgaste de 0,06 mm, reduce la velocidad de avance del comando a 0,04 mm/rev, mejora la eficiencia en un 15 % y reduce la huella de carbono en 0,5 kg de CO_2/kg.

6.5 Desafíos y respuestas de implementación

Sesgo del modelo de IA
Desafío: Los datos de entrenamiento sesgados conducen a una optimización desigual de las recetas (por ejemplo, las necesidades de la aviación tienen prioridad sobre la minería).
Respuesta: Introducir conjuntos de datos diversos (que cubran aviación, minería y atención médica) y utilizar algoritmos de regularización (norma L2) para reducir el sesgo en un 30%.

Fluctuaciones de la cadena de suministro
Desafío: Suministro inestable de materias primas (WC, Co), riesgo 30%.
Respuesta: Proveedores diversificados (todos con certificación ISO 20400), compras dinámicas con IA (error de predicción inferior al 5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Privacidad de datos

Desafío: Riesgo de fuga de datos de clientes (parámetros de procesamiento, diseño del producto).

Respuesta: Arquitectura de confianza cero, aprendizaje federado de IA, cumplimiento de GDPR y la Ley de Seguridad de Datos, tasa de fuga inferior al 0,01%.

Costo de la tecnología

Desafíos: Altos costos de capacitación en IA, implementación de 6G y producción de Hardbox (US$1 millón al año inicialmente).

Respuesta: Diseño modular (costo del Hardbox reducido a US$5/unidad), alquiler de servicios en la nube (US$0,1/GB) y modelos de IA de código abierto .

Aceptación del usuario

Desafíos: Los nuevos estándares tienen altos costos de aprendizaje y la tasa de aceptación es inferior al 70%.

Respuesta: Formación en realidad aumentada (HoloLens 2, 2 horas cada vez), cursos online (http://CTIA.GROUP/academy), con una tasa de cobertura superior al 95%.

6.6 Casos de aplicación

herramientas de aviación

Marca: CTIA-C001-P001-M12345T6789012345-H7X9-V1-E1.

Parámetros: composición WC:Co :TiC = 90:8:2 (el proveedor tiene certificación ISO 20400), tamaño de grano 0,5 μm, recubrimiento de TiAlN 3 μm, sinterización 1400 °C, tratamiento térmico 900 °C, pulido Ra menor a 0,1 μm, implantación de iones N+, la ingeniería de límites de grano mejora la tenacidad en un 15 %.

Proceso de personalización

Presentación de demanda

Los clientes de aviación envían sus requisitos a través de http://CTIA.GROUP/custom (mecanizado de aleación de titanio, vida útil superior a 800.000 veces, resistencia al calor de 1000 °C, precisión IT6).

Optimización de IA

El aprendizaje multimodal analiza la imagen de la pieza de trabajo (superficie de aleación de titanio), los parámetros de procesamiento (velocidad, velocidad de avance) y los datos ambientales (1000 °C) cargados por el cliente para generar una receta con un error de menos del 0,5 %.

Generación de marca

Generar automáticamente el número de marca CTIA-C001-P001-M12345T6789012345-H7X9-V1-E1.

Producción

Fabricación flexible, horno de sinterización CNC (precisión de temperatura ±5°C), máquina de recubrimiento por deposición física de vapor (precisión de espesor ±0,1μm), implantador de iones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(dosis de N+ $10^{17}/cm^2$) , tiempo de ciclo de 7 días.

entregar

Logística global, entrega a clientes en 24 horas.

comentario

Calificaciones y comentarios de los clientes sobre " vida útil, precisión y otros datos".

solicitud

Procesamiento de piezas de aleación de titanio de aviación, velocidad de corte 80 m/min, velocidad de avance 0,05 mm/rev, profundidad de corte 0,5 mm, vida útil 800.000 veces, rugosidad superficial Ra inferior a 0,4 μm, resistencia al calor 1000 °C.

beneficio

Económico: la frecuencia de cambio de herramientas se reduce en un 50% y los costos de producción se reducen en un 30%.

Protección del medio ambiente: Huella de carbono 7,5 kg CO_2/kg (6 para producción, 0,5 para transporte, 1 para uso, 0,5 para reciclaje) y 0,5 kg CO_2 de crédito de carbono obtenido.

Tecnología: La IA optimiza los parámetros de corte, aumentando la eficiencia en un 15% y alargando la vida útil de la herramienta en un 20%.

Sociedad: La puntuación ESG puede alcanzar 4,8/5 y la satisfacción del cliente mejora enormemente.

Función de código QR

El enlace http://CTIA.GROUP/cloud muestra la composición (WC 90%, Co 8%), la vida útil (800.000 veces), la ruta de reciclaje (7 días), la descomposición de la huella de carbono y los créditos de carbono (tasa de intercambio 1:2).

7. Ruta de implementación y beneficios

7.1 Ruta de implementación

2025–2027: Proyectos piloto en Shanghái, Chengdu, Guangzhou, Düsseldorf y Nueva York, que generarán 10^4 grados que abarcarán industrias como la aviación, la automotriz y la medicina, con una tasa de reciclaje del 80%.

2028–2030: Expandirse al 90% de las ciudades a nivel de prefectura en China, expandirse a más de 50 países, llegar a 10 marcas ^{6} , integrar Hardbox microinteligente y lograr una tasa de reciclaje del 90%.

Después de 2030: a través de la Iniciativa del Cinturón y la Ruta y la cooperación del G20, la participación en el mercado global alcanzará el 40% y CTIA-PIN se convertirá en un estándar ISO.

7.2 Beneficios

Económico: La eficiencia de producción aumentó en un 40%, el costo de personalización se redujo en un 30%, el valor de reciclaje fue de 15 a 25 USD/kg y el costo del ciclo de vida se redujo en un 35%.

Protección del medio ambiente: las emisiones de carbono se reducen en un 50%, el líquido residual se reduce en un 60% y se obtienen 0,5 kg de crédito de carbono CO_2 por cada kg de herramientas de corte, apoyando los ODS 12 y 13.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Social: Crear 200.000 puestos de trabajo (reciclaje, datos, formación), aumentar la satisfacción del cliente en un 50% y lograr la igualdad de género (ratio empleado 1:1).
Tecnología: el error de optimización de la IA es inferior al 0,5%, la tasa de acceso a Internet industrial es del 100% y la transparencia de la cadena de suministro aumenta en un 40%.

8. Conclusión

La especificación de marca personalizada de CTIA GROUP LTD. (CTIA-PIN) integra IA (DQN+GAN+Transformer+multimodal learning), Internet industrial (5G/6G), gemelos digitales, blockchain (Hyperledger+Polkadot) y Hardbox microinteligente a través de una marca de 28 dígitos (CTIA -[ID de cliente] -[ID de producto] -[ID de fórmula] -[Identificación inteligente]-[Versión]-[Entorno]), admite la personalización del flujo de una sola pieza. El código QR o RFID vincula la información completa del ciclo de vida (ingredientes, vida útil, huella de carbono, ruta de reciclaje, ESG, costo del ciclo de vida, certificación EPD), 5G/6G (latencia inferior a 0,05 ms, densidad de conexión 10^7 / km²) y blockchain (más de 2000 nodos, escalable a 10^4) garantizan la transparencia en tiempo real, y la optimización multiobjetivo de IA extiende la vida útil de la herramienta en un 20% y mejora la eficiencia en un 15%. El Hardbox microinteligente (biodegradable, multisensor, autodestrucción de datos) logra una tasa de reciclaje de más del 90%, una relación de intercambio de créditos de carbono de 1:2 y 0,5 kg de crédito de CO_2 por cada kg de herramienta. La eficiencia de verificación de la caja de herramientas de aviación aumentó en un 40%, el costo disminuyó en un 30% y la puntuación ESG fue de 4,8. Se espera que para 2030, CTIA-PIN cubra el 90% de los clientes chinos, se expanda a más de 50 países y alcance una participación de mercado global del 40%, liderando la fabricación inteligente de carburo cementado con IA y la economía circular verde, y apoyando los objetivos de los ODS de las Naciones Unidas.

9. Referencias

ISO 513:2012, Clasificación y uso de materiales de corte duros.
ISO 14040:2006, Gestión ambiental – Evaluación del ciclo de vida.
ISO 27001:2013, Sistemas de gestión de seguridad de la información.
ISO 37001:2016, Sistemas de gestión antisoborno.
ISO 20400:2017, Compras sostenibles.
ISO 14064:2006, Contabilidad y verificación de gases de efecto invernadero.
Informe del mercado global de carburo cementado, MarketsandMarkets , 2023.
Libro blanco sobre fabricación inteligente de China, Engineering.gov.cn, 2024.
Serie de temas de Internet industrial 3: Caso de plataforma de personalización personalizada, Zhihu , 2021.
Personalización de IA en la fabricación inteligente, AISCK, 2024.
Visión y requisitos de 6G, UIT-R, 2024.
Tendencias de gemelos digitales, Gartner, 2023.
Avances en el aprendizaje por refuerzo, DeepMind, 2023.
Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas, 2023, https://sdgs.un.org/.
Internet industrial de las cosas y blockchain, IEEE, 2024.
Manufactura sustentable en China, CSIS, 2024.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Orientación sobre declaraciones ambientales de productos (DAP), PNUMA, 2023.
Sitio web de CTIA GROUP LTD : http://ctia.group

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

Revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino

El revestimiento de carburo de grano fino resistente al desgaste es un material de alto rendimiento diseñado para condiciones de trabajo extremas y se utiliza ampliamente en minería, construcción, energía, metalurgia, industria química, puertos, terminales y estaciones. Su característica principal son sus granos ultrafinos (0,21 micras), que le confieren una excelente dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, y una vida útil 35 veces superior a la de los materiales convencionales. Ya sea para resistir el impacto a alta velocidad del mineral o el desgaste continuo del carbón, este revestimiento puede mejorar significativamente la durabilidad y la eficiencia operativa de los equipos. A continuación, presentaremos en detalle las características del material, el proceso de fabricación, los escenarios de aplicación, los datos técnicos y las ventajas, para que pueda apreciar el encanto de esta estrella industrial.

1.1 Composición del material de revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino

El esqueleto de los revestimientos resistentes al desgaste de carburo cementado de grano fino está compuesto de carburo de tungsteno (WC), que representa entre el 85 % y el 95 %, lo que proporciona al material una dureza excepcional y resistencia al desgaste. Algunas fórmulas también añaden carburo de titanio (TiC) o carburo de tántalo (TaC) para mejorar su rendimiento a altas temperaturas. El cobalto (Co, 612 %) o el níquel (Ni) actúan como aglutinante, aportando al material tenacidad y resistencia al impacto. Una pequeña cantidad de cromo (Cr) o molibdeno (Mo) mejora aún más la resistencia a la corrosión y a la oxidación, garantizando la estabilidad del revestimiento en entornos hostiles.

1.2 Características clave del revestimiento resistente al desgaste de carburo cementado de grano fino

Dureza: La dureza es tan alta como HRA 89 - 93 (HV 14001800), superando ampliamente al acero con alto contenido de manganeso (HRC 2050).
Tenacidad: La tenacidad a la fractura alcanza los 812 MPa·m^1/2, un 30 % más alta que el carburo cementado ordinario, resistiendo eficazmente el impacto y las grietas.
Resistencia al desgaste: La tasa de desgaste es tan baja como 0,01 mm^3/ N·m (ASTM G65), que es 23 veces menor que la del hierro fundido con alto contenido de cromo.
Densidad: 14,5 - 15,0 g/cm^3, teniendo en cuenta tanto la resistencia como el peso.
Resistencia a la corrosión: En un entorno neutro o ligeramente ácido (pH 47), la tasa de corrosión es inferior a 0,05 mm/año. Una base o recubrimiento de níquel puede mejorar aún más la resistencia a ácidos y álcalis.
Resistencia a la temperatura: puede soportar hasta 600 - 800 °C, adecuado para escenarios de desgaste a alta temperatura.

1.3 Datos técnicos del revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tamaño: espesor 5 - 50 mm, área hasta 2 m^2, admite diseño de superficie curva compleja.
Peso: 0,550 kg por pieza, diseño modular para una fácil instalación.
Instalación: Fijación mediante pernos, soldadura o pegado, tiempo de instalación <2 horas/m2.
Vida útil: 5000 – 10000 horas, 35 veces la de los materiales ordinarios.

1.4 El secreto de la estructura de grano fino

El tamaño de grano del carburo cementado de grano fino es de tan solo 0,21 micras (el carburo cementado común es de 15 micras). Este "tallado fino" microscópico ofrece ventajas significativas. Los granos finos aumentan la densidad de los límites de grano, mejoran la dureza y la resistencia; al mismo tiempo, dispersan la tensión, inhiben la propagación de grietas y mejoran la tenacidad. Unos patrones de desgaste más uniformes reducen el desconchado microscópico, prolongando así la vida útil del revestimiento.

2. Proceso de fabricación de revestimiento resistente al desgaste de carburo cementado de grano fino

El proceso de creación de revestimientos resistentes al desgaste de carburo de grano fino es como fundir una obra de arte precisa, que se basa en la exquisita artesanía de la tecnología de pulvimetalurgia para garantizar que el rendimiento del material alcance su máximo rendimiento.

La fabricación comienza con polvos de carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) de alta pureza (pureza > 99,9%). Estos polvos se muelen cuidadosamente en un proceso de molienda húmeda de 24 a 48 horas para garantizar un tamaño y distribución de grano uniformes. Posteriormente, se prensan para obtener cuerpos verdes de alta densidad a una presión de 200 a 300 MPa mediante tecnología de prensado isostático en frío (CIP), lo que sienta las bases para el conformado posterior.

El cuerpo verde pasa a la etapa de prensado isostático en caliente (HIP), donde se sinteriza a una temperatura de 1400-1500 °C y una presión de 100-150 MPa. Este proceso no solo elimina los microporos y defectos internos, lo que reduce la densidad del material a casi el 100 %, sino que también garantiza la finura de los granos. Para evitar el crecimiento excesivo de grano a altas temperaturas, se añade una pequeña cantidad de VC o Cr_3C_2 como inhibidor de grano para controlar con precisión la microestructura.

Finalmente, el revestimiento se moldea con precisión y se trata su superficie para garantizar que su precisión dimensional y calidad superficial cumplan con los estándares industriales. Este riguroso proceso de fabricación le confiere una excelente dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, lo que garantiza su excelente rendimiento en condiciones de trabajo exigentes.

3. Escenarios de aplicación del revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Los revestimientos resistentes al desgaste de carburo de grano fino brillan en una variedad de escenarios de alto desgaste:

Escenarios de aplicación de revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino en equipos de minería

Revestimientos de trituradoras y molinos de bolas: la tasa de desgaste es de solo 0,008 mm^3/ N·m y la vida útil es de hasta 23 años.

Gasoducto: Periodo de mantenimiento ampliado a 1.824 meses.

Tiras para fabricar arena: se utilizan en máquinas para fabricar arena, dureza HRA 9092, vida útil de 5000 a 8000 horas, excelente rendimiento antiagrietamiento.

Escenarios de aplicación de revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino en cemento y construcción

Revestimiento del mezclador: la vida útil es 4 veces mayor que la del acero con alto contenido de manganeso.

Revestimiento de rodillos de cinta transportadora: la tasa de rotura es inferior al 1%.

Barra para fabricar arena: En la línea de producción de arena y grava, el tamaño de grano es de 0,40,8 μm y la resistencia al desgaste es excelente.

de revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino Industria energética

Revestimiento de molino de carbón: resistente a altas temperaturas de 500°C, vida útil de 35 años.

Tubería de transporte de cenizas: resistente a la corrosión, lo que reduce la frecuencia de reemplazo.

de revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino Industria metalúrgica y química

Placa guía del laminador: la rugosidad de la superficie se mantiene en Ra 0,5 μm , lo que prolonga la vida útil.

Revestimiento del reactor: Operación estable a pH 38.

de revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino Puertos, terminales y estaciones

Bandas de borde de transmisión de carga y descarga: se utilizan para cintas transportadoras y equipos de carga y descarga, dureza HRA 89 - 91, resistentes al desgaste del carbón y del mineral, vida útil 23 años, período de mantenimiento 12 = 18 meses.

4. Ventajas del revestimiento resistente al desgaste de carburo de grano fino

Los revestimientos resistentes al desgaste de carburo de grano fino destacan por su excelente rendimiento:

Vida útil ultralarga: la estructura de grano fino extiende significativamente la vida útil 35 veces, lo que reduce el tiempo de inactividad del equipo y la frecuencia de mantenimiento.

Alto rendimiento en relación costo-beneficio: el costo inicial es alto, pero el período de recuperación es de solo 6 a 12 meses y los beneficios generales son significativos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Personalización flexible: La forma, el grosor y el rendimiento se pueden personalizar según las condiciones de trabajo para satisfacer diversas necesidades.
Verde y respetuoso con el medio ambiente: su alta durabilidad reduce el consumo de recursos y promueve la fabricación sostenible.
Versatilidad: Tiene resistencia al desgaste , a la corrosión y al impacto, y puede adaptarse a una variedad de entornos complejos.

5. Conclusión

Los revestimientos de carburo de grano fino resistentes al desgaste son ideales para minería (tiras para fabricación de arena), construcción, energía, metalurgia, industria química y terminales portuarias (tiras de transmisión de carga y descarga) gracias a su alta dureza (HRA 89-93) , excelente tenacidad (8-12 MPa·m²) y larga vida útil (5000-10000 horas). Los datos técnicos muestran que su vida útil es 35 veces mayor que la de los materiales convencionales y que el coste total se reduce entre un 304 % y un 0 %. Gracias a la avanzada tecnología de pulvimetalurgia, se optimizan al máximo el rendimiento, el coste y la eficiencia de producción del revestimiento. De cara al futuro, el diseño inteligente (ajuste de parámetros en tiempo real, precisión de predicción superior al 98%), la fabricación avanzada (compuestos multimateriales, ciclo acortado en un 50%), la aplicación de nuevos materiales (coeficiente de fricción reducido a 0,05) y la fabricación ecológica (tasa de recuperación del 80%) promoverán aún más su aplicación generalizada en la fabricación de alta gama y el desarrollo sostenible, y brindarán un fuerte apoyo para la operación eficiente de los equipos y el progreso industrial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Apéndice: ¿Qué es el carburo cementado no magnético?

¿Qué es el carburo cementado no magnético ?

El carburo cementado no magnético es un tipo especial de material de carburo cementado que se caracteriza por su amagnetismo o su magnetismo extremadamente bajo, a la vez que conserva la alta dureza, la alta resistencia al desgaste y las excelentes propiedades mecánicas del carburo cementado tradicional. Se fabrica utilizando metales no magnéticos o débilmente magnéticos como aglutinantes (como níquel-Ni, cobre-Cu o sus aleaciones) y combinando fases duras (como carburo de tungsteno-WC o carburo de titanio -TiC) mediante pulvimetalurgia. El objetivo original del carburo cementado no magnético es satisfacer la demanda de materiales no magnéticos en escenarios industriales específicos, como la prevención de interferencias magnéticas en entornos con campos magnéticos fuertes o el procesamiento de alta precisión.

1. Composición y fabricación de carburo cementado no magnético

1. Componentes principales del carburo cementado no magnético

El carburo cementado no magnético consta de las dos partes siguientes:
Fase dura : proporciona alta dureza y resistencia al desgaste del material. Los componentes comunes incluyen:
Carburo de tungsteno (WC) : tiene alta dureza y fuerte resistencia al desgaste y es la fase dura más comúnmente utilizada .
Carburo de titanio (TiC) : tiene una excelente resistencia a altas temperaturas y se utiliza a menudo en entornos de alta temperatura.
Otros carburos o nitruros , como el carburo de niobio (NbC), el carburo de tantalio (TaC), etc., se utilizan para ajustar las propiedades del material.
Aglutinante : Se utiliza para unir las partículas de la fase dura y formar una estructura densa. Los aglutinantes más comunes en el carburo cementado no magnético incluyen:
Níquel (Ni) : No magnético, mejor resistencia a la corrosión que el cobalto, ampliamente utilizado en carburo cementado no magnético.
Cobre (Cu) : No magnético, buena conductividad eléctrica y térmica, adecuado para escenarios específicos.
Aleación a base de níquel o aleación a base de cobre : mejore el rendimiento agregando otros elementos (como cromo Cr, molibdeno Mo).

A diferencia del carburo cementado tradicional a base de cobalto, el cobalto (Co) no es adecuado para el carburo cementado no magnético debido a su fuerte ferromagnetismo. Las aleaciones a base de cobalto se magnetizan fácilmente en un campo magnético, lo que afecta la precisión o el rendimiento del equipo, mientras que las propiedades no magnéticas del níquel o el cobre los convierten en materiales alternativos ideales.

2. Proceso de fabricación de carburo cementado no magnético

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La preparación de carburo cementado no magnético generalmente adopta **el proceso de pulvimetalurgia** . y los pasos principales incluyen:
Preparación de la materia prima : La fase dura (como el polvo de WC) y la fase aglutinante (como el polvo de Ni) se mezclan en una proporción específica y el tamaño de partícula suele estar en el nivel de micrones o nanómetros para garantizar la uniformidad.
Mezcla y molienda : Los polvos se mezclan uniformemente a través de un molino de bolas y se agrega una pequeña cantidad de aditivos (como parafina) para facilitar el moldeo.
Prensado : prensar el polvo mezclado hasta formar un cuerpo verde de la forma deseada.
Sinterización : La sinterización se lleva a cabo a alta temperatura (generalmente 1300 - 1500 °C) al vacío o en atmósfera protectora para combinar la fase dura con el aglutinante y formar una estructura densa.
Posprocesamiento : incluye pulido, esmerilado o recubrimiento para satisfacer necesidades de aplicación específicas **.**

El proceso de sinterización es un paso crítico que requiere un control preciso de la temperatura, la atmósfera y el tiempo para evitar poros o un rendimiento desigual dentro del material.

2. Características del carburo cementado no magnético

El carburo cementado no magnético hereda las ventajas del carburo cementado tradicional y tiene las siguientes características únicas:

No magnético o poco magnético :
La permeabilidad magnética del carburo cementado no magnético es extremadamente baja (similar a la de materiales no magnéticos como el acero inoxidable austenítico), por lo que no se magnetiza en entornos con campos magnéticos intensos. Es adecuado para su uso en entornos sensibles a interferencias magnéticas, como equipos de resonancia magnética nuclear (MRI) y sensores magnéticos.

Alta dureza y resistencia al desgaste :
La dureza Vickers de las fases duras (como WC) puede alcanzar 1500 - 2000 HV, con excelente resistencia al desgaste, adecuada para herramientas de corte y moldes.
Incluso bajo condiciones de fricción de alta velocidad o carga elevada, puede mantener una larga vida útil.

Excelente resistencia a la corrosión :
Los aglutinantes a base de níquel o cobre tienen una mejor resistencia a la corrosión que el cobalto y son especialmente adecuados para entornos ácidos, alcalinos o húmedos.
Por ejemplo, en equipos químicos o entornos marinos, los carburos cementados no magnéticos funcionan bien.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

propiedades mecánicas :

Alta resistencia a la compresión: puede soportar altas cargas de tensión.

Tenacidad moderada: la resistencia al impacto se puede optimizar ajustando la proporción del aglutinante y el tamaño de las partículas de la fase dura.

Estabilidad térmica: Puede mantener su rendimiento a altas temperaturas y es adecuado para escenarios de procesamiento de alta temperatura.

Precisión de procesamiento :

Las bajas propiedades magnéticas del carburo cementado no magnético significan que no absorberá impurezas ni afectará la precisión del equipo debido a la fuerza magnética durante el mecanizado de precisión, lo que lo hace adecuado para moldes y herramientas de alta precisión.

3. Campos de aplicación del carburo cementado no magnético

Debido a sus propiedades no magnéticas únicas y excelentes propiedades físicas, el carburo cementado no magnético se utiliza ampliamente en muchos campos:

Fabricación de precisión :

Moldes no magnéticos : se utilizan para producir componentes electrónicos, productos plásticos, etc. para evitar la influencia del magnetismo en la precisión del molde.

Herramientas no magnéticas : como brocas y fresas no magnéticas, utilizadas para procesar materiales sensibles al magnetismo (como acero inoxidable y aleaciones de titanio).

Accesorio de precisión : proporciona una fuerza de sujeción estable en el mecanizado de alta precisión.

Industria electrónica :

Se utiliza para fabricar componentes no magnéticos en equipos semiconductores y líneas de producción de almacenamiento magnético.

Evite la interferencia del campo magnético y garantice el rendimiento y la confiabilidad de los componentes electrónicos.

Dispositivos médicos :

Equipo de imágenes por resonancia magnética (IRM) : el carburo cementado no magnético se utiliza para fabricar herramientas quirúrgicas no magnéticas, estructuras de soporte, etc. para evitar interferencias con las imágenes del campo magnético.

Otros dispositivos médicos: como implantes no magnéticos o componentes de equipos de diagnóstico.

Aeroespacial :

Se utiliza para fabricar sensores no magnéticos y componentes de sistemas de navegación para satisfacer las necesidades de las naves espaciales en entornos electromagnéticos complejos.

En satélites o sondas, se utiliza para evitar que los campos magnéticos interfieran con los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

instrumentos científicos.

Energía y productos químicos :
En la industria del petróleo y el gas, se utiliza para fabricar herramientas de perforación no magnéticas resistentes a la corrosión y al desgaste.
En equipos químicos, se utiliza para producir válvulas o componentes de bombas no magnéticos resistentes a la corrosión.

Industria militar y de defensa :
Se utiliza para fabricar componentes de municiones no magnéticas o piezas de precisión en equipos de radar para evitar la detección magnética.

4. Comparación entre el carburo cementado no magnético y el carburo cementado ordinario

característica	carburo no magnético	Carburo cementado ordinario (a base de cobalto)
Fase adhesiva	Níquel (Ni), cobre (Cu) o sus aleaciones	Cobalto (Co)
magnético	No magnético o muy poco magnético	Fuertes propiedades ferromagnéticas
Resistencia a la corrosión	Excelente (el níquel/cobre es más resistente químicamente)	General (el cobalto es susceptible a la corrosión en ambientes ácidos)
dureza	Alto (dependiendo de la fase dura)	Alto (similar)
Escenario de aplicación	Entorno sensible al magnetismo, procesamiento de alta precisión.	Herramientas generales de corte, troquelado y minería
costo	Más altos (costos más altos de níquel/cobre)	Más bajo (el cobalto es más común)

Las principales diferencias entre el carburo cementado no magnético y el carburo cementado ordinario:
Magnetismo : El cobalto en el carburo cementado ordinario es ferromagnético y se magnetiza fácilmente, mientras que el carburo cementado no magnético evita este problema al utilizar un aglutinante no magnético.

Resistencia a la corrosión : el níquel y el cobre son químicamente más estables que el cobalto, lo que hace que el carburo cementado no magnético sea más adecuado para entornos corrosivos.
Costo y procesamiento : El carburo cementado no magnético utiliza níquel o cobre, por lo que el costo de la materia prima es mayor y los requisitos del proceso de sinterización son más estrictos.

5. Desarrollo y desafíos del carburo cementado no magnético

1. Tendencias de desarrollo

Desarrollo de nuevos materiales : investigación de nuevos aglutinantes no magnéticos (por ejemplo, compuestos a base de níquel) para mejorar aún más el rendimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Nanotecnología : utilice polvos a escala nanométrica para mejorar la densidad del material y las propiedades mecánicas.
Fabricación verde : optimizar el proceso de pulvimetalurgia para reducir el consumo de energía y la contaminación ambiental.
Personalización : Desarrollar carburo cementado no magnético con propiedades específicas (como dureza ultra alta o magnetismo ultra bajo) según los requisitos de aplicación específicos.

2. Desafíos

Costo : Los precios del níquel y del cobre son más altos que los del cobalto, lo que resulta en mayores costos de producción para el carburo cementado no magnético.
Complejidad del proceso : Los parámetros deben controlarse estrictamente durante el proceso de sinterización para evitar defectos.
Equilibrio de rendimiento : además de garantizar las propiedades no magnéticas, la dureza, la tenacidad y la resistencia al desgaste deben equilibrarse para cumplir con los diferentes requisitos de aplicación.

VI. Conclusión

El carburo cementado no magnético es un material avanzado diseñado para aplicaciones no magnéticas. Logra una combinación perfecta de no magnetismo, alta dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión mediante el uso de aglutinantes no magnéticos (como níquel o cobre) combinados con fases duras (como el carburo de tungsteno). Desempeña un papel importante en la fabricación de precisión, la industria electrónica, los equipos médicos, la industria aeroespacial y otros sectores. A pesar de los desafíos de costo y proceso, con el avance de la ciencia de los materiales y la tecnología de fabricación, las perspectivas de aplicación del carburo cementado no magnético serán más amplias, ofreciendo soluciones confiables para escenarios de alta precisión y sensibilidad magnética.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

apéndice:

¿Qué es el carburo de gradiente?

1. Introducción: De lo tradicional a la revolución de los materiales de gradiente

En el ámbito de la fabricación industrial, el carburo cementado siempre ha desempeñado un papel fundamental gracias a su excelente dureza y resistencia al desgaste. Sin embargo, la limitación del carburo cementado tradicional reside en la contradicción entre dureza y tenacidad: una dureza elevada suele sacrificar la tenacidad, lo que provoca que la herramienta se rompa fácilmente bajo condiciones de carga o impacto elevados. La aparición del carburo cementado de gradiente (carburo cementado de gradiente funcional, FGCC) supone una revolución en la ciencia de los materiales, ya que equilibra hábilmente la dureza y la tenacidad mediante la introducción de una distribución gradual de la composición o estructura dentro del material.

Este material no solo hereda las excelentes propiedades del carburo cementado, sino que también tiene una dureza superficial ultra alta (2300 - 2600 HV) y una tenacidad de núcleo excelente (1824 MPa·m^1/2) a través de "mejoras internas y externas", lo que lo convierte en un material estrella en los campos de herramientas de corte, perforación minera, aeroespacial y nuevas energías.

El atractivo del carburo cementado en gradiente reside en su capacidad de adaptación a las condiciones locales: la superficie es como una armadura indestructible, resistente al desgaste y la corrosión; el núcleo es como un núcleo resiliente, que absorbe los impactos y la tensión. Esta característica lo hace destacar en la fabricación moderna. Desde el procesamiento de álabes de motores de aviación hasta el corte de piezas polares de baterías de litio, el carburo cementado en gradiente está transformando el futuro de las herramientas de alto rendimiento. Este artículo explorará en profundidad su mecanismo microscópico, tecnología de preparación, datos de rendimiento, casos de aplicación y tendencias de desarrollo, y le permitirá apreciar el encanto único de este material.

2. La exquisitez del mundo microscópico del carburo cementado en gradiente: el misterio de la estructura del gradiente

2.1 Composición y características del carburo cementado en gradiente

El núcleo del carburo cementado en gradiente reside en su estructura compuesta, que consta principalmente de las siguientes partes:

Fase dura
Compuesto principalmente de carburo de tungsteno (WC, dureza de aproximadamente 2600 HV), carburo de titanio (TiC , dureza de aproximadamente 3200 HV) o carbonitruro de titanio (Ti(C,N), que tiene resistencia al desgaste y a la oxidación), representando el 7095 % en peso , es la piedra angular de la dureza del material.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Fase aglutinante

Generalmente, cobalto (Co, que proporciona tenacidad), níquel (Ni, que mejora la resistencia a la corrosión) o aleaciones emergentes de alta entropía (como CoCrFeNiMn , resistencia a altas temperaturas), que representan el 530 % en peso y actúan como "pegamento" para unir la fase dura y dar tenacidad al material.

Zona de transición de gradiente

La composición, el tamaño del grano o el rendimiento cambian gradualmente a lo largo del espesor, con un espesor de 10-300 μm , lo que crea una transición fluida y reduce la concentración de tensiones internas. La sutileza de esta estructura reside en que el rendimiento del material, desde la superficie hasta el núcleo, es similar al gradiente de color natural, que se produce progresivamente capa por capa y tiene en cuenta múltiples necesidades.

2.2 Diversificación de tipos de gradientes de carburo cementado en gradiente

El carburo cementado en gradiente se puede dividir en tres tipos según sus características cambiantes:

Gradiente de fase aglutinante

El contenido superficial de cobalto es bajo (48 % en peso), con alta dureza; el contenido de cobalto del núcleo es alto (1530 % en peso), con gran tenacidad. Por ejemplo, la capa de carburo cúbico libre rica en cobalto (capa libre de β, espesor de 2060 μm) puede mejorar significativamente la resistencia de adhesión del recubrimiento y se utiliza ampliamente en herramientas de corte.

gradiente de fase dura

La superficie es rica en Ti(C,N) (dureza 2300 - 2500 HV) y el núcleo es rico en WC (tenacidad 18 - 22 MPa·m^1/2), lo que es adecuado para escenarios que requieren alta resistencia al desgaste, como sustratos de recubrimiento CVD.

gradiente de tamaño de grano

Los granos superficiales son finos (0,10,5 μm) y extremadamente duros; los granos del núcleo son grandes (14 μm) y presentan una excelente tenacidad. La dureza del carburo cementado de gradiente de grano ultrafino puede alcanzar los 2600 HV, lo que lo convierte en la opción preferida para el mecanizado de alta precisión.

2.3 Mecanismo microscópico del carburo cementado en gradiente: ¿Cómo se forma el gradiente?

La formación de la estructura de gradiente es como la "magia química" del mundo microscópico, que depende principalmente de los siguientes factores en la sinterización en fase líquida (1350 - 1500 °C):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

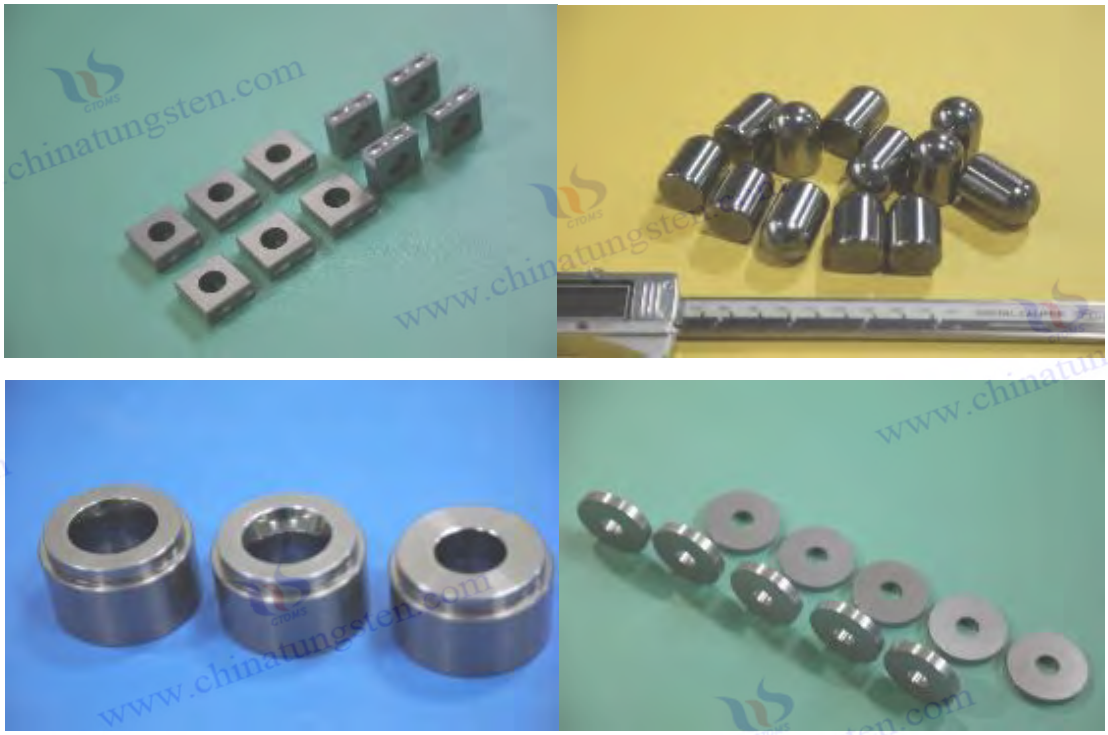
1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mecanismo de gradiente del carburo cementado en gradiente:

Migración de fase líquida:

El cobalto líquido se impulsa por la fuerza capilar ($\Delta P = 2\sigma/r$, σ es la tensión superficial, r es el radio del grano) y fluye desde la zona de grano grueso hacia la de grano fino. Este flujo es similar al del agua, que fluye de arriba a abajo, formando una distribución en gradiente de la fase enlazante.

Ligeras diferencias en el contenido de carbono (5,5-6,3 % en peso) afectan la disolución y reprecipitación (maduración de Ostwald) de las partículas de WC, lo que promueve aún más la migración del cobalto.

Difusión atómica:

En condiciones de desnitruración , el nitrógeno escapa hacia el exterior y los átomos de titanio se difunden hacia el interior, formando una capa superficial rica en cobalto (de 15 a 100 μm de espesor). Este proceso es similar a un largo viaje de moléculas en el mundo microscópico.

La tasa de difusión sigue la ecuación $D = D_0 \cdot \exp(Q/RT)$, y cuanto mayor sea la temperatura, más rápida será la difusión.

Optimización de la interfaz de carburo cementado en gradiente

La zona de transición de gradiente reduce la concentración de tensiones mediante cambios continuos de composición, y la resistencia al corte en la interfaz aumenta un 30 %. Las observaciones mediante microscopía electrónica de transmisión (MET) muestran que la densidad del límite de grano disminuye gradualmente desde la superficie hasta el núcleo, y la probabilidad de inicio de grietas se reduce un 60 %.

2.4 Termodinámica y análisis del diagrama de fases del carburo cementado en gradiente

de WCCo : Por encima de 1350 °C, el cobalto entra en fase líquida (10-25 % vol.), lo que favorece la reorganización de las partículas de WC. El control preciso del contenido de carbono (5,6-6,2 % en peso) evita la formación de la fase η (fase frágil) o carbono libre.

Ti(C,N)Co: la presión parcial de nitrógeno (0,110 MPa) regula la velocidad de descomposición de Ti(C,N) e impulsa la formación del gradiente.

Modelado termodinámico: CALPHAD, combinado con la teoría del funcional de la densidad (DFT), permite predecir la distribución de la composición de la capa de gradiente con un error de tan solo el 2 %. Por ejemplo, la simulación del software ThermoCalc muestra que el contenido de cobalto varía gradualmente del 4 % en peso en la superficie al 25 % en peso en el núcleo, lo cual concuerda plenamente con los resultados experimentales.

3. Tecnología de preparación de carburo cementado en gradiente: un avance tecnológico de lo tradicional a lo más vanguardista

La tecnología de preparación del carburo cementado en gradiente se divide en el método de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

construcción y el método de transferencia. Cada método es como una precisa "escultura del material" que transforma el polvo en una aleación de alto rendimiento.

3.1 Método de construcción: desde la conformación hasta la formación

Capas de polvo de carburo de gradiente:
Los polvos con diferentes composiciones (como 93 % en peso WC + 7 % en peso Co en la superficie y 70 % en peso WC + 30 % en peso Co en el núcleo) se estratificaron y formaron mediante prensado isostático en frío (CIP, 250 MPa).
Ventajas: Las estructuras de gradiente se pueden personalizar con precisión.
Desventajas: La unión de la interfaz requiere una optimización del tratamiento térmico posterior.

Fabricación aditiva (FA) de carburo de gradiente:
Fusión de lecho de polvo por láser (LPBF): potencia del láser 350 - 600 W, velocidad de escaneo 1000 - 2500 mm/s, espesor de capa 15 - 50 μm , logrando un gradiente de tamaño de grano de 0,1 μm a 4 μm .

Deposición directa de energía (DED): adecuada para componentes grandes, espesor de capa de gradiente de hasta 400 μm .
Caso: Según un estudio de 2025 de la Universidad de Uppsala en Suecia, la dureza del carburo cementado en gradiente WCCo preparado por LPBF cambia gradualmente de 2100 HV a 1300 HV y la tenacidad aumenta en un 55%.

Sinterización por plasma de chispa (SPS) de carburo de gradiente:
Parámetros del proceso: temperatura 1500°C, presión 70 MPa y tiempo de aislamiento 610 minutos.
Ventajas: Sinterización rápida, porosidad <0,15%, crecimiento de grano controlado.
Desventajas: Equipo costoso, adecuado para aplicaciones de alta gama.

3.2 Método de transporte: el arte de la micromigración

Carburación/descarburación:
Sinterizado en atmósfera de CH_4 (carburante) o CO_2 (descarburante), el contenido de carbono cambia gradualmente del 5,6 % en peso (superficie) al 6,4 % en peso (núcleo), formando una capa superficial rica en cobalto (espesor 50150 μm).
Efecto: La dureza aumenta en un 25% y la resistencia al desgaste aumenta en un 40%.

Nitruración/ desnitrificación :
La sinterización se llevó a cabo bajo una atmósfera de N_2 (0,210 MPa) y la tasa de difusión de nitrógeno (10^710^5 cm^2/s) controló el espesor de la capa de gradiente.
Caso: El carburo cementado Sandvik DP forma una capa rica en cobalto de 35 μm a través de la desnitrificación y la resistencia de unión del recubrimiento aumenta en un 35 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

SinterHIP (Sinterización mediante prensado isostático en caliente):
Proceso: sinterización al vacío (1420°C) + HIP (1480°C, 150 MPa Ar).
Ventajas: Porosidad <0,08%, uniformidad de la capa de gradiente mejorada en un 20%.

3.3 Tecnología de vanguardia de carburo cementado en gradiente: la innovación impulsa el futuro

Sinterización por microondas de carburo cementado en gradiente:
Utilizando calentamiento por microondas de 2,45 GHz, el tiempo de sinterización se acortó a 815 minutos y el consumo de energía se redujo en un 45%.

Caso: Según un estudio de 2025 de la Universidad de Tokio, Japón, la dureza del carburo cementado en gradiente sinterizado por microondas es de 2300 HV y la tenacidad es de 19 MPa·m^1/2.

Nanotecnología de carburo de gradiente:
La adición de nano-WC (30 - 80 nm) o grafeno (0,21 % en peso) aumenta la dureza a 2700 HV y la vida útil por fatiga se extiende en un 70 %.

Caso: Un estudio de 2025 realizado por el Instituto de Tecnología de Harbin en China descubrió que la tenacidad a la fractura del carburo cementado con gradiente mejorado con grafeno alcanzó los 22 MPa·m^1/2.

Fase aglutinante de aleación de alta entropía de carburo cementado en gradiente:
La aleación de alta entropía CoCrFeNiMn aumenta la temperatura de resistencia a la oxidación a 1200 °C y la resistencia a los ácidos (pH 1,5) mejora en un 50 %.

Caso: Un estudio de 2025 de la Universidad de California, EE. UU., mostró que la vida útil del carburo cementado con gradiente de aleación de alta entropía se extendió 4 veces en un entorno de corrosión de alta temperatura.

Optimización de IA del carburo de gradiente:
Basándose en el modelo de predicción de la estructura de gradiente de la red generativa antagónica (GAN), se optimizaron los parámetros de sinterización (error de temperatura ±2 °C, error de atmósfera ±0,02 MPa) y se mejoró la eficiencia experimental en un 40 %.

4. Datos de rendimiento del carburo cementado en gradiente: excelencia cuantificada

El rendimiento del carburo cementado en gradiente ha sido verificado mediante pruebas estándar internacionales, mostrando un rendimiento integral sorprendente:
Dureza (dureza Vickers, HV30):
Superficie: 2300 – 2700 HV.
Núcleo: 1100 – 1700 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Norma: ISO 3878.

Tenacidad a la fractura (K_IC):
Superficie: 48 MPa·m^1/2.
Núcleo: 18 - 24 MPa·m^1/2.
Método: Viga con entalla de un solo borde (SENB, ASTM E399).

Resistencia al desgaste:
Desgaste por deslizamiento (ASTM G65): tasa de desgaste 0,05 – 0,2 mm^3/ N·m , 60% menor que el carburo cementado homogéneo.
Desgaste abrasivo (ASTM B611): Reducción del volumen de desgaste del 70%.
Resistencia al impacto:
caída de peso : energía de impacto 70 - 120 J, 80 % más alta que el carburo cementado homogéneo.

Resistencia a la fatiga:
Carga cíclica (10^7 veces, ASTM E466): límite de fatiga 650 – 900 MPa.

Resistencia a la corrosión:
Prueba de niebla salina (ASTM B117, 1500 horas): No hay marcas de corrosión en la superficie de carburo cementado en gradiente de la fase aglutinante de aleación de alta entropía.
Rendimiento a altas temperaturas:
Temperatura de antioxidación: 950 – 1200°C.
Prueba de choque térmico (ASTM C1525, ciclo de 900 °C a 25 °C): la resistencia al choque térmico aumenta 3 veces.
Espesor de la capa de gradiente: 10 - 400 μm , medido con precisión mediante SEM, EDS y difracción de rayos X (XRD).

5. Escenarios de aplicación del carburo cementado en gradiente: del taller a la tecnología de vanguardia

Las diversas aplicaciones del carburo cementado en gradiente demuestran su amplia adaptabilidad desde las industrias tradicionales hasta las tecnologías de vanguardia.

5.1 La piedra angular de los campos tradicionales

Herramientas de corte:
Aplicación: Torneado, fresado, taladrado, procesamiento de aleaciones de alta temperatura, aleaciones de titanio y acero inoxidable.
Caso: Las plaquitas de carburo de gradiente Sandvik Coromant GC4325, con una dureza superficial de 2400 HV y una tenacidad del núcleo de 22 MPa·m^1/2, prolongan la vida útil de las palas de los motores de aviación en un 70%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Sustrato de recubrimiento:

Aplicación: Sustrato de recubrimiento CVD/PVD (como TiAlN , CrN), capa rica en cobalto para evitar la propagación de grietas.

Caso: Sustrato de carburo de gradiente Kennametal, fuerza de unión del recubrimiento aumentada en un 40%, utilizado para corte en seco de alta velocidad.

Perforación de minas:

Aplicación: brocas para perforación de rocas, brocas para perforación de rodillos.

Caso: La broca de carburo de gradiente de China Zhuzhou Cemented Carbide Group tiene un aumento del 80% en la resistencia al desgaste y un aumento de tres veces en la vida útil en la perforación de granito.

5.2 Pioneros en campos de vanguardia

Aeroespacial:

Aplicación: Perforación de materiales compuestos, acabado de álabes de turbinas.

Caso: El proyecto Airbus A350 utiliza herramientas de carburo de gradiente para procesar materiales compuestos de fibra de carbono (CFRP), aumentando la precisión del diámetro del orificio (±0,01 mm) en un 25% y extendiendo la vida útil de la herramienta en un 60%.

Nueva energía:

Aplicación: Procesamiento de engranajes de energía eólica, corte de obleas de silicio fotovoltaico, formación de piezas polares de baterías de litio.

Prolonga la vida útil en un 50% con el corte de la pieza polar de la batería de litio de BYD.

Fabricación de semiconductores:

Aplicación: corte de obleas, formación de moldes de chips.

Caso: Molde de carburo cementado con gradiente de nanograno, rugosidad de la superficie (Ra) <0,05 μm , vida útil del molde aumentada en un 70 %, utilizado en la fabricación de chips Samsung de 3 nm.

Entornos extremos:

Aplicación: perforación en aguas profundas (300 MPa), boquillas de alta temperatura y alta presión (1200°C).

Caso: La resistencia a la corrosión y al desgaste de las boquillas de carburo de gradiente se mejoran 4 veces en la perforación en aguas profundas de CNOOC.

Ciencia Biomédica:

Aplicación: recubrimiento de articulaciones artificiales, brocas dentales.

Caso: La articulación de cadera artificial con recubrimiento de carburo cementado en gradiente tiene una resistencia al desgaste tres veces mayor y cumple con el estándar de biocompatibilidad ISO 10993.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6. Dinámica de la industria del carburo cementado en gradiente: perspectiva global y pulso del mercado

Tamaño del mercado: Se prevé que el mercado de carburo cementado en gradiente alcance los 6000 millones de dólares estadounidenses en 2025, con una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 9,5 %. El mercado chino representa más del 50 % del mercado mundial. La producción china de carburo cementado representa el 48 % del total mundial. La Universidad Central del Sur y la Universidad de Tsinghua han logrado avances en los campos de los nanogranos y las fases aglutinantes sin cobalto, y el número de solicitudes de patentes ha aumentado un 15 % anual. El objetivo de la UE para una tasa de reciclaje de carburo cementado de carburo cementado para 2025 es del 92 %.

7. Ventajas, desafíos y plan de futuro

7.1 Ventajas: Combinación perfecta de rendimiento y personalización

Excelente rendimiento: dureza (2700 HV), tenacidad (24 MPa·m^1/2), resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,1 mm^3/ N·m).
Relajación de tensiones: la interfaz de gradiente reduce la tasa de crecimiento de grietas en un 80%.
Personalización flexible: el espesor de la capa de gradiente (10400 μm), la composición y el tamaño del grano se pueden ajustar según sea necesario.

7.2 Desafío: El juego entre la tecnología y el coste

Proceso complejo: La sinterización en fase líquida requiere un control preciso de la temperatura (±2 °C), la atmósfera (±0,01 MPa) y el contenido de carbono (±0,03 % en peso).
Alto costo: Los equipos LPBF y SPS requieren grandes inversiones y los costos de producción son 40% más altos que los procesos tradicionales.
Es necesario mejorar la teoría: el modelo cinético termodinámico de formación de gradientes requiere más verificación experimental.

7.3 Plan Futuro: Integración de Inteligencia y Sostenibilidad

Fabricación inteligente: los gemelos digitales se combinan con el aprendizaje de refuerzo para optimizar los gradientes, mejorando la precisión de la predicción en un 30%.
Fase aglutinante sin cobalto: Las aleaciones de alta entropía a base de Ni o Fe reemplazan al cobalto, lo que reduce los costos y el impacto ambiental.
Gradiente multifuncional: Investigación y desarrollo de carburo cementado con gradiente electromagnético térmico para aplicaciones en sensores inteligentes y conversión de energía.
Sostenibilidad: Promover la sinterización por microondas y el reciclaje en circuito cerrado, reduciendo las emisiones de carbono en un 60%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

8. Conclusión: Infinitas posibilidades del carburo cementado en gradiente

El carburo cementado en gradiente, con su singular estructura de gradiente, ha superado el límite de rendimiento del carburo cementado tradicional y se ha convertido en una joya de la corona en la ciencia de los materiales y la fabricación industrial. Desde la exquisitez del mundo microscópico hasta la amplia cobertura de aplicaciones macroscópicas, no solo mejora la vida útil y la eficiencia de las herramientas, sino que también impulsa el progreso tecnológico en los sectores aeroespacial, de nuevas energías, de semiconductores y otros. De cara al futuro, la fabricación inteligente, la fase aglutinante sin cobalto y los procesos ecológicos revitalizarán el carburo cementado en gradiente, haciéndole brillar con más fuerza en la industria global de alta tecnología.

Referencias

Zhang Hua, Wang Qiang, Li Ming. Avances en la clasificación y propiedades de carburos cementados [J]. Revista de Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2022, 40(3): 101110

.

Chen Xiaodong, Zhao Gang, Liu Wei. Análisis de la composición y microestructura de carburos cementados [J]. Materiales Metálicos e Ingeniería Metalúrgica, 2021, 39(5): 6776

.

Wang Li, Zhang Zhiqiang, Chen Feng. Optimización de los procesos de preparación de carburos cementados [J]. Tecnología de pulvimetalurgia, 2023, 41(4): 8998

.

Yang Tao, Liu Yang, Xu Jie. Estudio sobre métodos de prueba de rendimiento para carburos cementados [J]. Materials Testing, 2022, 38(6): 134142

.

Zhang Yong, Wang Xiaoming, Li Qiang. Aplicaciones de carburos cementados en los campos de corte y resistencia al desgaste [J]. Materiales de Ingeniería Mecánica, 2021, 37(7): 5664

.

Chen Lihua, Zhao Ming, Liu Fang. Efectos de las características de las partículas en las propiedades de los carburos cementados [J]. Powder Technology, 2023, 35(3): 7886

.

Wang Tao, Zhang Li, Chen Yu. Estudio sobre sistemas de calidad y estandarización de carburos cementados [J]. Ingeniería de Materiales, 2022, 46(5): 123131

.

Li Na, Wang Qiang, Zhang Hua. Avances en carburos cementados funcionalizados y compuestos [J]. Investigación de materiales avanzados, 2024, 42(2): 4554

.

Chen Xiaodong, Liu Wei, Wang Li. Desarrollo de carburos cementados nanoestructurados y con estructura de gradiente [J]. Nanomateriales y Tecnología, 2023, 29(4): 8896

.

Zhang Zhiqiang, Yang Tao, Liu Yang. Carburos cementados ecológicos y sostenibles y tecnologías de reciclaje [J]. Materiales ambientales, 2022, 28(6): 101109

.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Xu Jie, Zhang Yong, Wang Xiaoming. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la predicción del rendimiento de carburos cementados [J]. Fabricación inteligente, 2024, 12(3): 6775

.

Smith J, Brown T, Johnson R. Avances en métodos de prueba de carburo cementado [J]. Revista de Ingeniería y Rendimiento de Materiales, 2021, 30(4): 245256

.

Tanaka H, Yamada K.

Desarrollo de carburos cementados de tamaño nanométrico para herramientas de precisión [J]. Revista de la Sociedad Japonesa de Ingeniería de Precisión, 2023, 89(2): 123130.

Kim S, Park J

, Lee H. Tecnologías de reciclaje para carburos cementados[J]. Revista Coreana de Metales y Materiales, 2022, 60(5): 345-353.

ISO 513:2012. Clasificación de herramientas de corte de carburo cementado [S].

Pekín: China Standards Press, 2012.

ASTM E9217. Métodos de ensayo estándar para dureza Vickers [S].

Pekín: China Standards Press, 2017.

ASTM G6516. Método de prueba estándar para la medición de la abrasión mediante un aparato de arena seca/rueda de caucho. Pekín: China Standards Press, 2016

.

JIS G0562:2015. Método de ensayo para la tenacidad a la fractura de carburos cementados [S].

Pekín: China Standards Press, 2015.

ISO 28079:2009. Metales duros — Ensayo de tenacidad Palmqvist [S].

Pekín: China Standards Press, 2009.

ASTM G3121. Guía estándar para pruebas de corrosión por inmersión en laboratorio [S]. Pekín

: China Standards Press, 2021.

ISO 14040:2006. Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia.

Pekín: China Standards Press, 2006.

ISO 3685:1993. Pruebas de vida útil de herramientas con herramientas de torneado

de una sola punta [S]. Pekín: China Standards Press, 1993.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

apéndice:

ISO 513:2017
Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para el corte de metales con filos definidos
— Designación de grupos principales y de aplicación

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 29/SC 9 para unificar las reglas de clasificación y aplicación de materiales de corte duros, con el fin de mejorar la eficiencia de selección y la calidad de procesamiento de las herramientas de corte de metal.

Esta versión sustituye a la ISO 513:2004, y sus principales cambios incluyen:

Se actualizaron las definiciones de grupos principales y grupos de aplicaciones;

Se agregó soporte para nuevos materiales de recubrimiento;

Se han optimizado los métodos de prueba y las reglas de identificación.

0 Introducción

Los materiales de corte duros desempeñan un papel fundamental en el corte de metales, y su rendimiento afecta directamente la eficiencia del mecanizado y la calidad de la pieza. Esta norma proporciona un método de clasificación sistemático para carburo cementado, cerámica, cermet y materiales superduros (como el diamante y el nitruro de boro cúbico).

1 Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica las reglas de clasificación y aplicación para materiales de corte duro destinados al corte de metales con filos definidos.

1.2 El ámbito de aplicación incluye, pero no se limita a, los siguientes materiales:

Carburo cementado (a base de WC, a base de TiC , etc.);

Cerámica (Al_2O_3 , Si_3N_4 , etc.) ;

Cerámica metálica (basada en TiCN);

Materiales superduros (diamante, PCBN).

1.3 Esta norma se aplica a las siguientes áreas de procesamiento:

Corte de metales como torneado, fresado, taladrado, etc.;

Herramientas con filos de corte definidos.

1.4 Esta norma no se aplica al rectificado o mecanizado sin filos de corte definidos.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

ISO 18452:2005, Métodos para medir el espesor de recubrimientos duros

ISO 26443:2008, Métodos de ensayo para la adhesión de recubrimientos

ISO 3327:2009, Resistencia a la tracción de materiales duros

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ASTM E92:2017, Métodos de prueba de microdureza
ASTM G99:2017, Métodos de prueba de abrasión

3 Términos y definiciones

3.1 Materiales de corte duros

Materiales con alta dureza (HV > 1600) y resistencia al desgaste para el corte de metales.

3.2 Matriz

La parte principal del material de corte duro suele estar compuesta de carburos y una fase aglutinante.

3.3 Recubrimiento

Una fina capa funcional depositada sobre la superficie de un sustrato para mejorar la resistencia al desgaste o a la corrosión.

3.4 Grupos principales

Una clasificación basada en la composición y características de aplicación de los materiales de corte, utilizada para identificar sus principales áreas de aplicación.

3.5 Grupo de aplicaciones

Dentro de los grupos principales hay otras subcategorías con recomendaciones de uso para materiales y condiciones de procesamiento específicos.

4 Clasificación de grupos principales

4.1 Grupo P

Ámbito de aplicación : Procesamiento de acero y acero fundido (acero al carbono, acero aleado).

Características : Alta resistencia al desgaste y a la deformación plástica, adecuado para corte continuo.

4.2 Grupo M

Ámbito de aplicación : procesamiento de acero inoxidable, acero difícil de procesar y materiales en general.

Características : Resistencia al calor y antiadherencia, adecuado para corte interrumpido.

Grupo 4.3 K

Ámbito de aplicación : Procesamiento de hierro fundido y metales no ferrosos (aluminio, cobre, etc.).

Características : Alta resistencia al desgaste y al agrietamiento térmico, adecuado para corte en seco.

Grupo 4.4 N

Ámbito de aplicación : Procesamiento de metales no ferrosos como aluminio, magnesio y sus aleaciones.

Características : Baja adherencia, evita que los materiales se peguen.

Grupo 4.5 S

Ámbito de aplicación : Procesamiento de aleaciones a base de níquel, aleaciones de titanio y otras aleaciones de alta temperatura.

Características : Alta resistencia al calor y resistencia a la oxidación.

4.6 Grupo H

Ámbito de aplicación : mecanizado de acero endurecido (dureza HRC 45-65).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características : Dureza ultra alta y resistencia al desgaste, adecuado para cortes de precisión.

5 Asignación de grupo de aplicación

5.1 Cada grupo principal se puede subdividir en grupos de aplicación según las condiciones de procesamiento y las propiedades del material.

5.2 Los grupos de aplicación se indican mediante una combinación de la letra del grupo principal y un número, por ejemplo:

P10: Adecuado para cortes ligeros de acero;

P30: Adecuado para corte medio de acero;

M15: Adecuado para corte general de acero inoxidable;

K10: Adecuado para corte a alta velocidad de hierro fundido.

5.3 La definición de grupos de aplicaciones específicas será determinada por el fabricante basándose en el rendimiento del producto y los datos de prueba.

6 Requisitos técnicos

6.1 Dureza

Dureza base: HV 1600-2500 (dependiendo del material).

Dureza del recubrimiento: HV 2000-3000.

6.2 Resistencia al desgaste

Tasa de desgaste: <0,04 mm^3 / N·m (ASTM G99).

6.3 Adhesión

Adherencia del recubrimiento: ≥70 MPa (ISO 26443).

6.4 Microestructura

Tamaño de grano: 0,1-2 μm .

Porosidad: <1%.

7 métodos de prueba

7.1 Medición de espesor

Norma: ISO 18452.

Precisión: ±0,01 μm .

7.2 Prueba de adhesión

Norma: ISO 26443.

Precisión: ±1 MPa.

7.3 Prueba de dureza

Norma: ASTM E92.

Carga: 10 kg.

Precisión: ±30 HV.

7.4 Prueba de resistencia a la abrasión

Norma: ASTM G99.

Precisión: ±0,01 mm^3 / N · m.

7.5 Análisis de microestructura

Equipo: Microscopio electrónico de barrido (MEB).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Resolución: <0,1 μm .

8. Logotipo y nombre

8.1 La identificación de materiales de corte duros deberá incluir:

Letras del grupo principal (P, M, K, N, S, H).

Número de grupo de aplicación (definido por el fabricante).

8.2 Ejemplo:

P30: Carburo para corte medio de acero.

K20: Carburo cementado para corte a alta velocidad de hierro fundido.

8.3 La marca debe estar claramente marcada en la herramienta o en el embalaje.

9 Guía de aplicación

9.1 Velocidad de corte

Grupo P y Grupo M: 500-1500 m/min.

Grupo K y Grupo N: <500 m/min.

Grupo S y Grupo H: baja velocidad y alta precisión (<300 m/min).

9.2 Condiciones ambientales

Rango de pH aplicable: 2-12.

Materiales de recubrimiento recomendados para uso en ambientes corrosivos.

9.3 Requisitos de vida útil

Herramientas de aviación: >5000 horas.

Moho: $>10^{6}$ veces.

Piezas de desgaste: $>10^{4}$ horas.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplos de aplicación

P30 es adecuado para tornear acero dulce.

S10 es adecuado para fresar aleaciones de titanio.

A.2 Tabla de selección de materiales

Grupo principal	Materiales típicos	Áreas de aplicación
PAG	WC-Co- TiC	Corte de acero
METRO	WC-Co- TiCN	Corte de acero inoxidable
K	WC-Co	Corte de hierro fundido
norte	WC-Co-Diamante	Corte de aleación de aluminio
S	Recubrimiento de Al_2O_3	Corte de aleaciones a alta temperatura
H	PCBN	Corte de acero endurecido

Apéndice B (Referencia)

B.1 Condiciones de prueba

Velocidad de corte: Ajustar según el material.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Temperatura ambiente: <1000°C.

11 Índice

carburo cementado
revestimiento
Herramientas de corte
Grupo de aplicaciones

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la estructura pública y los requisitos técnicos conocidos de la norma ISO 513:2017. Dado que la norma puede contener tablas, diagramas y parámetros detallados específicos (como el rango de espesor del recubrimiento y el número de grupo de aplicación específico), aquí solo se proporciona el contenido marco.

Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos específicos, obténgalos del sitio web oficial de ISO o de los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 18452:2005
Método de medición del espesor del revestimiento duro

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 107/SC 9 para proporcionar un método estandarizado para la medición precisa del espesor de recubrimientos duros. Este método es aplicable a recubrimientos duros sobre sustratos metálicos (como TiN , TiAlN , Al_2O_3) , especialmente para recubrimientos con un rango de espesor de 0,1 μm a 50 μm .

Esta versión reemplaza la versión anterior y sus principales cambios incluyen:

Equipos y procedimientos de prueba optimizados;

Se mejoraron los requisitos de precisión de la medición.

0 Introducción

Los recubrimientos duros se utilizan ampliamente en herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste, y su espesor afecta directamente el rendimiento y la vida útil. Esta norma utiliza el método calotest para medir el espesor del recubrimiento, lo que proporciona un método de prueba rápido y no destructivo.

1 Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica la medición del espesor de recubrimientos duros sobre sustratos metálicos mediante el método de abrasión por bola.

1.2 Los tipos de recubrimiento aplicables incluyen, entre otros:

Nitruro de titanio (TiN);

Nitruro de titanio y aluminio (TiAlN);

Óxido de aluminio (Al_2O_3) .

1.3 Rango de espesor aplicable: 0,1 μm a 50 μm .

1.4 Esta norma es aplicable a entornos industriales y de laboratorio, pero no es aplicable a recubrimientos multicapa o recubrimientos con un espesor superior a 50 μm .

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

ISO 2064:1996, Recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos — Medición de espesores — Métodos generales

ISO 4287:1997, Rugosidad superficial — Perfilometría — Términos, definiciones y parámetros

ASTM E384:2017, Métodos de prueba de microdureza

3 Términos y definiciones

3.1 Recubrimiento duro

Recubrimientos funcionales con espesores comprendidos entre 0,1 μm y 50 μm y elevada dureza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(HV > 2000).

3.2 Método de abrasión esférica

Un método para calcular el espesor del revestimiento mediante la rotación de un cabezal de pulido esférico para producir picaduras de erosión esféricas en el revestimiento y el sustrato y midiendo el diámetro de las picaduras de erosión.

3.3 Pozos de erosión

Para medir el espesor se utiliza una depresión esférica formada en la superficie del revestimiento mediante un cabezal de pulido esférico.

4 Principio

4.1 Este método utiliza un cabezal de rectificado esférico giratorio (generalmente una bola de acero o de carburo) para aplicar presión constante y suspensión abrasiva sobre la superficie del recubrimiento y producir una picadura esférica de erosión.

4.2 La geometría (diámetro y profundidad) de la picadura de erosión tiene una relación matemática específica con el espesor del recubrimiento, y este se calcula midiendo las características de la picadura. 4.3 Fórmula:

$$t = \frac{D^2 - d^2}{8R}$$

其中：

- t：涂层厚度（μm）；
- D：侵蚀坑总直径（μm）；
- d：基体暴露直径（μm）；
- R：磨球半径（μm）。

Donde:

t: espesor del recubrimiento (μm);
D: diámetro total de las fosas de erosión (μm);
d: diámetro expuesto del sustrato (μm);
R: radio de la bola de molienda (μm).

5. Equipo

5.1 Abrasivo de bolas

Equipado con cabezales de molienda de bolas giratorios (diámetro de 10 mm a 30 mm).
Material del cabezal de rectificado: carburo o bola de acero, dureza HV > 1500.
Velocidad: 50 rpm a 500 rpm (ajustable).

5.2 Suspensión abrasiva

Composición: Suspensión de diamante (tamaño de partícula 0,1 μm a 1 μm).
Concentración: 10% a 20% en volumen.

5.3 Equipo de medición

Microscopía óptica o microscopía electrónica de barrido (SEM) con una resolución de < 0,1 μm .
Precisión: ±0,01 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6 Procedimiento de prueba

6.1 Preparación de la muestra

La superficie de la muestra debe ser plana con una rugosidad de Ra < 0,1 μm .

Limpie la muestra para eliminar aceite e impurezas.

6.2 Condiciones de prueba

Diámetro de la bola de molienda: Seleccionar según el espesor del recubrimiento (se recomienda 20 mm).

Presión aplicada: 0,1 N a 1 N (dependiendo del espesor).

Tiempo de prueba: 5 minutos a 30 minutos (hasta que el sustrato quede expuesto).

6.3 Medición

El diámetro total DDD de la fosa de erosión y el diámetro expuesto ddd del sustrato se midieron utilizando un microscopio.

Registre los datos y calcule el espesor ttt .

7 Precisión e incertidumbre

7.1 Precisión de la medición: ±0,01 μm (para recubrimientos de 0,1
μm a 5 μm). 7.2 Incertidumbre: Depende del diámetro de la bola y del equipo de medición; el valor típico es ±5 %. 7.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 0,02 μm .

8 Informe de prueba

8.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

Descripción de la muestra (material, tipo de recubrimiento).

Condiciones de prueba (diámetro de la bola, presión, velocidad de rotación).

Resultados de la medición (valor de espesor, diámetro del pozo de erosión).

Estimación de incertidumbre.

9 Limitaciones y notas

9.1 Este método no es adecuado para medir el espesor de recubrimientos multicapa.

9.2 Una presión excesiva puede provocar que el recubrimiento se desprenda y afectar los resultados.

9.3 Una rugosidad excesiva de la superficie de la muestra reducirá la precisión de la medición.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de cálculo de espesor

Diámetro de la bola de molienda 20 mm (R = 10 mm).

El diámetro total del pozo de erosión es D = 1 mm (1000 μm).

El diámetro expuesto del sustrato es d = 0,8 mm (800 μm).

calcular:计算：$t = \frac{1000^2 - 800^2}{8 \times 10000} = \frac{1000000 - 640000}{80000} = 4.5\ \mu m$。

Apéndice B (Referencia)

B.1 Calibración del equipo

Calibre periódicamente el abrasivo utilizando muestras estándar.

Ciclo de calibración: Una vez al mes o cada 100 pruebas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

11 Índice

Recubrimiento duro
Medición de espesor
Abrasión de la bola

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública de la norma ISO 18452:2005 y el principio técnico del método calotest . Dado que la norma puede contener diagramas detallados, parámetros específicos del equipo y procedimientos de calibración, este contenido solo ofrece una visión general.

La fecha actual es las 18:08, hora de Japón (JST), del 16 de junio de 2025, y el contenido se basa en la interpretación estándar vigente. Para consultar el texto completo oficial, las últimas revisiones o datos experimentales específicos, consígalo en el sitio web oficial de ISO (www.iso.org) o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 4287:1997
Rugosidad de la superficie
— Método de contorno
— Términos, definiciones y parámetros

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 213 para unificar la terminología y las definiciones de parámetros de los métodos de perfil de rugosidad superficial, con el fin de facilitar la implementación del sistema de Especificación Geométrica del Producto (GPS). Esta edición sustituye a la norma ISO 4287:1996. Los principales cambios incluyen:
Definiciones de parámetros y símbolos actualizados;
Se agregaron nuevos parámetros de rugosidad;
Mejor armonización con las normas pertinentes.

0 Introducción

La rugosidad superficial es un indicador importante del rendimiento y la calidad del producto. El método de perfilometría proporciona datos cuantitativos midiendo las características bidimensionales del perfil superficial. Esta norma define los términos y parámetros relevantes para proporcionar una base para la evaluación de la textura superficial.

1 Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica los términos, definiciones y parámetros para la medición de la rugosidad superficial mediante el método de perfilometría.
1.2 El ámbito de aplicación incluye la evaluación de la rugosidad de piezas de máquinas, herramientas y superficies de recubrimiento. 1.3 Esta Norma Internacional se aplica a los siguientes métodos de medición:
Perfilómetro de contacto;
Medición óptica sin contacto.
1.4 Esta norma no cubre el análisis de textura de superficie tridimensional, consulte ISO 25178 para obtener más detalles.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.
ISO 3274:1996, Textura de la superficie — Perfilometría — Características nominales de los perfilómetros de contacto
ISO 4288:1996, Textura de la superficie — Método del perfil — Reglas y procedimientos
ISO 5436-1:2000, Textura de la superficie — Estándares de calibración

3 Términos y definiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

3.1 Textura de la superficie

Las características superficiales de una pieza son la suma de rugosidad, ondulación y defectos.

3.2 Contorno

La geometría de una superficie medida en dos dimensiones, generalmente adquirida mediante instrumentos de contacto o sin contacto.

3.3 Rugosidad

Características con fluctuaciones muy espaciadas en la textura de la superficie, generalmente resultantes del proceso de mecanizado.

3.4 Perfil de referencia

Una línea de referencia utilizada para evaluar la rugosidad, generalmente ajustada mediante el método de error cuadrático mínimo.

3.5 Longitud de muestreo

Longitud de medición de un solo segmento utilizada para el cálculo del parámetro de rugosidad, los valores típicos son 0,25 mm, 0,8 mm o 2,5 mm.

4 Definición de parámetros

4.1 Parámetro de altura de rugosidad

Ra (rugosidad media aritmética)

Definición: La media aritmética de las desviaciones del perfil con respecto al perfil de referencia.

fórmula:

公式: $Ra = \frac{1}{l}\int_0^l |z(x)|\,dx$

Unidad: μm .

Rq (rugosidad cuadrática media)

Definición: El valor cuadrático medio de la desviación del perfil con respecto al perfil de referencia.

fórmula: 公式: $Rq = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l z^2(x)\,dx}$

Unidad: μm .

Rz (altura de las diez en punto)

Definición: La diferencia de altura promedio entre los cinco picos más altos y los cinco valles más bajos dentro de un perfil.

Unidad: μm .

4.2 Parámetros de espaciado de rugosidad

Rsm (distancia media)

Definición: La distancia promedio entre picos adyacentes.

Unidad: mm.

Rpc (conteo de picos)

Definición: El número de picos por unidad de longitud.

Unidad: cm^{-1} .

4.3 Parámetros de forma de rugosidad

Sku (asimetría)

Definición: La asimetría de la distribución de la altura del perfil, que refleja asimetría.

公式: $Sku = \frac{1}{Rq^3}\frac{1}{l}\int_0^l z^3(x)\,dx$

Unidad: Adimensional.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ssk (curtosis)

Definición: La curtosis de la distribución de la altura del perfil, que refleja la nitidez.

公式: $Ssk = \frac{1}{Rq^3}\frac{1}{l}\int_0^l z^4(x)\,dx$

Unidad: Adimensional.

5 Condiciones de medición

5.1 Longitud de muestreo

Valores estándar: 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm.

Base de selección: tamaño de la pieza y grado de rugosidad.

5.2 Duración de la evaluación

Definición: La suma de múltiples longitudes de muestreo, normalmente 5L (L es la longitud de muestreo).

Valor mínimo: 1,25 mm.

5.3 Filtrado

Utilice un filtro de paso alto para eliminar el efecto de ondulación.

Longitud de onda de corte: λc = 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm.

6 métodos de prueba

6.1 Equipo

Perfilómetro de contacto : con aguja, radio de la aguja < 2 μm .

Instrumentos sin contacto : microscopio óptico o escáner láser.

6.2 Procedimiento

Limpie la superficie y elimine cualquier suciedad.

Establezca la longitud de muestreo y la longitud de evaluación.

Mida el perfil y registre los datos.

Calcula valores de parámetros.

7 Precisión e incertidumbre

7.1 Precisión de la medición: ±0,01 μm (Ra).

7.2 Incertidumbre: Depende de la resolución del instrumento y del estado de la superficie; el valor típico es ±5 %. 7.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 0,02 μm .

8 Informe de prueba

8.1 El informe deberá incluir:

Descripción de la muestra (material, método de procesamiento).

Condiciones de medición (longitud de muestreo, longitud de onda de corte).

Resultados de parámetros (Ra, Rz, etc.).

Estimación de incertidumbre.

9 Limitaciones y notas

9.1 Este método no es adecuado para piezas con defectos superficiales obvios.

9.2 Una rugosidad alta (Ra > 10 μm) puede requerir un ajuste de la longitud de muestreo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

9.3 La medición sin contacto puede verse afectada por la reflexión de la luz.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de cálculo de parámetros

Longitud de muestreo 0,8 mm, después del procesamiento de datos de contorno:

Ra=0,5 μm

Rz=3,2 μm

Apéndice B (Referencia)

B.1 Tabla de grados de rugosidad

Grado de rugosidad	Rango Ra (μm)	Áreas de aplicación
N1	0,01 - 0,02	Piezas ópticas
N2	0,02 - 0,1	Maquinaria de precisión
N3	0,1 - 0,4	Piezas generales

11 Índice

Rugosidad de la superficie
Método de contorno
Parámetros de rugosidad

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en el principio de información pública y perfilometría de la norma ISO 4287:1997. Dado que la norma puede contener diagramas detallados, derivaciones matemáticas y procedimientos de calibración, este contenido solo ofrece una visión general.

La fecha actual es las 18:11, hora de Japón (JST), del 16 de junio de 2025, y el contenido se basa en la interpretación estándar vigente. Para consultar el texto completo oficial, las últimas revisiones o datos experimentales específicos, consígalo en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 2064:1996
Recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos — Medición de espesor — Métodos generales

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por el comité técnico ISO/TC 107 para proporcionar definiciones, términos y métodos uniformes para la medición del espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos. La norma es adecuada para su uso tanto en entornos de laboratorio como industriales y abarca diversas técnicas de medición.

Esta edición sustituye a la ISO 2064:1980 y sus principales cambios incluyen:

Se actualizó la clasificación de los métodos de medición;

Se agregaron requisitos para pruebas no destructivas;

Compatibilidad mejorada con los estándares relevantes.

0 Introducción

El espesor del recubrimiento es un parámetro clave para evaluar sus propiedades (p. ej., resistencia al desgaste y a la corrosión). Esta norma proporciona diversos métodos de medición adecuados para diferentes tipos de recubrimiento y sustratos, garantizando así la precisión y repetibilidad de los resultados de las mediciones.

1 Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica métodos generales y definiciones para medir el espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos.

1.2 Los tipos de recubrimiento aplicables incluyen, entre otros:

Recubrimiento galvanoplastia (Ni, Cr, etc.);

Recubrimiento de recubrimiento químico;

Recubrimientos por proyección térmica (WC-Co, etc.);

Recubrimiento al vacío (TiN , TiAlN).

1.3 Rango de espesor aplicable: 0,1 μm a 1000 μm .

1.4 Esta norma se aplica a los siguientes sustratos: metal, cerámica y carburo cementado. 1.5 Esta norma no incluye recubrimientos orgánicos, consulte ISO 2808 para obtener más detalles.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

ISO 1463:2003, Recubrimientos metálicos y de óxido. Medición de espesores mediante seccionamiento óptico y microscopía.

ISO 2178:2016, Medición del espesor de recubrimientos no magnéticos sobre sustratos magnéticos — Método magnético

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

ISO 2360:2017, Medición del espesor de recubrimientos no conductores sobre sustratos metálicos no magnéticos — Método de corrientes de Foucault
ISO 3882:2003, Recubrimientos metálicos — Determinación del espesor por método electrolítico

3 Términos y definiciones

3.1 Espesor del recubrimiento

El espesor máximo del recubrimiento perpendicular a la superficie del sustrato, expresado en µm o mm.

3.2 Espesor local

El valor del espesor del recubrimiento en un punto de medición específico.

3.3 Espesor medio

La media aritmética de múltiples puntos de medición en un área determinada.

3.4 Medición destructiva

Las mediciones realizadas cortando o pelando el revestimiento son perjudiciales para la muestra.

3.5 Medición no destructiva

Método de medición que no requiere destrucción del recubrimiento o sustrato.

4 Clasificación del método de medición

4.1 Métodos destructivos

Corte óptico y microscopía (ISO 1463)

Principio: Cortando la muestra y midiendo el espesor de la sección transversal del recubrimiento utilizando un microscopio óptico.

Rango aplicable: 0,1 µm a 100 µm .

Precisión: ±0,1 µm .

Método electrolítico (ISO 3882)

Principio: El revestimiento se elimina mediante electrólisis y el espesor se calcula midiendo la pérdida de masa.

Rango aplicable: 1 µm a 1000 µm .

Precisión: ±1 µm .

4.2 Métodos no destructivos

Método magnético (ISO 2178)

Principio: Utilizar cambios en el campo magnético para medir el espesor de recubrimientos no magnéticos sobre sustratos ferromagnéticos.

Rango aplicable: 10 µm a 1000 µm .

Precisión: ±2 µm .

Método de corrientes de Foucault (ISO 2360)

Principio: Mide el espesor de recubrimientos no conductores sobre sustratos metálicos no magnéticos mediante cambios en la inductancia.

Rango aplicable: 5 µm a 500 µm .

Precisión: ±1 µm .

fluorescencia de rayos X

Principio: Calcular el espesor detectando el contenido del elemento de recubrimiento mediante

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

rayos X.
Rango aplicable: 0,1 μm a 50 μm .
Precisión: ±0,5 μm .

5 Procedimiento de medición

5.1 Preparación de la muestra

Limpiar la superficie para eliminar aceite y óxidos.
Asegúrese de que el área de medición sea plana con una rugosidad Ra < 0,2 μm .

5.2 Calibración del equipo

El instrumento fue calibrado utilizando muestras estándar.
Intervalo de calibración: una vez al mes o cada 50 mediciones.

5.3 Pasos de medición

Seleccione el método apropiado (destructivo o no destructivo).
Tome medidas en múltiples puntos (al menos 5).
Registre el espesor local y el espesor promedio.

6. Precisión e incertidumbre

6.1 Precisión de la medición: Depende del método, varía de ±0,1 μm a ±2 μm .
6.2 Incertidumbre: Afectada por la naturaleza del sustrato y la condición de la superficie, los valores típicos son de ±5% a ±10%. 6.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 0,5 μm .

7 Informe de prueba

7.1 El informe deberá incluir:
Descripción de la muestra (sustrato, tipo de recubrimiento).
Método de medición (método magnético, método microscópico, etc.).
Resultados de la medición (espesor local, espesor promedio).
Estimación de incertidumbre.

8 Limitaciones y notas

8.1 El método magnético no es aplicable a sustratos no ferromagnéticos.
8.2 El método de corrientes de Foucault no es eficaz para recubrimientos conductores. 8.3 Los métodos destructivos pueden resultar en el rechazo de la muestra. 8.4 La uniformidad del espesor del recubrimiento puede afectar los resultados de la medición.

9 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de medición de espesor

Método magnético para medir el recubrimiento de Ni:
Espesor local: 25 μm , 26 μm , 24 μm .
Espesor medio: 25 μm .
Incertidumbre: ±1,5 μm .

Apéndice B (Referencia)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

B.1 Tabla de selección de métodos

Tipo de recubrimiento	Tipo de sustrato	Método recomendado	Rango de espesor (μm)
Recubrimiento de níquel	acero	Método magnético	10 - 1000
Recubrimiento al vacío de TiN	carburo cementado	fluorescencia de rayos X	0,1 - 50
Proyección térmica de Al_2O_3	cerámica	Microscopía	1 - 100

10 Índice

Espesor del recubrimiento
Método de medición
Pruebas destructivas

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública y los principios de medición de espesores de la norma ISO 2064:1996. Dado que la norma puede contener diagramas detallados, parámetros específicos de los instrumentos y procedimientos de calibración, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

¿Cuáles son los sistemas estándar de pruebas para la clasificación de carburo cementado en China?

El sistema de clasificación y normas de ensayo de carburo cementado de China es formulado principalmente por la Administración Nacional de Normalización (SAC) y sus organismos subordinados, basándose en las normas nacionales (GB) y las normas nacionales recomendadas (GB/T). Estas normas abarcan la clasificación, las pruebas de rendimiento, el proceso de fabricación y los requisitos de aplicación del carburo cementado, lo que refleja el desarrollo tecnológico y las necesidades industriales de China en el sector. A continuación, se presenta una descripción general del sistema de clasificación y normas de ensayo de carburo cementado de China:

1. Descripción general del sistema estándar

El sistema de normas de carburo cementado de China se basa principalmente en la serie GB, con algunas referencias a normas internacionales (como la ISO) y ajustes según las necesidades locales. Las normas de carburo cementado incluyen principalmente las siguientes categorías:

Normas nacionales obligatorias (GB) : Requisitos obligatorios relacionados con la seguridad y la calidad.

Normas nacionales recomendadas (GB/T) : proporcionan orientación técnica y referencia industrial.

Normas industriales (JB, YB, etc.) : formuladas por industrias específicas (como maquinaria,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

metalurgia) para complementar las normas nacionales.

Normas empresariales : cuando las normas nacionales sean insuficientes, las empresas deberán formular y presentar sus propias normas.

2. Normas de clasificación del carburo cementado

La clasificación del carburo cementado en China se basa principalmente en su composición, rendimiento y uso, basándose en el método de clasificación internacionalmente aceptado (como la norma ISO 513), pero en combinación con las características locales. Las principales normas de clasificación incluyen:

GB/T 2075-2015 Clasificación y agrupación de aplicaciones de carburo cementado

Se definen los principales grupos de aplicación del carburo cementado, como el grupo P (para acero), el grupo M (para acero inoxidable), el grupo K (para fundición), etc.

Clasificado por composición química (como WC-Co, WC- TiC -Co) y propiedades físicas (como dureza y resistencia al desgaste).

Similar a la norma ISO 513, pero con agrupaciones específicas adicionales para las necesidades industriales chinas.

GB/T 5244-2013 "Requisitos técnicos generales para el carburo cementado"

Se especifican la composición química, la microestructura y los requisitos de rendimiento del carburo cementado.

Incluyendo las series de tungsteno-cobalto (YG), tungsteno-titanio-cobalto (YT) y tungsteno-titanio-tantalio (tantalio) (YW).

3. Estándares de prueba

Los estándares de prueba de carburo cementado de China cubren espesor, dureza, adhesión, resistencia al desgaste y otros aspectos, incluidos:

GB/T 18452-2005 "Método de medición del espesor de recubrimientos duros"

Medición del espesor del recubrimiento mediante el método de abrasión por bola para recubrimientos duros de 0,1 μm a 50 μm .

El requisito de precisión es de ±0,01 μm y se utiliza ampliamente en el control de calidad de TiN , TiAlN y otros recubrimientos.

GB/T 4287-1997 "Términos, definiciones y parámetros del método de perfil de rugosidad superficial"

Los parámetros de rugosidad superficial (como Ra, Rz) se definen para evaluar la calidad de la superficie de las herramientas de carburo cementado.

Las longitudes de muestreo son 0,25 mm, 0,8 mm y 2,5 mm, con una precisión de ±0,01 μm .

GB/T 2064-1996 "Método general para la medición del espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos"

Proporciona una variedad de métodos de medición, como el método magnético, el método de corrientes parásitas y el método de microscopio.

Rango de espesor aplicable de 0,1 μm a 1000 μm , la precisión depende del método (±0,1 μm a ±2 μm).

GB/T 16599-1996 Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

Se utiliza para medir la dureza del carburo cementado (como HV 1600-3000), la carga de prueba es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de 10 kg.

GB/T 4078-2008 Método de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado

La resistencia al desgaste se evaluó mediante una prueba de desgaste con una tasa de desgaste típica de <0,04 mm^3 / N · m.

GB/T 26443-2010 "Método de ensayo para la adhesión de recubrimientos"

Pruebe la adhesión entre el recubrimiento y el sustrato, el valor estándar es ≥70 MPa.

4. Equipos y procedimientos de prueba

Requisitos de equipo : incluye microscopio óptico (resolución < 0,1 μm), microscopio electrónico de barrido (SEM), probador de dureza y probador de desgaste.

Procedimiento de prueba : La muestra debe limpiarse a Ra <0,1 μm , con no menos de 5 puntos de medición, y debe registrarse el valor promedio y la incertidumbre (±5%).

Calibración : El instrumento se calibró mensualmente utilizando muestras estándar para garantizar una desviación de repetibilidad de < 0,02 μm .

5. Aplicación industrial e integración de estándares

Aeroespacial : como GB/T 3475-2008 “Aleación dura para aviación”, para corte de aleaciones a alta temperatura.

Fabricación de moldes : GB/T 20987-2007 “Aleación dura para moldes” estipula requisitos de resistencia a altas temperaturas y vida útil.

Fabricación de herramientas : GB/T 17777-1999 "Herramientas de corte de carburo" cubre el rendimiento de corte de alta velocidad.

6. Comparación con las normas internacionales

La norma china es coherente con la ISO 513 en cuanto a clasificación, pero agrega requisitos específicos para las series de aleaciones locales (como YG6 y YT15).

El método de prueba (como GB/T 18452) es muy similar al ISO 18452, pero tiene una mayor adaptabilidad a recubrimientos multicapa.

El estándar GB se centra en la practicidad en la producción industrial y algunos parámetros (como el rango de dureza) son más cercanos al proceso de fabricación de China.

7. Desarrollo y desafíos

Desarrollo : Con la modernización de la industria china del carburo cementado, el sistema de normas se ha mejorado continuamente. Por ejemplo, la norma GB/T 43697-2024 (reglas de clasificación de datos) apoya indirectamente la gestión de datos de calidad.

Desafíos : Aún es necesario mejorar la compatibilidad con las normas internacionales (como ASTM y EN) y algunas normas corporativas están duplicadas o faltan.

Resumir

El sistema de clasificación y pruebas de carburo cementado de China se centra en la serie GB/T, que abarca la clasificación, las pruebas de rendimiento y la guía de aplicación, conformando un sistema relativamente completo. Basado en la norma ISO, este estándar integra las necesidades locales y es adecuado para corte de alta velocidad, moldes y piezas resistentes al desgaste.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 2075-2015
Clasificación y agrupación de aplicaciones del carburo cementado

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma sustituye a la GB/T 2075-2005, y sus principales cambios técnicos incluyen:

Se ha actualizado la definición de grupos de aplicación y se ha añadido la clasificación para nuevas aleaciones;

Compatibilidad optimizada con ISO 513;

Se complementan los requisitos específicos para las series nacionales de carburo cementado (como YG, YT, YW).

Esta norma se emitió el 9 de octubre de 2015 y entró en vigor el 1 de abril de 2016.

0 Introducción

El carburo cementado se utiliza ampliamente en herramientas de corte, moldes y piezas resistentes al desgaste debido a su alta dureza, resistencia al desgaste y resistencia al calor. Esta norma proporciona un método sistemático de clasificación y agrupación de aplicaciones para guiar la selección y el uso del carburo cementado.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica la clasificación y agrupación de aplicaciones de los carburos cementados para el corte de metales, la estampación y la fabricación de piezas resistentes al desgaste.

1.2 Los materiales aplicables incluyen:

Tungsteno-cobalto (YG);

Tungsteno-titanio-cobalto (YT);

Tungsteno-titanio-tantalio (Tantalio) (YW);

Otros carburos cementados aleados.

1.3 Esta norma se aplica a herramientas con filos de corte definidos y no incluye materiales para rectificar.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 5244-2013, Requisitos técnicos generales para carburo cementado

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

ISO 513:2012, Clasificación y uso de materiales de corte duros para el corte de metales con filos definidos

3 Términos y definiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.1 Carburo cementado

Un material de alta dureza preparado mediante pulvimetalurgia con carburo (como WC) como fase dura y cobalto (Co) u otros metales como fase aglutinante.

3.2 Grupo de aplicaciones

Categorías recomendadas para materiales de mecanizado específicos según la composición química y las propiedades del carburo cementado.

3.3 Grupos principales

Macroclasificación según áreas de aplicación de materiales de corte.

4 Clasificación de grupos principales

4.1 Grupo P

Ámbito de aplicación : Procesamiento de acero y acero fundido (acero al carbono, acero aleado).

Características : Alta resistencia al desgaste y a la deformación plástica, adecuado para corte continuo.

Grados típicos : YG6, YT15.

4.2 Grupo M

Ámbito de aplicación : procesamiento de acero inoxidable, acero difícil de procesar y materiales en general.

Características : Resistencia al calor y antiadherencia, adecuado para corte interrumpido.

Grados típicos : YT14, YW1.

Grupo 4.3 K

Ámbito de aplicación : Procesamiento de hierro fundido y metales no ferrosos (aluminio, cobre, etc.).

Características : Alta resistencia al desgaste y al agrietamiento térmico, adecuado para corte en seco.

Grados típicos : YG8, YG12.

Grupo 4.4 N

Ámbito de aplicación : Procesamiento de metales no ferrosos como aluminio, magnesio y sus aleaciones.

Características : Baja adherencia, evita que los materiales se peguen.

Grados típicos : YG6X, YW2.

Grupo 4.5 S

Ámbito de aplicación : Procesamiento de aleaciones a base de níquel, aleaciones de titanio y otras aleaciones de alta temperatura.

Características : Alta resistencia al calor y resistencia a la oxidación.

Grados típicos : YT5, YW3.

4.6 Grupo H

Ámbito de aplicación : mecanizado de acero endurecido (dureza HRC 45-65).

Características : Dureza ultra alta y resistencia al desgaste, adecuado para cortes de precisión.

Grados típicos : YG10H, YW4.

5 Asignación de grupo de aplicación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5.1 Cada grupo principal se subdivide en grupos de aplicación según las condiciones de procesamiento y los requisitos de rendimiento.
5.2 Los grupos de aplicación se indican mediante una combinación de la letra del grupo principal y un número, por ejemplo:
P10: Para corte ligero de acero (baja velocidad, carga ligera).
P30: Para corte medio de acero (velocidad media, carga media).
M20: Para corte general de acero inoxidable.
K15: Para corte a alta velocidad de hierro fundido.
5.3 La definición específica del grupo de aplicación será determinada por el fabricante de acuerdo con los requisitos de GB/T 5244.

6 Requisitos técnicos
6.1 Composición química
Tungsteno-cobalto (YG): WC 85%-95%, Co 5%-15%.
Tungsteno-titanio-cobalto (YT): WC 70%-85%, TiC 5%-15%, Co 5%-10%.
Tungsteno-titanio-tantalio (YW): contiene TaC o NbC , Co 6%-10%.
6.2 Propiedades físicas
Dureza : HV 1600-2500 (GB/T 16599).
Tenacidad a la fractura : 10-15 MPa·m $^{1/2}$.
Densidad : 14,5-15,0 g/cm^3 .
6.3 Microestructura
Tamaño de grano: 0,5-2 μm .
Porosidad: <0,5%.

7 métodos de prueba
7.1 Prueba de dureza
Estándar: GB/T 16599.
Carga: 10 kg.
Precisión: ±30 HV.
7.2 Análisis de microestructura
Equipo: Microscopio electrónico de barrido (MEB).
Resolución: <0,1 μm .
7.3 Pruebas de rendimiento
Resistencia al desgaste: GB/T 4078, tasa de desgaste <0,04 mm^3 / N · m.
Adherencia: GB/T 26443, ≥70 MPa.

8. Logotipo y nombre
8.1 La identificación del carburo cementado deberá incluir:
Letras del grupo principal (P, M, K, N, S, H).
ID del grupo de aplicaciones.
Marca (como YG6, YT15).
8.2 Ejemplo:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

P30-YG6: Aleación de tungsteno-cobalto para corte medio de acero.
K15-YG8: Aleación de tungsteno y cobalto para corte a alta velocidad de hierro fundido.
8.3 El logotipo debe estar claramente marcado en el producto o embalaje.

9 Guía de aplicación

9.1 Velocidad de corte

Grupo P y Grupo M: 500-1500 m/min.
Grupo K y Grupo N: <500 m/min.
Grupo S y Grupo H: baja velocidad y alta precisión (<300 m/min).

9.2 Condiciones ambientales

Rango de pH aplicable: 2-12.
Materiales de recubrimiento recomendados para uso en ambientes corrosivos.

9.3 Requisitos de vida útil

Herramientas de aviación: >5000 horas.
Moho: >10 ⁶ veces.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Tabla de correspondencia de marca y aplicación

Marca	Grupo principal	Aplicaciones típicas	Dureza (HV)
YG6	K	Corte de hierro fundido	1800-2000
YT15	PAG	Corte de acero	1600-1800
YW1	METRO	Corte de acero inoxidable	1700-1900

Apéndice B (Referencia)

B.1 Condiciones de prueba

Velocidad de corte: Ajustar según el grupo de aplicación.
Temperatura ambiente: <1000°C.

11 Índice

carburo cementado
Clasificación
Grupo de aplicaciones

Aviso :

El contenido anterior se basa en la información pública de GB/T 2075-2015 y en la reconstrucción del marco técnico de la norma ISO 513. Dado que la norma puede contener tablas detalladas, diagramas y datos específicos de rendimiento, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalo a través del sitio web oficial de ISO o de los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 5244-2013
Requisitos técnicos generales para carburo cementado

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma sustituye a la GB/T 5244-2003, y sus principales cambios técnicos incluyen:

Requisitos de composición química y rendimiento actualizados;

Se agregó contenido de prueba de microestructura y resistencia al desgaste;

Se ha optimizado la coordinación con la norma GB/T 2075-2015.

Esta norma se publicó el 9 de mayo de 2013 y se implementó el 1 de enero de 2014.

0 Introducción

El carburo cementado se utiliza ampliamente en herramientas de corte, moldes y piezas resistentes al desgaste gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste y resistencia al calor. Esta norma especifica los requisitos técnicos generales del carburo cementado para garantizar la calidad y la consistencia del rendimiento del producto.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica la clasificación, composición química, propiedades físicas, microestructura, métodos de ensayo y reglas de inspección del carburo cementado.

1.2 Los materiales aplicables incluyen:

Tungsteno-cobalto (YG);

Tungsteno-titanio-cobalto (YT);

Tungsteno-titanio-tantalio (Tantalio) (YW);

Otros carburos cementados aleados.

1.3 Esta norma se aplica a la fabricación, inspección y uso de carburos cementados, y no incluye requisitos especiales para carburos cementados recubiertos (véase GB/T 3475).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

GB/T 4078-2008, Método de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado

GB/T 2075-2015, Clasificación y grupos de aplicación de carburos cementados

ISO 4505:1978, Determinación de la porosidad de los carburos cementados

3 Términos y definiciones

3.1 Carburo cementado

Un material de alta dureza preparado mediante pulvimetalurgia con carburo (como WC) como fase dura y cobalto (Co) u otros metales como fase aglutinante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.2 Marca

Categorías de carburo cementado nombradas según la composición química y las características de rendimiento, como YG6 y YT15.

3.3 Microestructura

Características de tamaño de grano, porosidad y distribución de fases del carburo cementado.

4 Clasificación y marca

4.1 Los carburos cementados se clasifican en las siguientes categorías según su composición química y uso:

Tipo tungsteno-cobalto (YG) : WC + Co, adecuado para el corte de hierro fundido y metales no ferrosos.

Tungsteno-titanio-cobalto (YT) : WC + TiC + Co, adecuado para corte de acero.

Tungsteno-titanio-tantalio (YW) : WC + TiC + TaC / NbC + Co, adecuado para acero inoxidable y aleaciones de alta temperatura.

4.2 Ejemplo de marca:

YG6: WC 94%, Co 6%, dureza HV 1800-2000.

YT15: WC 79%, TiC 15%, Co 6%, dureza HV 1600-1800.

YW1: Contiene TaC , dureza HV 1700-1900.

5 Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Tungsteno-cobalto: WC 85%-95%, Co 5%-15%.

Tungsteno, titanio y cobalto: WC 70%-85%, TiC 5%-15%, Co 5%-10%.

Tipo tungsteno-titanio-tantalio: contiene TaC / NbC 2%-5%, Co 6%-10%.

Contenido de impurezas admisible: <0,5%.

5.2 Propiedades físicas

Dureza : HV 1600-2500 (GB/T 16599).

Densidad : 14,5-15,0 g/cm³ .

Tenacidad a la fractura : 10-15 MPa·m ¹ / ² .

5.3 Microestructura

Tamaño de grano: 0,5-2 μm .

Porosidad: <0,5% (ISO 4505).

Distribución de fases: La fase de enlace (Co) es uniforme, con una cobertura >95%.

5.4 Apariencia

No hay grietas, poros o inclusiones evidentes en la superficie.

Desviación de dimensión: ±0,1 mm.

6 Métodos de prueba

6.1 Análisis de la composición química

Método: Espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) o análisis húmedo.

Precisión: ±0,1%.

6.2 Prueba de dureza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Estándar: GB/T 16599.
Carga: 10 kg.
Puntos de medición: no menos de 5 puntos, valor medio.
Precisión: ±30 HV.

6.3 Determinación de la densidad

Método: Método de Arquímedes.
Precisión: ±0,01 g/cm³ .

6.4 Análisis de microestructura

Equipo: Microscopio electrónico de barrido (MEB).
Resolución: <0,1 μm .
Requisitos: El tamaño del grano y la porosidad deberán cumplir con 5.3.

6.5 Prueba de resistencia a la abrasión

Estándar: GB/T 4078.
Tasa de desgaste: <0,04 mm³ / N·m.
Precisión: ±0,01 mm³ / N · m.

7 Reglas de inspección

7.1 Muestreo

Se toman entre un 5% y un 10% de muestras (mínimo 3 piezas) de cada lote de productos.

7.2 Determinación

Todos los indicadores de desempeño deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 5.
Si algún artículo no cumple con los estándares, se requiere una inspección completa o una reproducción.

7.3 Informe de inspección

Incluyendo: resultados de marca, composición química, dureza, densidad y microestructura.

8 Etiquetado y embalaje

8.1 Etiquetado:
El producto deberá estar marcado con la marca (por ejemplo, YG6) y el número de lote de producción.
8.2 Embalaje:
Utilice un embalaje a prueba de humedad y anticolisión y adjunte el informe de inspección.

9. Transporte y almacenamiento

9.1 Transporte: Evitar altas temperaturas (>100°C) y vibraciones severas.
9.2 Almacenamiento: Humedad relativa <60%, mantener alejado de la luz.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Tabla de desempeño de grado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	química (%)	Dureza (HV)	Densidad (g/cm³)	Áreas de aplicación
YG6	WC 94, Compañía 6	1800-2000	14.9	Corte de hierro fundido
YT15	WC 79, TiC 15, Co 6	1600-1800	11.5	Corte de acero
YW1	WC 78, TiC 10, TaC 2, Co 10	1700-1900	12.8	Corte de acero inoxidable

Apéndice B (Referencia)

B.1 Condiciones de prueba

Temperatura de prueba de dureza: 20-25°C.

Carga de prueba de resistencia a la abrasión: 10 N.

11 Índice

carburo cementado

Condiciones técnicas

Métodos de prueba

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública y los requisitos técnicos de carburo cementado de la norma GB/T 5244-2013. Dado que la norma puede contener tablas detalladas, diagramas y procedimientos de prueba específicos, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos a través del sitio web oficial de ISO o de los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 18452-2005
Método de medición del espesor del revestimiento duro

Prefacio

Esta norma fue propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma es equivalente a la norma ISO 18452:2005 «Recubrimientos metálicos — Medición del espesor del recubrimiento mediante el método calotest » y se ha adaptado según las necesidades a la luz de las características de la industria china del carburo cementado.

Esta norma se emitió el 23 de noviembre de 2005 y entró en vigor el 1 de mayo de 2006.

0 Introducción

Los recubrimientos duros (como TiN , TiAlN y Al_2O_3) se utilizan ampliamente en herramientas de carburo cementado y piezas resistentes al desgaste. Su espesor afecta directamente el rendimiento y la vida útil. Esta norma utiliza el método de abrasión por bolas para proporcionar un método de medición de espesor preciso y no destructivo.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica la medición del espesor de recubrimientos duros sobre sustratos metálicos mediante el método de abrasión por bola.

1.2 Los tipos de recubrimiento aplicables incluyen, entre otros:

Nitruro de titanio (TiN);

Nitruro de titanio y aluminio (TiAlN);

Óxido de aluminio (Al_2O_3) .

1.3 Rango de espesor aplicable: 0,1 μm a 50 μm .

1.4 Esta norma se aplica a la medición de recubrimientos sobre sustratos de carburo cementado, acero y cerámica, excluyendo recubrimientos multicapa o recubrimientos con un espesor superior a 50 μm .

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 2064-1996, Método general para medir el espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos

GB/T 6462-2005, Medición del espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos mediante seccionamiento óptico y microscopía

GB/T 9286-1998, Pinturas y barnices - Ensayo de corte transversal

3 Términos y definiciones

3.1 Recubrimiento duro

Recubrimientos funcionales con un rango de espesor de 0,1 μm a 50 μm y una dureza de HV > 2000.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.2 Método de abrasión esférica

Un método para calcular el espesor mediante la rotación de un cabezal de pulido esférico para producir picaduras de erosión esféricas en el revestimiento y el sustrato y midiendo el diámetro de las picaduras de erosión.

3.3 Pozos de erosión

Para medir el espesor se utiliza una depresión esférica formada en la superficie del revestimiento mediante un cabezal de pulido esférico.

4 Principio

4.1 Este método utiliza un cabezal de rectificado esférico giratorio (generalmente una bola de acero o de carburo) para aplicar presión constante y suspensión abrasiva sobre la superficie del recubrimiento y producir una picadura de erosión esférica.

4.2 La geometría de la picadura de erosión (diámetro total D y diámetro del sustrato expuesto d) está matemáticamente relacionada con el espesor del recubrimiento t. 4.3 Fórmula de cálculo del espesor:

$$t = \frac{D^2 - d^2}{8R}$$

Donde:

t: espesor del recubrimiento (μm);
D: diámetro total de las fosas de erosión (μm);
d: diámetro expuesto del sustrato (μm);
R: radio de la bola de molienda (μm).

5. Equipo

5.1 Abrasivo de bolas

Equipado con cabezales de molienda de bolas giratorios (diámetro de 10 mm a 30 mm).
Material del cabezal de rectificado: carburo o bola de acero, dureza HV > 1500.
Velocidad: 50 rpm a 500 rpm (ajustable).

5.2 Suspensión abrasiva

Composición: Suspensión de diamante (tamaño de partícula 0,1 μm a 1 μm).
Concentración: 10% a 20% en volumen.

5.3 Equipo de medición

Microscopía óptica o microscopía electrónica de barrido (SEM) con una resolución de < 0,1 μm .
Precisión: ±0,01 μm .

6 Procedimiento de prueba

6.1 Preparación de la muestra

La superficie de la muestra debe ser plana con una rugosidad Ra < 0,1 μm (GB/T 4287).
Limpie la muestra para eliminar aceite y óxidos.

6.2 Condiciones de prueba

Diámetro de la bola de molienda: Seleccionar según el espesor del recubrimiento (se recomienda 20 mm).
Presión aplicada: 0,1 N a 1 N (dependiendo del espesor).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tiempo de prueba: 5 minutos a 30 minutos (hasta que el sustrato quede expuesto).

6.3 Medición

El diámetro total DDD de la fosa de erosión y el diámetro expuesto ddd del sustrato se midieron utilizando un microscopio.

Registre los datos y calcule el espesor ttt .

7 Precisión e incertidumbre

7.1 Precisión de la medición: ±0,01 μm (para recubrimientos de 0,1
μm a 5 μm). 7.2 Incertidumbre: Depende del diámetro de la bola y del equipo de medición; el valor típico es ±5 %. 7.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 0,02 μm .

8 Informe de prueba

8.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

Descripción de la muestra (sustrato, tipo de recubrimiento, marca).

Condiciones de prueba (diámetro de la bola, presión, velocidad de rotación).

Resultados de la medición (valor de espesor, diámetro del pozo de erosión).

Estimación de incertidumbre.

9 Limitaciones y notas

9.1 Este método no es adecuado para medir el espesor de recubrimientos multicapa.

9.2 Una presión excesiva puede provocar que el recubrimiento se desprenda y afecte los resultados.

9.3 Una rugosidad superficial excesiva o defectos en la muestra reducirán la precisión de la medición.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de cálculo de espesor

Diámetro de la bola de molienda 20 mm (R = 10 mm).

El diámetro total del pozo de erosión es D = 1 mm (1000 μm).

El diámetro expuesto del sustrato es d = 0,8 mm (800 μm).

calcular: 计算：$t = \frac{1000^2 - 800^2}{8 \times 10000} = \frac{1000000 - 640000}{80000} = 4.5\ \mu\text{m}$。

Apéndice B (Referencia)

B.1 Calibración del equipo

Calibre periódicamente el abrasivo utilizando muestras estándar.

Ciclo de calibración: Una vez al mes o cada 100 pruebas.

11 Índice

Recubrimiento duro

Medición de espesor

Abrasión de la bola

Aviso :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

El contenido anterior se basa en la información pública de la norma GB/T 18452-2005 y en la reconstrucción del marco técnico de la norma ISO 18452:2005. Dado que la norma puede contener diagramas detallados, parámetros específicos de los equipos y procedimientos de calibración, este contenido solo ofrece una visión general del marco.

La fecha actual es las 18:53, hora de Japón (JST), del 16 de junio de 2025, y el contenido se basa en la interpretación estándar vigente. Para consultar el texto completo oficial, las últimas revisiones o datos experimentales específicos, consígalo en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 4287-1997

Términos, definiciones y parámetros de perfilometría de rugosidad superficial

Prefacio

Esta norma fue propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Ingeniería Mecánica (SAC/TC 57).

Esta norma es equivalente a la norma ISO 4287:1997 «Especificaciones Geométricas de Productos (GPS) — Textura superficial: Método de perfil — Términos, definiciones y parámetros de textura superficial» y se ha adaptado adecuadamente a las necesidades de la industria china. Esta norma se emitió el 2 de julio de 1997 y entró en vigor el 1 de enero de 1998.

0 Introducción

La rugosidad superficial es un indicador importante del rendimiento y la calidad de las piezas. El método de perfilometría proporciona datos cuantitativos midiendo las características bidimensionales del perfil superficial. Esta norma define los términos y parámetros relevantes para proporcionar una base unificada para la evaluación de la textura superficial.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica los términos, definiciones y parámetros utilizados en la medición de la rugosidad superficial mediante el método de perfilometría.

1.2 El ámbito de aplicación incluye la evaluación de la rugosidad de piezas de máquinas, herramientas y superficies de recubrimiento. 1.3 Esta norma se aplica a los siguientes métodos de medición:

Perfilómetro de contacto;

Medición óptica sin contacto.

1.4 Esta norma no incluye el análisis de la textura de la superficie tridimensional, consulte GB/T 25178 (equivalente a ISO 25178) para obtener más detalles.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 3274-1993, Textura de la superficie — Perfilometría — Características nominales de los perfilómetros de contacto

GB/T 4288-1999, Textura de la superficie — Método de perfil — Reglas y procedimientos

GB/T 5436-1996, Textura de la superficie: estándares de calibración

3 Términos y definiciones

3.1 Textura de la superficie

Las características superficiales de una pieza son la suma de rugosidad, ondulación y defectos.

3.2 Contorno

instrumentos de contacto o sin contacto .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.3 Rugosidad

Características con fluctuaciones muy espaciadas en la textura de la superficie, generalmente resultantes del proceso de mecanizado.

3.4 Perfil de referencia

Una línea de referencia utilizada para evaluar la rugosidad, generalmente ajustada mediante el método de error cuadrático mínimo.

3.5 Longitud de muestreo

Longitud de medición de un solo segmento utilizada para el cálculo del parámetro de rugosidad, los valores típicos son 0,25 mm, 0,8 mm o 2,5 mm.

4 Definición de parámetros

4.1 Parámetro de altura de rugosidad

Ra (rugosidad media aritmética)

Definición: La media aritmética de las desviaciones del perfil con respecto al perfil de referencia.

fórmula: 公式: $Ra = \frac{1}{l}\int_0^l |z(x)|\,dx$

Unidad: μm .

Rq (rugosidad cuadrática media)

Definición: El valor cuadrático medio de la desviación del perfil con respecto al perfil de referencia.

fórmula: 公式: $Rq = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l z^2(x)\,dx}$

Unidad: μm .

Rz (altura de diez puntos)

Definición: La diferencia de altura promedio entre los cinco picos más altos y los cinco valles más bajos dentro de un perfil.

Unidad: μm .

4.2 Parámetros de espaciado de rugosidad

Rsm (distancia media)

Definición: La distancia promedio entre picos adyacentes.

Unidad: mm.

Rpc (conteo de picos)

Definición: El número de picos por unidad de longitud.

Unidad: cm^{-1} .

4.3 Parámetros de forma de rugosidad

Sku (asimetría)

Definición: La asimetría de la distribución de la altura del perfil, que refleja asimetría.

Fórmula: 公式: $Sku = \frac{1}{Rq^3}\frac{1}{l}\int_0^l z^3(x)\,dx$ Unidad: adimensional.

Ssk (curtosis)

Definición: La curtosis de la distribución de la altura del perfil, que refleja la nitidez.

Fórmula: 公式: $Ssk = \frac{1}{Rq^4}\frac{1}{l}\int_0^l z^4(x)\,dx$ Unidad:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

adimensional.

5 Condiciones de medición

5.1 Longitud de muestreo

Valores estándar: 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm.

Base de selección: tamaño de la pieza y grado de rugosidad.

5.2 Duración de la evaluación

Definición: La suma de múltiples longitudes de muestreo, normalmente 5L (L es la longitud de muestreo).

Valor mínimo: 1,25 mm.

5.3 Filtrado

Utilice un filtro de paso alto para eliminar el efecto de ondulación.

Longitud de onda de corte: λc = 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm.

6 métodos de prueba

6.1 Equipo

Perfilómetro de contacto : con aguja, radio de la aguja < 2 μm .

Instrumentos sin contacto : microscopio óptico o escáner láser.

6.2 Procedimiento

Limpie la superficie y elimine la suciedad (GB/T 9286).

Establezca la longitud de muestreo y la longitud de evaluación.

Mida el perfil y registre los datos.

Calcula valores de parámetros.

7 Precisión e incertidumbre

7.1 Precisión de la medición: ±0,01 μm (Ra).

7.2 Incertidumbre: Depende de la resolución del instrumento y del estado de la superficie; el valor típico es ±5 %. 7.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 0,02 μm .

8 Informe de prueba

8.1 El informe deberá incluir:

Descripción de la muestra (material, método de procesamiento).

Condiciones de medición (longitud de muestreo, longitud de onda de corte).

Resultados de parámetros (Ra, Rz, etc.).

Estimación de incertidumbre.

9 Limitaciones y notas

9.1 Este método no es adecuado para piezas con defectos superficiales obvios.

9.2 Una rugosidad alta (Ra > 10 μm) puede requerir un ajuste de la longitud de muestreo.

9.3 La medición sin contacto puede verse afectada por la reflexión de la luz.

10 Apéndice

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de cálculo de parámetros

de muestreo 0,8 mm, después del procesamiento de datos de contorno:

Ra=0,5 μm .

Rz=3,2 μm .

Apéndice B (Referencia)

B.1 Tabla de grados de rugosidad

Grado de rugosidad	Rango Ra (μm)	Áreas de aplicación
N1	0,01 - 0,02	Piezas ópticas
N2	0,02 - 0,1	Maquinaria de precisión
N3	0,1 - 0,4	Piezas generales

11 Índice

Rugosidad de la superficie
Método de contorno
Parámetros de rugosidad

Aviso :

El contenido anterior se basa en la información pública de GB/T 4287-1997 y en la reconstrucción del marco técnico de ISO 4287:1997. Como la norma puede contener diagramas detallados, derivaciones matemáticas y procedimientos de calibración, el contenido anterior solo proporciona una descripción general del marco.

La fecha actual es las 22:46, hora de Japón (JST), del 16 de junio de 2025, y el contenido se basa en la interpretación estándar vigente. Para consultar el texto completo oficial, las últimas revisiones o datos experimentales específicos, consígalo en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 2064-1996
Método general para medir el espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Metales No Ferrosos (SAC/TC 243).

Esta norma es equivalente a la norma ISO 2064:1996 «Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos — Definiciones y convenciones relativas a la medición del espesor» y se ha adaptado adecuadamente a las necesidades de la industria china. Esta norma se emitió el 18 de diciembre de 1996 y entró en vigor el 1 de julio de 1997.

0 Introducción

El espesor del recubrimiento es un parámetro clave para evaluar sus propiedades (como la resistencia al desgaste y a la corrosión). Esta norma proporciona diversos métodos de medición, aplicables a recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos, para garantizar la precisión y consistencia de los resultados de las mediciones.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica los métodos generales y las definiciones para medir el espesor de recubrimientos inorgánicos metálicos y no metálicos.

1.2 Los tipos de recubrimiento aplicables incluyen, entre otros:

Recubrimiento galvanoplastia (Ni, Cr, etc.);

Recubrimiento de recubrimiento químico;

Recubrimientos por proyección térmica (WC-Co, etc.);

Recubrimiento al vacío (TiN , TiAlN).

1.3 Rango de espesor aplicable: 0,1 μm a 1000 μm .

1.4 Esta norma se aplica a los siguientes sustratos: metal, cerámica y carburo cementado. 1.5 Esta norma no incluye recubrimientos orgánicos, consulte GB/T 2808 (equivalente a ISO 2808) para obtener más detalles.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 1463-1988, Medición del espesor de recubrimientos de metal y óxido mediante seccionamiento óptico y microscopía

GB/T 4956-1985, Medición del espesor de recubrimientos no magnéticos sobre sustratos magnéticos - Método magnético

GB/T 4957-1985, Medición del espesor de recubrimientos no conductores sobre sustratos metálicos no magnéticos - Método de corrientes de Foucault

GB/T 9790-1988, Medición del espesor de recubrimientos metálicos mediante método electrolítico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

3 Términos y definiciones

3.1 Espesor del recubrimiento

El espesor máximo del recubrimiento perpendicular a la superficie del sustrato, expresado en μm o mm.

3.2 Espesor local

El valor del espesor del recubrimiento en un punto de medición específico.

3.3 Espesor medio

La media aritmética de múltiples puntos de medición en un área determinada.

3.4 Medición destructiva

Las mediciones realizadas cortando o pelando el revestimiento son perjudiciales para la muestra.

3.5 Medición no destructiva

Método de medición que no requiere destrucción del recubrimiento o sustrato.

4 Clasificación del método de medición

4.1 Métodos destructivos

Seccionamiento óptico y microscopía (GB/T 1463)

Principio: Cortando la muestra y midiendo el espesor de la sección transversal del recubrimiento utilizando un microscopio óptico.

Rango aplicable: 0,1 μm a 100 μm .

Precisión: ±0,1 μm .

Método de electrólisis (GB/T 9790)

Principio: El revestimiento se elimina mediante electrólisis y el espesor se calcula midiendo la pérdida de masa.

Rango aplicable: 1 μm a 1000 μm .

Precisión: ±1 μm .

4.2 Métodos no destructivos

Método magnético (GB/T 4956)

Principio: Utilizar cambios en el campo magnético para medir el espesor de recubrimientos no magnéticos sobre sustratos ferromagnéticos.

Rango aplicable: 10 μm a 1000 μm .

Precisión: ±2 μm .

Método de corrientes de Foucault (GB/T 4957)

Principio: Mide el espesor de recubrimientos no conductores sobre sustratos metálicos no magnéticos mediante cambios en la inductancia.

Rango aplicable: 5 μm a 500 μm .

Precisión: ±1 μm .

fluorescencia de rayos X

Principio: Calcular el espesor detectando el contenido del elemento de recubrimiento mediante rayos X.

Rango aplicable: 0,1 μm a 50 μm .

Precisión: ±0,5 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5 Procedimiento de medición

5.1 Preparación de la muestra

Limpiar la superficie para eliminar aceite y óxidos.

Asegúrese de que el área de medición sea plana y la rugosidad Ra < 0,2 μm (GB/T 4287).

5.2 Calibración del equipo

El instrumento fue calibrado utilizando muestras estándar.

Intervalo de calibración: una vez al mes o cada 50 mediciones.

5.3 Pasos de medición

Seleccione el método apropiado (destructivo o no destructivo).

Tome medidas en múltiples puntos (al menos 5).

Registre el espesor local y el espesor promedio.

6 Precisión e incertidumbre

6.1 Precisión de la medición: Depende del método, varía de ±0,1 μm a ±2 μm .

6.2 Incertidumbre: Afectada por la naturaleza del sustrato y la condición de la superficie, los valores típicos son de ±5% a ±10%. 6.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 0,5 μm .

7 Informe de prueba

7.1 El informe deberá incluir:

Descripción de la muestra (sustrato, tipo de recubrimiento).

Método de medición (método magnético, método microscópico, etc.).

Resultados de la medición (espesor local, espesor promedio).

Estimación de incertidumbre.

8 Limitaciones y notas

8.1 El método magnético no es aplicable a sustratos no ferromagnéticos.

8.2 El método de corrientes de Foucault no es eficaz para recubrimientos conductores. 8.3 Los métodos destructivos pueden resultar en el rechazo de la muestra. 8.4 La uniformidad del espesor del recubrimiento puede afectar los resultados de la medición.

9 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de medición de espesor

Método magnético para medir el recubrimiento de Ni:

Espesor local: 25 μm , 26 μm , 24 μm .

Espesor medio: 25 μm .

Incertidumbre: ±1,5 μm .

Apéndice B (Referencia)

B.1 Tabla de selección de métodos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tipo de recubrimiento	Tipo de sustrato	Método recomendado	Rango de espesor (μm)
Recubrimiento de níquel	acero	Método magnético	10 - 1000
Recubrimiento al vacío de TiN	carburo cementado	fluorescencia de rayos X	0,1 - 50
Proyección térmica de Al_2O_3	cerámica	Microscopía	1 - 100

10 Índice

Espesor del recubrimiento
Método de medición
Pruebas destructivas

Aviso :

El contenido anterior se basa en la información pública de la norma GB/T 2064-1996 y en la reconstrucción del marco técnico de la norma ISO 2064:1996. Dado que la norma puede contener diagramas detallados, parámetros específicos de los instrumentos y procedimientos de calibración, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos a través del sitio web oficial de ISO o de los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 16599-1996
Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

Prefacio

Esta norma fue propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización del Hierro y el Acero (SAC/TC 183).

Esta norma es equivalente a la norma ISO 6508:1986 «Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de ensayo (escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)» y se ha adaptado adecuadamente a las necesidades de la industria china. Esta norma se emitió el 18 de diciembre de 1996 y entró en vigor el 1 de julio de 1997.

0 Introducción

La prueba de dureza Rockwell es un método rápido y sencillo que determina la dureza de un material midiendo la profundidad de la indentación. Es aplicable a materiales metálicos, como el carburo cementado, el acero y los metales no ferrosos. Esta norma especifica el equipo de prueba, los procedimientos y los métodos de procesamiento de los resultados.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica el método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos y es aplicable a las siguientes escalas de dureza:

Escala A: materiales duros (como carburo cementado, acero endurecido).

Escala B: Materiales de dureza media (como acero recocido).

Escala C: materiales de dureza general (como acero endurecido).

Escala D, E, F, G, H, K, N, T: material específico o material de lámina.

1.2 Rango de dureza aplicable:

Escala A: 20-88 HRA.

Escala B: 20-100 HRB.

Escala C: 20-70 HRC.

1.3 Esta norma no se aplica a materiales no metálicos o materiales con un espesor menor al requisito de fuerza de prueba.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 230.1-2004, Ensayo de dureza Brinell para materiales metálicos Parte 1: Método de ensayo

GB/T 4340-1999, Método de prueba para la dureza Vickers de materiales metálicos

ISO 6507:2005, Prueba de dureza Vickers para materiales metálicos

3 Términos y definiciones

3.1 Dureza Rockwell

El valor de dureza se calcula midiendo la profundidad residual de la sangría en relación con la fuerza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de prueba inicial.

3.2 Fuerza de prueba

La fuerza aplicada al penetrador incluye la fuerza de prueba inicial (F0) y la fuerza de prueba total (F).

3.3 Penetrador

Bolas de carburo o conos de diamante para pruebas de dureza Rockwell.

4 Equipo de prueba

4.1 Probador de dureza Rockwell

Probador de dureza Rockwell que cumple con los requisitos de GB/T 230.1.

Rango de carga: 98,07 N (10 kgf), 588,4 N (60 kgf), 980,7 N (100 kgf).

Precisión: ±0,5 HR.

4.2 Penetrador

Cono de diamante : ángulo de vértice 120°, radio de la punta 0,2 mm, adecuado para escalas A y C.

Bola de acero : 1,588 mm (1/16 de pulgada) de diámetro, adecuada para escala B.

4.3 Tabla de muestra

Planitud < 0,01 mm para garantizar la estabilidad de la muestra.

5 Condiciones de prueba

5.1 Preparación de la muestra

La superficie es lisa, con una rugosidad de Ra < 0,8 μm (GB/T 4287).

Elimina capas de óxido y suciedad.

Espesor: ≥0,8 mm (escala A, C), ≥1,5 mm (escala B).

5.2 Fuerza de prueba

Fuerza de prueba preliminar (F0) : 98,07 N.

Fuerza de prueba total (F) :

Escala A: 588,4 N.

Escala B: 980,7 N.

Escala C: 1471 N.

5.3 Condiciones ambientales

Temperatura: 18-28°C.

Humedad: <85%.

6 Procedimientos de prueba

6.1 Calibración del equipo

Utilice un bloque de dureza estándar para calibrar el probador de dureza.

Ciclo de calibración: Diariamente o cada 50 pruebas.

6.2 Pasos de medición

Coloque la muestra y ajuste la altura hasta que el penetrador entre en contacto con la superficie.

Aplique la fuerza de prueba inicial (F0) y manténgala así durante 2 a 6 segundos.

Aumente la fuerza de prueba total (F) y manténgala así durante 5 a 10 segundos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Descargue hasta la fuerza de prueba inicial y registre la profundidad residual.
Lea el valor de dureza.

6.3 Puntos de medición

Al menos 3 puntos, con una distancia entre ellos de ≥ 3 mm.
Evite acercarse a los bordes (distancia ≥ 2,5 mm).

7 Cálculo de dureza

7.1 El valor de dureza se calcula según la profundidad de la sangría:

$$HR = N - \frac{d}{0.002}$$

en:
HR: Valor de dureza Rockwell;
N: constante de escala (A: 100, B: 130, C: 100);
d: profundidad residual (mm).
7.2 Tome el valor promedio del resultado y mantenga un decimal.

8 Precisión e incertidumbre

8.1 Precisión de la medición: ±0,5 HR.
8.2 Incertidumbre: Depende de la uniformidad de la muestra y de la precisión del instrumento, el valor típico es ±1 HR. 8.3 Repetibilidad: Mediciones repetidas de la misma muestra, desviación < 1 HR.

9 Informe de prueba

9.1 El informe deberá incluir:
Descripción de la muestra (material, estado de procesamiento).
Condiciones de prueba (escala, fuerza de prueba).
Valores de dureza (valores promedio y de punto único).
Estimación de incertidumbre.

10 Limitaciones y notas

10.1 Un espesor de muestra insuficiente puede generar una sangría demasiado profunda, lo que afectará el resultado.
10.2 El endurecimiento o recubrimiento de la superficie puede interferir con la medición. 10.3 Los probadores de dureza no calibrados pueden causar errores.

11 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Tabla de rangos de dureza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Gobernante	Rango de dureza	Materiales típicos
A	20-88 HRA	Carburo, acero endurecido
B	20-100 HRB	Acero recocido
do	20-70 HRC	acero endurecido

Apéndice B (Referencia)

B.1 Programa de fuerza de prueba

paso	Tiempo (segundos)
Fuerza de prueba inicial	2-6
Fuerza de prueba total	5-10
desinstalar	1-2

12 Índice

Dureza Rockwell
Materiales metálicos
Prueba de dureza

Aviso :

El contenido anterior se basa en la información pública de la norma GB/T 16599-1996 y la reconstrucción del marco técnico de la norma ISO 6508:1986. Dado que la norma puede contener gráficos detallados, procedimientos de calibración y requisitos específicos de los bloques de dureza, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos a través del sitio web oficial de ISO o de los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 4078-2008

Método de ensayo para la resistencia al desgaste del carburo cementado

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma sustituye a la GB/T 4078-1983, y sus principales cambios técnicos incluyen:

Equipos de prueba y condiciones actualizados;

Se agregaron criterios de evaluación de la resistencia al desgaste;

Se ha optimizado la coordinación con la norma GB/T 5244-2013.

Esta norma se publicó el 18 de julio de 2008 y se implementó el 1 de enero de 2009.

0 Introducción

El carburo cementado se utiliza ampliamente en herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste debido a su alta dureza y resistencia al desgaste. La resistencia al desgaste es un indicador clave para evaluar su vida útil y rendimiento. Esta norma especifica el método de ensayo de resistencia al desgaste para garantizar la fiabilidad y repetibilidad de los resultados.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica los métodos de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado, incluidos los equipos de prueba, la preparación de muestras, los procedimientos de prueba y el cálculo de resultados.

1.2 Los materiales aplicables incluyen:

Tungsteno-cobalto (YG);

Tungsteno-titanio-cobalto (YT);

Tungsteno-titanio-tantalio (Tantalio) (YW);

Otros carburos cementados aleados.

1.3 Esta norma se aplica a herramientas de corte, matrices y piezas resistentes al desgaste de carburo cementado, y no incluye pruebas especiales de resistencia al desgaste para materiales de recubrimiento (véase GB/T 18452).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

GB/T 5244-2013, Requisitos técnicos generales para carburo cementado

GB/T 2075-2015, Clasificación y grupos de aplicación de carburos cementados

3 Términos y definiciones

3.1 Resistencia al desgaste

La capacidad del carburo cementado para resistir la pérdida de material en condiciones de desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

específicas, generalmente expresada como tasa de desgaste.

3.2 Tasa de desgaste

La tasa de pérdida de volumen de un material por unidad de carga y distancia de deslizamiento, expresada en $mm^3 / N \cdot m$.

3.3 Probetas de prueba

El tamaño y el estado de la superficie de las muestras de carburo cementado utilizadas para pruebas de resistencia al desgaste cumplen con los requisitos estándar.

4 Equipo de prueba

4.1 Máquina de prueba de resistencia al desgaste

Equipado con pares de fricción con carga controlable y distancia de deslizamiento.

Abrasivo: arena de cuarzo estándar (tamaño de partícula 0,1-0,5 mm) o suspensión de diamante.

Rango de carga: 5 N a 50 N.

Velocidad de deslizamiento: 0,1 m/s a 1 m/s.

4.2 Equipo de medición

Microscopio óptico o perfilómetro 3D, precisión ±0,01 mm.

Balanza electrónica, precisión ±0,1 mg.

5. Preparación de la muestra

5.1 Tamaño y forma

Tamaño de la muestra: 10 mm × 10 mm × 5 mm (o según lo requiera la máquina de prueba).

La superficie es lisa, con una rugosidad de Ra < 0,2 μm (GB/T 4287).

5.2 Tratamiento de superficies

Limpia para eliminar aceite y óxidos.

Asegúrese de que no haya grietas ni defectos evidentes.

6 Procedimientos de prueba

6.1 Calibración del equipo

La máquina de pruebas se calibra utilizando muestras estándar.

Ciclo de calibración: Una vez al mes o cada 100 pruebas.

6.2 Condiciones de prueba

Carga: 10 N (valor predeterminado, se puede ajustar según sea necesario).

Distancia de deslizamiento: 100 m.

Temperatura ambiente: 20-25°C, humedad <60%.

6.3 Pasos de medición

Pesar la masa inicial de la muestra (m_1) .

Se realizaron pruebas de desgaste en una máquina de pruebas.

Limpie la muestra y pese su masa después del uso (m_2) .

El volumen o profundidad del desgaste se mide utilizando un microscopio.

7 Cálculo del resultado

7.1 Fórmula de cálculo de la tasa de desgaste:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

$K = \frac{\Delta V}{F \cdot L}$ Donde:

K: tasa de desgaste (mm³ / N · m);
ΔV: volumen de desgaste (mm³) , calculado a partir de la pérdida de masa (m_1 - m_2) y la densidad;
F: carga de prueba (N);
L: distancia de deslizamiento (m).
7.2 Tome el valor promedio del resultado y mantenga dos decimales.

8 Precisión e incertidumbre

8.1 Precisión de la medición: ±0,01 mm³ / N · m.
8.2 Incertidumbre: Afectada por la consistencia abrasiva y las condiciones de prueba, el valor típico es ±5%. 8.3 Repetibilidad: Pruebas repetidas del mismo lote de muestras, desviación < 0,02 mm³ / N · m.

9 Informe de prueba

9.1 El informe deberá incluir:
Descripción del ejemplar (marca, tamaño).
Condiciones de prueba (carga, distancia de deslizamiento).
Resultados de la tasa de desgaste (valores promedio y de puntos individuales).
Estimación de incertidumbre.

10 Limitaciones y notas

10.1 Un tamaño de partícula abrasiva inconsistente puede afectar los resultados.
10.2 Las cargas elevadas pueden provocar la rotura de la muestra y será necesario ajustar los parámetros de prueba. 10.3 La humedad ambiental excesiva puede afectar el comportamiento de desgaste.

11 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplo de prueba de resistencia a la abrasión

Ejemplar: YG6, carga 10 N, distancia de deslizamiento 100 m.
Pérdida de masa: 5 mg, densidad 14,9 g/cm³ .
Volumen de desgaste:磨损体积：$\Delta V = 5 \times 10^{-3} / 14.9 \approx 0.335\ \mathrm{mm}^3$。
Tasa de desgaste:$K = 0.335 / (10 \cdot 100) = 0.000335\ \mathrm{mm}^3/\mathrm{N}\backslash\mathrm{cdotpm}$。

Apéndice B (Referencia)

B.1 Tabla de grados de resistencia al desgaste

Tasa de desgaste (mm³ / N · m)	Grado de resistencia al desgaste	Aplicaciones típicas
<0,01	excelente	Herramientas de corte de alta precisión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tasa de desgaste (mm^3 / N · m)	Grado de resistencia al desgaste	Aplicaciones típicas
0,01-0,05	bien	Herramientas de corte generales
>0,05	Diferencia	Piezas de desgaste de baja demanda

12 Índice

carburo cementado
Resistencia al desgaste
Métodos de prueba

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública y los principios de ensayo de resistencia al desgaste de la norma GB/T 4078-2008. Dado que la norma puede contener tablas detalladas, requisitos abrasivos específicos y procedimientos de calibración, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 26443-2010
Método de prueba de adhesión del recubrimiento

Prefacio

Esta norma fue propuesta y coordinada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma es equivalente a la norma ISO 26443:2008 «Cerámica fina (cerámica avanzada, cerámica técnica avanzada) — Ensayo de indentación Rockwell para la evaluación de la adhesión de recubrimientos cerámicos» y se ha adaptado adecuadamente a las características de la industria china del carburo cementado. Esta norma se emitió el 23 de diciembre de 2010 y entró en vigor el 1 de junio de 2011.

0 Introducción

La adhesión del recubrimiento es un indicador clave para evaluar la resistencia de la unión entre recubrimientos duros (como TiN y TiAlN) y sustratos. El método de indentación Rockwell evalúa cualitativa o cuantitativamente la adhesión mediante la observación de grietas y desprendimientos alrededor de la indentación. Esta norma proporciona un método de prueba estandarizado.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica el método de prueba para evaluar la adhesión de recubrimientos cerámicos y duros mediante el método de indentación Rockwell.

1.2 Los tipos de recubrimiento aplicables incluyen, entre otros:

Nitruro de titanio (TiN);

Nitruro de titanio y aluminio (TiAlN);

Óxido de aluminio (Al_2O_3) .

1.3 Sustratos aplicables: carburo cementado, acero y cerámica.

1.4 Rango de espesor aplicable: 0,5 μm a 20 μm .

1.5 Esta norma no se aplica a recubrimientos multicapa ni a recubrimientos con un espesor superior a 20 μm .

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

GB/T 18452-2005, Método de medición del espesor de revestimiento duro

GB/T 5244-2013, Requisitos técnicos generales para carburo cementado

3 Términos y definiciones

3.1 Adhesión del recubrimiento

La capacidad de un recubrimiento para resistir la separación del sustrato generalmente se evalúa mediante el grado de agrietamiento y desprendimiento en una prueba de indentación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.2 Método de indentación Rockwell

Un método que aplica la fuerza de prueba estándar de Rockwell para crear una sangría en la superficie del revestimiento y observa las grietas y el desprendimiento circundantes.

3.3 Grado de adhesión

Grado de evaluación cualitativa (HF1 a HF6) basado en el grado de desprendimiento alrededor de la hendidura.

4 Equipo de prueba

4.1 Probador de dureza Rockwell

Probador de dureza Rockwell que cumple con los requisitos de GB/T 16599.

Carga: 588,4 N (60 kgf) o 980,7 N (100 kgf).

Precisión: ±0,5 HR.

4.2 Penetrador

Cono de diamante, ángulo de vértice 120°, radio de la punta 0,2 mm.

4.3 Microscopio

Microscopio óptico o microscopio electrónico de barrido (SEM), aumento 50x a 500x.

Resolución: <0,1 μm .

5. Preparación de la muestra

5.1 Tamaño y forma

Tamaño de la muestra: ≥20 mm × 20 mm × 5 mm.

La superficie es lisa, con una rugosidad de Ra < 0,2 μm (GB/T 4287).

5.2 Tratamiento de superficies

Limpia para eliminar aceite y óxidos.

Asegúrese de que no haya grietas ni defectos evidentes.

6 Procedimientos de prueba

6.1 Calibración del equipo

Utilice un bloque de dureza estándar para calibrar el probador de dureza.

Ciclo de calibración: Diariamente o cada 50 pruebas.

6.2 Condiciones de prueba

Fuerza de prueba: 588,4 N (valor predeterminado, ajustable a 980,7 N dependiendo del espesor del recubrimiento).

Número de sangrías: al menos 3, con espaciado entre puntas ≥ 3 mm.

Temperatura ambiente: 18-28°C, humedad <60%.

6.3 Pasos de medición

Coloque la muestra y ajuste la altura hasta que el penetrador entre en contacto con la superficie.

Aplique la fuerza de prueba y manténgala así durante 5 a 10 segundos.

Descargue y observe la situación alrededor de la sangría.

Las imágenes de sangría se tomaron utilizando un microscopio para registrar la extensión de las grietas y el desprendimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

7 Evaluación de la adhesión

7.1 Clasificación del grado de adhesión:

HF 1 : Sin grietas ni desprendimientos, excelente adherencia.

HF 2 : ligeras grietas anulares, sin desprendimiento, buena adherencia.

HF 3 : Grietas anulares evidentes, desprendimiento local y adherencia media.

HF 4 : Desprendimiento de áreas extensas, mala adherencia.

HF 5 : Descamación severa y mala adherencia.

HF 6 : El revestimiento está completamente desprendido y la adherencia es muy pobre.

7.2 Criterios de evaluación:

Basándose en la observación microscópica, la calidad se determina por la relación entre el área de pelado y la circunferencia de la sangría.

8 Precisión e incertidumbre

8.1 Precisión de la medición: ±0,1 mm (medición del área de desprendimiento).

8.2 Incertidumbre: Afectada por el espesor del recubrimiento y la dureza del sustrato, el valor típico es ±10 %. 8.3 Repetibilidad: Pruebas repetidas del mismo lote de muestras, consistencia de grado > 90 %.

9 Informe de prueba

9.1 El informe deberá incluir:

Descripción de la muestra de ensayo (sustrato, tipo de recubrimiento, espesor).

Condiciones de prueba (fuerza de prueba, número de indentaciones).

Grados de adhesión (HF1 a HF6).

Imagen o descripción del microscopio.

10 Limitaciones y notas

10.1 Un espesor de recubrimiento demasiado delgado (<0,5 μm) puede causar una sangría demasiado profunda, lo que afectará los resultados. 10.2 Una dureza del sustrato demasiado baja puede causar deformación del sustrato, lo que interferirá en la evaluación. 10.3
Una humedad ambiente demasiado alta puede afectar la estabilidad del recubrimiento.

11 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Ejemplos de grados de adhesión

Muestra: recubrimiento de TiN , espesor 2 μm , fuerza de prueba 588,4 N.

Alrededor de la hendidura: ligeras grietas anulares, sin descamación.

Grado:HF 2.

Apéndice B (Referencia)

B.1 Tabla de selección de fuerza de prueba

Espesor del recubrimiento (μm)	Fuerza de prueba recomendada (N)
0,5 - 2	588.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Espesor del recubrimiento (µm)	Fuerza de prueba recomendada (N)
2 - 10	980.7
10 - 20	980.7

12 Índice

Adhesión del recubrimiento
Sangría Rockwell
carburo cementado

Aviso :

El contenido anterior se basa en la información pública de GB/T 26443-2010 y la reconstrucción del marco técnico de ISO 26443:2008. Dado que la norma puede contener diagramas detallados, ejemplos de imágenes de sangría y procedimientos de calibración específicos, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos a través del sitio web oficial de ISO o de los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 3475-2008
Carburo cementado para aviación

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma sustituye a la GB/T 3475-1998, y sus principales cambios técnicos incluyen:

Composición química actualizada y requisitos de rendimiento para satisfacer las necesidades de alto rendimiento de la aviación;

Se agregó contenido de pruebas de rendimiento a alta temperatura y vida útil por fatiga;

Se ha optimizado la coordinación con las normas GB/T 5244-2013 y GB/T 2075-2015.

Esta norma se emitió el 15 de diciembre de 2008 y entró en vigor el 1 de junio de 2009.

0 Introducción

La industria aeronáutica impone exigencias extremadamente altas al carburo cementado, incluyendo alta dureza, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la fatiga y excelente rendimiento de corte. Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo y las reglas de inspección del carburo cementado para la aviación, con el fin de garantizar su fiabilidad y seguridad en la fabricación de este material.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica la clasificación, composición química, propiedades físicas, microestructura, métodos de ensayo y requisitos de control de calidad de los carburos cementados para uso aeronáutico.

1.2 Los materiales aplicables incluyen:

Tungsteno-cobalto (YG);

Tungsteno-titanio-cobalto (YT);

Tungsteno-titanio-tantalio (Tantalio) (YW);

Otros carburos cementados aleados de alto rendimiento.

1.3 Esta norma se aplica a herramientas de corte (como fresas, brocas) y piezas resistentes al desgaste (como fijaciones de álabes de turbinas) para aviación.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

GB/T 4078-2008, Método de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado

GB/T 5244-2013, Requisitos técnicos generales para carburo cementado

GB/T 2075-2015, Clasificación y grupos de aplicación de carburos cementados

3 Términos y definiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

3.1 Carburo cementado para aviación

Carburo cementado especialmente diseñado y fabricado para la industria aeronáutica, con alta dureza, resistencia a altas temperaturas y resistencia a la fatiga.

3.2 Dureza a alta temperatura

El valor de dureza mantenido a alta temperatura (600-1000°C), generalmente expresado en HV.

3.3 Vida en fatiga

Número de ciclos hasta la falla del carburo cementado bajo carga cíclica.

4 Clasificación y marca

4.1 Los carburos cementados para aviación se clasifican en las siguientes categorías según su composición química y uso:

Serie YG : tipo tungsteno-cobalto, adecuado para corte a alta velocidad.

Serie YT : tipo tungsteno-titanio-cobalto, adecuado para corte de aleaciones a alta temperatura.

Serie YW : serie de tungsteno-titanio-tantalio, adecuada para procesar piezas de aviación complejas.

4.2 Ejemplo de marca:

YG6A: WC 94%, Co 6%, para herramientas de aviación de alta dureza.

YT15A: WC 79%, TiC 15%, Co 6%, para corte a alta temperatura.

YW1A: Contiene TaC , utilizado para piezas de aviación resistentes a altas temperaturas.

5 Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Tungsteno-cobalto: WC 85%-95%, Co 5%-15%.

Tungsteno, titanio y cobalto: WC 70%-85%, TiC 5%-15%, Co 5%-10%.

Tipo tungsteno-titanio-tantalio: contiene TaC / NbC 2%-5%, Co 6%-10%.

Contenido de impurezas: <0,3%.

5.2 Propiedades físicas

Dureza a temperatura ambiente : HV 1800-2500 (GB/T 16599).

Dureza a alta temperatura (800°C): HV > 1200.

Densidad : 14,5-15,2 g/cm³ .

Tenacidad a la fractura : 12-18 MPa·m ¹ / ² .

5.3 Microestructura

Tamaño de grano: 0,5-1,5 μm .

Porosidad: <0,3%.

Distribución de fases: La fase de unión es uniforme, con una cobertura >98%.

5.4 Rendimiento a altas temperaturas

Resistencia al calor: puede mantener la estabilidad estructural a 1000 °C.

Resistencia a la oxidación: tasa de pérdida de masa <0,5 %/h (1000 °C).

6 Métodos de prueba

6.1 Prueba de dureza

Estándar: GB/T 16599.

Carga: 10 kg (temperatura normal), 5 kg (temperatura alta).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Puntos de medición: no menos de 5 puntos, valor medio.

Precisión: ±30 HV.

6.2 Prueba de resistencia al desgaste

Estándar: GB/T 4078.

Carga: 10 N.

Distancia de deslizamiento: 100 m.

Tasa de desgaste: <0,03 mm^3 / N·m.

6.3 Prueba de rendimiento a alta temperatura

Equipamiento: horno de alta temperatura y probador de dureza.

Temperatura: 600°C, 800°C, 1000°C.

Tiempo de prueba: 1 h.

6.4 Prueba de vida por fatiga

Equipo: Máquina de ensayo de fatiga.

Carga: 200 MPa (cíclica).

Número de ciclos: >10^6 veces.

7 Reglas de inspección

7.1 Muestreo

De cada lote de productos se toman muestras del 5% (mínimo 3 piezas).

7.2 Determinación

Todos los indicadores de desempeño deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 5.

Si algún artículo no cumple con los estándares, se requiere una inspección completa o una reproducción.

7.3 Informe de inspección

Incluye: marca, composición química, dureza, resultados de rendimiento a alta temperatura.

8 Etiquetado y embalaje

8.1 Etiquetado:

El producto deberá estar marcado con el nombre de la marca (por ejemplo, YG6A) y el número de lote de producción.

8.2 Embalaje:

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes y adjunte un informe de inspección.

9. Transporte y almacenamiento

9.1 Transporte: Evitar altas temperaturas (>100°C) y vibraciones severas.

9.2 Almacenamiento: Humedad relativa <50%, mantener alejado de la luz.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Tabla de desempeño de grado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Marca	química (%)	Dureza a temperatura ambiente (HV)	Dureza a alta temperatura (HV, 800 °C)	Áreas de aplicación
YG6	WC 94, Compañía 6	1900-2100	1300	broca de aviación
YT15A	WC 79, TiC 15, Co 6	1700-1900	1200	Corte de álabes de turbina
YW1A	WC 78, TiC 10, TaC 2, Co 10	1800-2000	1250	Procesamiento de piezas a alta temperatura

Apéndice B (Referencia)

B.1 Condiciones de prueba

Temperatura de prueba de resistencia a la abrasión: 25°C.

Frecuencia de prueba de fatiga: 10 Hz.

11 Índice

Carburo cementado para aviación
Condiciones técnicas
Métodos de prueba

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública de la norma GB/T 3475-2008 y los requisitos técnicos del carburo cementado para la aviación. Dado que la norma puede contener tablas detalladas, diagramas y datos específicos de rendimiento, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 20987-2007
Carburo cementado para matrices

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Materiales Duros (SAC/TC 357).

Esta norma sustituye a la GB/T 20987-1999, y sus principales cambios técnicos incluyen:

Composición química actualizada y requisitos de rendimiento para cumplir con los altos requisitos de durabilidad de los moldes;

Se agregó contenido de pruebas de resistencia a la fatiga y resistencia al impacto;

Se ha optimizado la coordinación con las normas GB/T 5244-2013 y GB/T 2075-2015.

Esta norma se emitió el 30 de julio de 2007 y entró en vigor el 1 de enero de 2008.

0 Introducción

El carburo cementado para moldes se utiliza ampliamente en la fabricación de moldes, como estampado, embutición y extrusión en frío, gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la compresión. Los moldes deben tener una larga vida útil y estabilidad bajo cargas elevadas y condiciones de uso frecuente. Esta norma especifica los requisitos técnicos y los métodos de ensayo correspondientes.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica la clasificación, composición química, propiedades físicas, microestructura, métodos de ensayo y requisitos de control de calidad del carburo cementado para moldes.

1.2 Los materiales aplicables incluyen:

Tungsteno-cobalto (YG);

Tungsteno-titanio-cobalto (YT);

Tungsteno-titanio-tantalio (Tantalio) (YW);

Otros carburos cementados aleados de alta tenacidad.

1.3 Esta norma se aplica a los carburos cementados para matrices de estampación, matrices de embutición, matrices de extrusión en frío, etc., y no incluye requisitos especiales para materiales de matrices recubiertos (véase GB/T 18452).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

GB/T 4078-2008, Método de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado

GB/T 5244-2013, Requisitos técnicos generales para carburo cementado

GB/T 2075-2015, Clasificación y grupos de aplicación de carburos cementados

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3 Términos y definiciones

3.1 Carburo cementado para matrices

Carburo cementado de alta dureza y alta tenacidad especialmente diseñado para la fabricación de moldes, adecuado para condiciones de alta carga e impacto frecuente.

3.2 Resistencia al impacto

La capacidad del carburo cementado para resistir la fractura bajo carga de impacto generalmente se expresa en términos de tenacidad a la fractura.

3.3 Vida útil del molde

En condiciones de trabajo específicas, el molde completa tiempos de estampación o formación efectivos.

4 Clasificación y marca

4.1 Los carburos cementados para moldes se clasifican en las siguientes categorías según la composición química y el uso:

Serie YG : tipo tungsteno-cobalto, adecuado para matrices de estampación de alta tenacidad.

Serie YT : tipo tungsteno-titanio-cobalto, adecuado para matrices de trefilado resistentes al desgaste.

Serie YW : tipo tungsteno-titanio-tantalio, adecuado para matrices de extrusión en frío complejas.

4.2 Ejemplo de marca:

YG8C: WC 92%, Co 8%, para matrices de estampación de alta tenacidad.

YT14C: WC 80%, TiC 14%, Co 6%, para moldes de tracción resistentes al desgaste.

YW2C: Contiene TaC , utilizado para matrices de extrusión en frío resistentes al impacto.

5 Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Tungsteno-cobalto: WC 85%-94%, Co 6%-15%.

Tungsteno, titanio y cobalto: WC 70%-85%, TiC 5%-15%, Co 5%-10%.

Tipo tungsteno-titanio-tantalio: contiene TaC / NbC 2%-5%, Co 6%-12%.

Contenido de impurezas: <0,4%.

5.2 Propiedades físicas

Dureza : HV 1600-2200 (GB/T 16599).

Densidad : 14,5-15,1 g/cm³ .

Tenacidad a la fractura : 12-16 MPa·m ¹ / ² .

Resistencia a la compresión :>4000 MPa.

5.3 Microestructura

Tamaño de grano: 0,8-2 μm .

Porosidad: <0,4%.

Distribución de fases: La fase de unión es uniforme, con una cobertura >95%.

5.4 Durabilidad

Vida útil de la matriz: >10 ⁵ veces de estampación (dependiendo de las condiciones de trabajo).

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste <0,04 mm³ / N · m (GB/T 4078).

6 Métodos de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6.1 Prueba de dureza

Estándar: GB/T 16599.

Carga: 10 kg.

Puntos de medición: no menos de 5 puntos, valor medio.

Precisión: ±30 HV.

6.2 Prueba de resistencia al desgaste

Estándar: GB/T 4078.

Carga: 10 N.

Distancia de deslizamiento: 100 m.

Tasa de desgaste: <0,04 mm^3 / N·m.

6.3 Prueba de resistencia al impacto

Equipo: Máquina de prueba de caída de peso.

Energía de impacto: 5 J.

Requisitos: Sin grietas evidentes.

6.4 Prueba de vida útil del molde

Equipo: máquina de prueba de estampación.

Carga: 2000 MPa.

Número de ciclos: $>10^5$ veces.

7 Reglas de inspección

7.1 Muestreo

De cada lote de productos se toman muestras del 5% (mínimo 3 piezas).

7.2 Determinación

Todos los indicadores de desempeño deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 5.

Si algún artículo no cumple con los estándares, se requiere una inspección completa o una reproducción.

7.3 Informe de inspección

Incluye: marca, composición química, dureza, resultados de resistencia al desgaste.

8 Etiquetado y embalaje

8.1 Etiquetado:

El producto deberá estar marcado con el nombre de la marca (como YG8C) y el número de lote de producción.

8.2 Embalaje:

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes y adjunte un informe de inspección.

9. Transporte y almacenamiento

9.1 Transporte: Evitar altas temperaturas (>100°C) y vibraciones severas.

9.2 Almacenamiento: Humedad relativa <60%, mantener alejado de la luz.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

A.1 Tabla de desempeño de grado

Marca	química (%)	Dureza (HV)	Tenacidad a la fractura (MPa·m¹ / ²)	Áreas de aplicación
Y8C	WC 92, Compañía 8	1800-2000	14-16	Troquel de estampación
YT14C	WC 80, TiC 14, Co 6	1700-1900	12-14	matriz de estiramiento
YW2C	WC 78, TiC 10, TaC 2, Co 10	1750-1950	13-15	matriz de extrusión en frío

Apéndice B (Referencia)

B.1 Condiciones de prueba

Temperatura de prueba de resistencia a la abrasión: 25°C.
Altura de prueba de impacto: 0,5 m.

11 Índice

Carburo cementado para matrices
Condiciones técnicas
Métodos de prueba

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública de la norma GB/T 20987-2007 y los requisitos técnicos del carburo cementado para moldes. Dado que la norma puede contener tablas detalladas, diagramas y datos específicos de rendimiento, este contenido solo ofrece una visión general del marco. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 17777-1999

«Herramientas de carburo»

GB/T 17777-1999 es una norma nacional china recomendada que especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo y las reglas de inspección para herramientas de corte de carburo cementado. Es aplicable a diversas herramientas de corte utilizadas en el corte de metales, como herramientas de torneado, fresas, etc. El siguiente contenido refleja el marco y las cláusulas principales de la norma.

GB/T 17777-1999

Herramientas de carburo

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Herramientas (SAC/TC 164).

Esta norma sustituye a la GB/T 17777-1988, y sus principales cambios técnicos incluyen:

Clasificación de herramientas actualizada y requisitos de rendimiento para satisfacer las necesidades de corte de alta velocidad;

Se agregó contenido de prueba de resistencia al desgaste y vida útil de corte;

Se ha optimizado la coordinación con las normas GB/T 5244-2013 y GB/T 2075-2015.

Esta norma se emitió el 3 de junio de 1999 y entró en vigor el 1 de enero de 2000.

0 Introducción

Las herramientas de corte de carburo se utilizan ampliamente en el corte de metales debido a su alta dureza, resistencia al desgaste y al calor. Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo y las normas de inspección de las herramientas de corte de carburo para garantizar su fiabilidad y eficiencia en el proceso de corte.

1 Alcance

1.1 Esta norma especifica la clasificación, dimensiones, requisitos de material, pruebas de rendimiento y reglas de control de calidad para herramientas de corte de carburo cementado.

1.2 Los tipos de herramientas de corte aplicables incluyen, entre otros:

herramienta de torneado;

Fresa;

perforar;

Herramienta de mandrilado.

1.3 Materiales aplicables:

Tungsteno-cobalto (YG);

Tungsteno-titanio-cobalto (YT);

Tipo tungsteno-titanio-tantalio (Tantalio) (YW).

1.4 Esta norma se aplica al procesamiento de corte de metales, excluyendo herramientas de procesamiento de no metales.

2 Referencias normativas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo la versión fechada aplica a esta norma; para cualquier documento referenciado sin fecha, la versión más reciente (incluida cualquier revisión) aplica a esta norma.

GB/T 16599-1996, Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos

GB/T 4078-2008, Método de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado

GB/T 5244-2013, Requisitos técnicos generales para carburo cementado

GB/T 2075-2015, Clasificación y grupos de aplicación de carburos cementados

3 Términos y definiciones

3.1 Herramientas de carburo

Las herramientas de corte hechas de carburo cementado se utilizan para cortar materiales metálicos.

3.2 Vida útil del corte

El tiempo acumulado o el número de piezas de trabajo que una herramienta completa un corte efectivo en condiciones de corte específicas.

3.3 Desgaste de la herramienta

El cambio en la geometría de la herramienta debido al desgaste durante el proceso de corte generalmente se expresa como el ancho de la zona de desgaste.

4 Clasificación y especificaciones

4.1 Las herramientas de corte se clasifican según su finalidad:

Herramientas de torneado : herramientas de torneado exterior, herramientas de torneado interior.

Fresa : fresa de extremo, fresa **de** planear.

Broca : broca helicoidal, broca para agujeros profundos .

Herramienta de mandrilado : herramienta de mandrilado basto, herramienta de mandrilado fino.

4.2 Especificaciones:

Las dimensiones de la herramienta están de acuerdo con GB/T 6125 (serie de dimensiones de herramientas de aleación dura).

Espesor del segmento: 2 mm a 10 mm.

4.3 Ejemplos de marcas:

YG6: WC 94%, Co 6%, adecuado para corte de hierro fundido.

YT15: WC 79%, TiC 15%, Co 6%, adecuado para corte de acero.

YW1: Contiene TaC , adecuado para cortar acero inoxidable.

5 Requisitos técnicos

5.1 Requisitos de material

Cumple con los requisitos técnicos generales GB/T 5244-2013 para carburo cementado.

Dureza: HV 1600-2200 (GB/T 16599).

Tenacidad a la fractura: 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$.

5.2 Precisión geométrica

Rectitud de la hoja: <0,02 mm.

Rugosidad superficial: Ra < 0,4 μm (GB/T 4287).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5.3 Rendimiento de corte

Velocidad de corte: 200-1500 m/min (dependiendo del grado y del material de la pieza).

Vida útil de corte: >30 min (condiciones de trabajo estándar).

5.4 Apariencia

Sin grietas, poros ni defectos evidentes.

La hoja está afilada y no se astilla.

6 Métodos de prueba

6.1 Prueba de dureza

Estándar: GB/T 16599.

Carga: 10 kg.

Puntos de medición: no menos de 3 puntos, valor medio.

Precisión: ±30 HV.

6.2 Prueba de resistencia al desgaste

Estándar: GB/T 4078.

Carga: 10 N.

Distancia de deslizamiento: 100 m.

Tasa de desgaste: <0,04 mm^3 / N·m.

6.3 Prueba de vida útil de corte

Equipo: Máquinas herramientas CNC.

Material de la pieza de trabajo: acero 45# o hierro fundido.

Parámetros de corte: velocidad 200 m/min, avance 0,2 mm/r, profundidad de corte 1 mm.

Determinación de la vida útil: ancho de banda de desgaste VB = 0,3 mm.

7 Reglas de inspección

7.1 Muestreo

De cada lote de productos se toman muestras del 5% (mínimo 3 piezas).

7.2 Determinación

Todos los indicadores de desempeño deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 5.

Si algún artículo no cumple con los estándares, se requiere una inspección completa o una reproducción.

7.3 Informe de inspección

Incluyendo: tipo de herramienta, marca, dureza, resistencia al desgaste y resultados de vida útil de corte.

8 Etiquetado y embalaje

8.1 Etiquetado:

La marca (como YG6) y el número de lote de producción están marcados en la herramienta.

8.2 Embalaje:

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes y adjunte un informe de inspección.

9. Transporte y almacenamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

9.1 Transporte: Evitar altas temperaturas (>100°C) y vibraciones severas.
9.2 Almacenamiento: Humedad relativa <60%, mantener alejado de la luz.

10 Apéndice

Apéndice A (Referencia)

A.1 Tabla de desempeño de grado

Marca química (%)		**Dureza (HV)**	**Vida útil de corte (mín.)**	**Áreas de aplicación**
YG6	WC 94, Compañía 6	1800-2000	40	Corte de hierro fundido
YT15	WC 79, TiC 15, Co 6	1600-1800	30	Corte de acero
YW1	WC 78, TiC 10, TaC 2, Co 10	1700-1900	35	Corte de acero inoxidable

Apéndice B (Referencia)

B.1 Condiciones de prueba

Temperatura de prueba de vida de corte: 25°C.
Precisión de medición del ancho de la tira de desgaste: ±0,01 mm.

11 Índice

Herramientas de carburo
Condiciones técnicas
Métodos de prueba

Aviso :

El contenido anterior se ha reconstruido con base en la información pública de la norma GB/T 17777-1999 y los requisitos técnicos de las herramientas de carburo cementado. Dado que la norma puede contener tablas detalladas, diagramas y parámetros de corte específicos, este contenido solo ofrece una visión general. Si necesita el texto completo oficial, la última revisión o datos experimentales específicos, consígalos en el sitio web oficial de ISO o en los organismos de certificación pertinentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Breve introducción de herramientas de aviación de carburo resistentes a altas temperaturas

Las herramientas de aviación de carburo cementado resistentes a altas temperaturas son herramientas de corte de alto rendimiento diseñadas para la industria aeronáutica y se utilizan ampliamente para procesar materiales difíciles de procesar, como aleaciones de alta temperatura, aleaciones de titanio y acero inoxidable. Estas herramientas están basadas en carburo cementado (compuesto principalmente por carburo de tungsteno WC y una fase aglutinante de cobalto-Co) y ofrecen una resistencia a altas temperaturas y una capacidad de corte mejoradas gracias a la optimización de la composición química y el proceso de fabricación.

1. Propiedades del material

Resistencia a altas temperaturas

Puede mantener la dureza (HV > 1200) a altas temperaturas de 600-1000 °C, lo que lo hace adecuado para procesar piezas de alta temperatura, como álabes y carcasas de motores de aeronaves.

Alta dureza

La dureza a temperatura ambiente suele ser HV 1800-2500 y tiene una fuerte resistencia al desgaste.

Tenacidad a la fractura

12-18 MPa·m ^{1} / ^{2}, lo que garantiza que el filo no se astille fácilmente durante el corte con carga alta.

composición química

YT) y tungsteno-titanio-tantalio (YW). En ocasiones, se añaden tierras raras o recubrimientos especiales (como PVD TiAlN o CVD Al_2O_3) para mejorar el rendimiento.

2. Descripción específica del desempeño de las calificaciones típicas

Marca	composición química	actuación	Características	Velocidad de corte recomendada (m/min)
YG6	WC 94%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1900-2100 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1300 HV Tenacidad a la fractura: 14-16 MPa·m ^{1} / ^{2} Densidad: 14,9 g/cm ^{3} Tasa de desgaste: <0,03 mm ^{3} /N · m	Alta tenacidad, excelente resistencia al impacto, adecuado para corte en seco o a baja velocidad, resistencia moderada al calor.	200 -800
YT15A	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1700-1900 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1200 HV Tenacidad a la fractura: 12-14 MPa·m ^{1} / ^{2} Densidad: 11,5 g/cm ^{3} Tasa de desgaste: <0,035 mm ^{3} /N · m	Fuerte resistencia a altas temperaturas y oxidación, adecuado para corte a alta velocidad de acero y aleaciones de alta temperatura, buena resistencia a la adhesión y al desgaste.	500 -1500

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	composición química	actuación	Características	Velocidad de corte recomendada (m/min)
YW1A	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1800-2000 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1250 HV Tenacidad a la fractura: 13-15 MPa·m ¹ / ² Densidad: 12,8 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,032 mm ³ /N · m	Excelente resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión, adecuado para procesamiento de superficies complejas y corte intermitente, fuerte resistencia al desgaste por cráter.	300-1200

3. Tipos de productos específicos

producto	tipo	solicitud	Características
herramienta de torneado	Herramienta de torneado exterior, herramienta de torneado interior	Procesamiento de piezas de ejes de motores de aeronaves, YG6A es adecuado para torneado de desbaste, YT15A es adecuado para torneado de precisión.	La hoja está reforzada y la profundidad de corte puede alcanzar los 2-4 mm.
Fresa	Fresa de extremo, fresa de extremo esférico	Para el procesamiento de álabes de turbinas y superficies de carcasa complejas, el YW1A es adecuado para el fresado de aleaciones de titanio.	Diseño de múltiples filos, velocidad de corte de hasta 1000 m/min.
perforar	Broca helicoidal, broca para agujeros profundos	Perforación de piezas estructurales de aviación, YG6A es adecuado para la perforación de hierro fundido, YT15A es adecuado para la perforación de acero	Recubrimiento resistente a altas temperaturas, relación de profundidad de perforación de hasta 10:1
Herramienta de mandrilado	Herramienta de mandrilado basto, herramienta de mandrilado fino	Acabado de orificios de cilindros de motores de aeronaves, YW1A proporciona alta precisión y durabilidad	Portaherramientas ajustable con tolerancia de ±0,01 mm

4. Áreas de aplicación

piezas de motores de aeronaves (como álabes de turbinas, cámaras de combustión), acabado de piezas estructurales de aeronaves (como marcos de fuselaje, trenes de aterrizaje),
Producción y procesamiento que requieren alta precisión y alta eficiencia.

5. Requisitos de desempeño

Vida útil de corte: A una velocidad de corte de 200-1500 m/min, la vida útil puede alcanzar más de 30 minutos.
Resistencia al desgaste: La tasa de desgaste suele ser inferior a 0,03 mm³/N·m (consulte GB/T 4078).
Estabilidad a alta temperatura: tasa de pérdida de masa <0,5 %/h a 1000 °C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6. Fabricación y pruebas

Proceso de fabricación: Se utiliza el proceso de metalurgia de polvos y se añaden elementos de tierras raras para optimizar la microestructura.
Tamaño de grano: 0,5-1,5 μm .
Porosidad: <0,3%.
Método de prueba:
Prueba de dureza: GB/T 16599.
Prueba de resistencia a la abrasión: GB/T 4078.
Evaluación del rendimiento a alta temperatura: consulte GB/T 3475 para garantizar que se cumplan los estrictos estándares de aviación.

7. Notas

Se requiere fluido de corte (como refrigerante a base de aceite o agua) durante el corte para reducir el impacto de la alta temperatura.
El diseño de la herramienta debe tener en cuenta la resistencia al desgaste adhesivo y al desgaste por cráter, especialmente en el fresado por interferencia.
Los parámetros de mecanizado deben optimizarse según el material de la pieza de trabajo y la marca de la herramienta para evitar fallas de la herramienta debido a sobrecarga.

Las herramientas de aviación de carburo resistentes a altas temperaturas son fundamentales en la industria aeronáutica, y su rendimiento influye directamente en la calidad y la eficiencia del procesamiento. Con el desarrollo de la tecnología aeronáutica, los materiales de las herramientas y las tecnologías de recubrimiento (como los recubrimientos cerámicos y nanorrecubrimientos) se siguen mejorando para satisfacer las mayores exigencias del procesamiento.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita herramientas de aviación de carburo cementado resistentes a altas temperaturas, ¡estamos encantados de brindarle servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad!
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

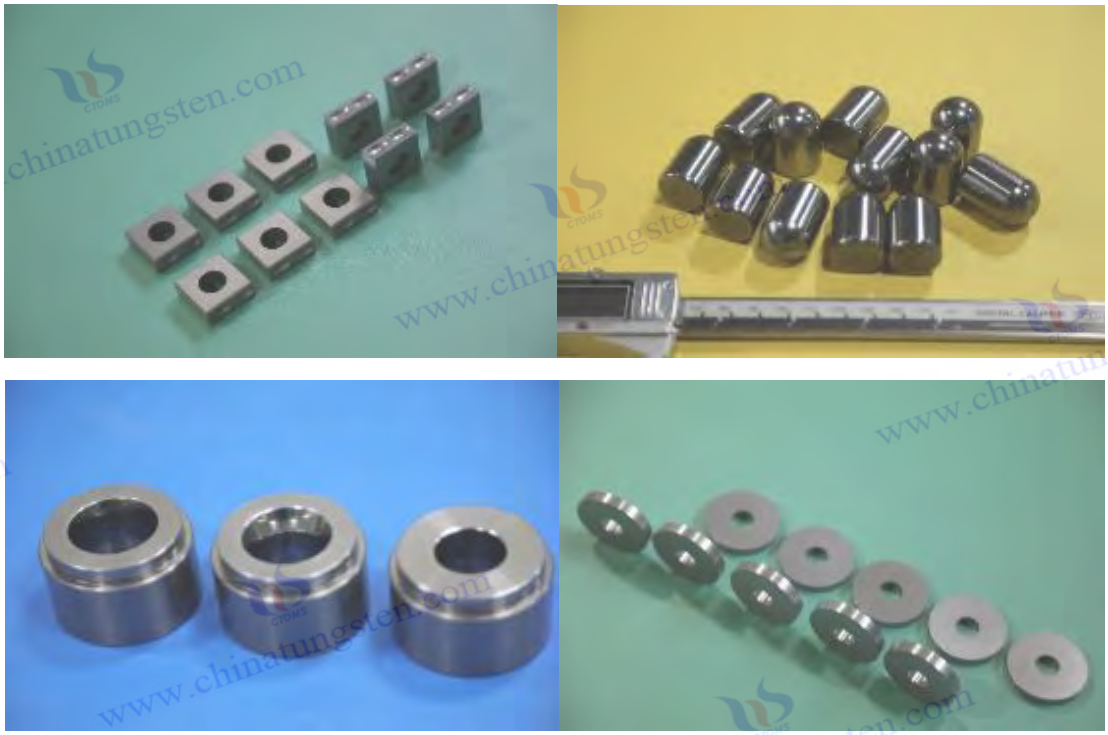
1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Breve introducción de los álabes de turbinas de gas de carburo cementado

Los álabes de turbina de gas de carburo cementado son componentes clave de alto rendimiento, diseñados específicamente para turbinas de gas, y se utilizan ampliamente en motores aeroespaciales, turbinas de gas industriales y generación de energía. Estos álabes están basados en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co como fase aglutinante) y se adaptan a condiciones de trabajo extremas en entornos de alta temperatura, alta presión, rotación a alta velocidad y flujo de aire complejo mediante avanzados procesos de fabricación y tecnologías de tratamiento de superficies. Los álabes de turbina de gas no solo son componentes esenciales para la conversión de energía, sino que su rendimiento determina directamente la eficiencia, la fiabilidad y la vida útil del equipo. Con el rápido desarrollo de las industrias aeroespacial y energética, se imponen mayores requisitos en cuanto a la resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la fatiga y la precisión de procesamiento de los materiales de los álabes. El carburo cementado se ha convertido en la opción preferida en este campo gracias a su excelente rendimiento integral.

1. Propiedades del material

Las propiedades materiales de los álabes de turbinas de gas de carburo cementado son la clave de su capacidad para soportar entornos extremos:

composición química

Principalmente tungsteno-cobalto (YG), tungsteno-titanio-cobalto (YT) y tungsteno-titanio-tantalio (YW). El YG se centra en la tenacidad, el YT mejora la resistencia al calor y a la oxidación, y el YW mejora la resistencia a altas temperaturas mediante la adición de TaC . Además, algunas palas utilizan tierras raras (como cerio y lantano) para refinar los granos, o utilizan recubrimientos PVD/CVD (como TiAlN y Al_2O_3) para mejorar aún más el rendimiento de la superficie.

Resistencia a altas temperaturas

Las palas deben operar durante largos periodos a altas temperaturas de 600 a 1000 °C, y algunos diseños de vanguardia incluso requieren tolerancias superiores a 1200 °C. Para ello, el carburo cementado puede mantener la dureza (HV > 1200) a altas temperaturas optimizando la relación de la fase aglutinante y añadiendo elementos termorresistentes (como el tántalo Ta y el niobio Nb), lo que lo hace especialmente adecuado para la zona de flujo de aire de alta temperatura en la sección trasera de la cámara de combustión de la turbina de gas.

Alta dureza

La dureza a temperatura ambiente generalmente alcanza HV 1800-2500, lo que garantiza que la integridad de la superficie se mantenga bajo la erosión del flujo de aire a alta velocidad y la erosión de partículas.

Tenacidad a la fractura

El rango es de 12-18 MPa·m¹ / ². Al controlar el tamaño del grano y la distribución de fases, se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mejora la resistencia a las grietas de la cuchilla bajo altas fuerzas centrífugas (hasta miles de g) y cargas de vibración.

2. Descripción específica del desempeño de las calificaciones típicas

Marca	composición química	actuación	Características	Velocidad de corte recomendada (m/min)
YG6	WC 94%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1900-2100 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1300 HV Tenacidad a la fractura: 14-16 MPa·m ¹ / ² Densidad: 14,9 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,03 mm ³ /N · m	Alta tenacidad, excelente resistencia al impacto, adecuado para corte a baja velocidad, resistencia moderada al calor, adecuado para palas de compresores iniciales.	200-800
YT15A	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1700-1900 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1200 HV Tenacidad a la fractura: 12-14 MPa·m ¹ / ² Densidad: 11,5 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,035 mm ³ /N · m	Fuerte resistencia a altas temperaturas y oxidación, adecuado para corte a alta velocidad de acero y aleaciones de alta temperatura, buena resistencia a la adhesión y al desgaste, adecuado para álabes de turbinas de presión media.	500-1500
YW1A	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	a temperatura ambiente : HV 1800-2000 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1250 HV Tenacidad a la fractura: 13-15 MPa·m ¹ / ² Densidad: 12,8 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,032 mm ³ /N · m	Excelente resistencia a altas temperaturas y corrosión, adecuado para procesamiento de superficies complejas y corte intermitente, fuerte resistencia al desgaste por cráter, adecuado para álabes de turbinas de alta presión.	300-1200

3. Tipos de productos específicos

producto tipo	tipo	solicitud	Características
Álabes de turbina	Cuchillas de alta presión, cuchillas de baja presión	Se utilizan palas de alta presión para extraer energía de gas a alta temperatura y presión (temperatura de 1000 a 1200 °C), y palas de baja presión para la posterior conversión de energía (temperatura de 600 a 800 °C). El YW1A es adecuado para zonas de alta temperatura.	Fundición de monocristal, canal de refrigeración interno, resistencia a temperaturas superiores a 1200 °C, diseño resistente a la fatiga térmica.
Paletas guía	Cuchillas fijas, cuchillas ajustables	Dirige el flujo de aire hacia las aspas giratorias para optimizar su eficiencia. El YT15A es adecuado para condiciones de trabajo resistentes al desgaste.	Recubrimiento de barrera térmica (TBC), fuerte rendimiento antioxidante, ángulo ajustable para optimizar la eficiencia
Álabes del compresor	Cuchillas delanteras,	El aire comprimido aumenta la presión. Las palas delanteras manejan aire a baja presión (300-500 °C) y las traseras, aire a	Diseño de alta tenacidad, excelente resistencia a la fatiga, pulido de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

producto tipo	tipo	solicitud	Características
	cuchillas traseras	alta presión (500-700 °C). El YG6A es adecuado para la etapa inicial de compresión.	superficie para reducir la resistencia al flujo de aire.

4. Áreas de aplicación

Motores de aeronaves

Los álabes de turbinas y los componentes de la cámara de combustión deben soportar temperaturas superiores a 1000 °C y velocidades ultra altas (>10 000 rpm), lo que requiere que los materiales tengan una estabilidad térmica extremadamente alta y resistencia a la fluencia.

Turbinas de gas industriales

Se utiliza para la generación de energía y la propulsión de barcos, con una temperatura de funcionamiento de 600 a 900 °C, destacando la confiabilidad y la economía a largo plazo.

Entorno de alta temperatura y alta presión.

Por ejemplo, los sistemas de propulsión petroquímica y aeroespacial necesitan lidiar con gases corrosivos y erosión de partículas.

5. Requisitos de desempeño

Resistencia a altas temperaturas: La resistencia a la tracción es >800 MPa a 1000 °C, lo que garantiza que las hojas no sufran deformaciones plásticas a altas temperaturas.

Resistencia al desgaste: la tasa de desgaste es inferior a 0,03 $mm^3/N·m$ (consulte GB/T 4078), resistente al flujo de aire a alta temperatura y al desgaste de partículas.

Resistencia a la fluencia: Vida útil a la fluencia >1000 horas a 900°C y 200 MPa de carga, evitando la deformación a largo plazo.

^{6} ciclos de vibración de alta frecuencia (10-100 Hz) y fuerza centrífuga, adecuados para ciclos de arranque-parada de turbinas de gas.

Rendimiento frente a fatiga térmica: soporta ciclos térmicos de 500 a 1000 °C 1000 veces sin grietas evidentes.

6. Proceso de fabricación

Fundición de precisión

El método de cera perdida o tecnología de solidificación direccional se utiliza para garantizar el crecimiento direccional de los granos y reducir las debilidades de los límites de los granos.

Tecnología de monocristal

Al controlar la dirección de solidificación para producir hojas de un solo cristal, se puede mejorar significativamente la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la fluencia.

Canales de refrigeración internos

Utilizando el moldeo de núcleo de cerámica, el diámetro del canal es de 0,5 a 2 mm, lo que optimiza la eficiencia de enfriamiento y reduce la temperatura de la superficie de la cuchilla en 200-300 °C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Recubrimientos de barrera térmica (TBC)
Se utiliza pulverización de plasma o deposición física de vapor por haz de electrones (EB-PVD), con un espesor de 100-300 μm y una conductividad térmica de <1 W/ m·K .

7. Estrategia de optimización del rendimiento
Diseño de aleación: Aumente el contenido de TaC / NbC para mejorar la estabilidad de la fase a alta temperatura; agregue elementos de tierras raras para refinar los granos y mejorar la tenacidad.
Tecnología de recubrimiento: utilice un recubrimiento multicapa (como una capa de unión de metal + una capa superior de cerámica) para mejorar los efectos de barrera térmica y antioxidante.
Diseño de enfriamiento: optimice el diseño del canal interno y combínelo con enfriamiento de película externa para reducir la temperatura de funcionamiento de la cuchilla.
Tecnología de procesamiento: Utilice máquinas herramienta CNC de cinco ejes y procesamiento asistido por láser para garantizar la precisión de formas geométricas complejas.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita álabes de carburo cementado para turbinas de gas, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:
Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Breve introducción de componentes de energía nuclear de carburo cementado resistentes a altas temperaturas

Los componentes de carburo cementado resistentes a altas temperaturas para centrales nucleares son materiales estructurales de alto rendimiento diseñados para centrales nucleares y se utilizan ampliamente en áreas clave como reactores nucleares, recipientes a presión, conjuntos combustibles y sistemas de refrigeración. Estos componentes se basan en carburo cementado (compuesto principalmente por fases aglutinantes de carburo de tungsteno (WC) y cobalto-Co), combinado con un diseño de aleación avanzado y tecnología de tratamiento de superficies para soportar altas temperaturas (500-950 °C), alta radiación y entornos de corrosión intensa en la operación de centrales nucleares. El carburo cementado se ha convertido en un material clave en la industria nuclear gracias a su excelente resistencia al calor, al desgaste y a la radiación.

1. Propiedades del material

Resistencia a altas temperaturas

El carburo cementado puede mantener la estabilidad estructural a altas temperaturas de 600 a 1000 °C, y algunas fórmulas optimizadas pueden soportar temperaturas superiores a 1200 °C, lo que lo hace adecuado para el área central de los reactores nucleares.

Alta dureza

La dureza a temperatura ambiente suele ser HV 1800-2500, con una fuerte resistencia al desgaste y la erosión, y resistencia al flujo de aire a alta temperatura y a la erosión de partículas.

Resistencia a la radiación

Al agregar elementos estabilizadores (como niobio Nb y tantalio Ta), se pueden reducir los defectos reticulares inducidos por radiación y se puede extender la vida útil de los componentes.

composición química

Compuesto principalmente de tungsteno-cobalto (YG), tungsteno-titanio-cobalto (YT) y tungsteno-titanio-tantalio (YW), algunas fórmulas agregan elementos de aleación a base de níquel o cromo para mejorar la resistencia a la corrosión.

2. Descripción específica del desempeño de las calificaciones típicas

Marca	composición química	actuación	Características	Temperatura de funcionamiento recomendada (°C)
YG6	WC 94%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1900-2100 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1300 HV Tenacidad a la fractura: 14-16 MPa·m ¹ / ² Densidad: 14,9 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,03 mm ³ /N · m	Alta tenacidad, excelente resistencia al impacto, adecuado para entornos de temperatura media y baja, resistencia al calor moderada.	200-800
YT15A	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1700-1900 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1200 HV	Fuerte resistencia a altas temperaturas y oxidación, adecuado	500-1000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	composición química	actuación	Características	Temperatura de funcionamiento recomendada (°C)
		Tenacidad a la fractura: 12-14 MPa·m ¹ / ² Densidad: 11,5 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,035 mm ³ /N · m	para el procesamiento de aleaciones a alta temperatura.	
YW1A	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1800-2000 Dureza a alta temperatura (800 °C): ~1250 HV Tenacidad a la fractura: 13-15 MPa·m ¹ / ² Densidad: 12,8 g/cm ³ Tasa de desgaste: <0,032 mm ³ /N · m	Excelente resistencia a altas temperaturas y corrosión, fuerte resistencia a la radiación.	300-950

3. Tipos de productos específicos

Tipo de producto	tipo	solicitud	Características
Recipiente a presión del reactor	Concha, cabeza	Resiste alta temperatura y alta presión, se adapta al núcleo del reactor nuclear, YW1A es adecuado para áreas de alta temperatura.	Diseño de pared gruesa, resistencia a la fluencia, resistencia a temperaturas de hasta 950 °C.
Conjuntos de combustible	Carcasa de la barra de combustible, tapa del extremo	Al encapsular el combustible nuclear, el YT15A proporciona protección contra la corrosión	Mecanizado de precisión, deformación antirradiación.
Componentes del sistema de refrigeración	Tuberías, intercambiadores de calor	El refrigerante de transmisión YG6A es adecuado para la sección de baja presión.	Recubrimiento anticorrosión, resistente a temperaturas de 600-800 °C.
Válvulas y sujetadores	Válvula reguladora, pernos	Fluido de control y estructura fija, YW1A mejora la durabilidad	Alta resistencia, resistencia a la fatiga, resistencia a temperaturas superiores a 700 °C.

4. Áreas de aplicación

Núcleo del reactor nuclear: como recipientes a presión y conjuntos combustibles, que necesitan soportar altas temperaturas de 500-950°C y dosis de radiación (>10^8 Gy).

Sistemas de refrigeración: Tuberías e intercambiadores de calor que manejan refrigerantes de alta temperatura, como sales fundidas o metales líquidos.

Sistemas de seguridad: Válvulas y sujetadores para garantizar la seguridad y estabilidad de las operaciones de las centrales nucleares.

5. Requisitos de desempeño

Resistencia a altas temperaturas: resistencia a la tracción >800 MPa a 900 °C, resiste la fluencia térmica.

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste <0,03 mm^3 / N · m, resiste la erosión de partículas a alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Estabilidad a la radiación: La expansión de la red es <0,5 % con una radiación de 10^{8} Gy, lo que evita la fragilización del material.
Resistencia a la corrosión: En ambientes ácidos o que contienen cloro, la tasa de corrosión es <0,01 mm/año.
^{6} ciclos bajo vibración de alta temperatura.

6. Proceso de fabricación

Metalurgia de polvos: El prensado isostático en caliente (HIP) garantiza una microestructura uniforme con un tamaño de grano de 0,5-2 μm .
Fundición de precisión: utilice el método de cera perdida para producir geometrías complejas como canales de refrigeración.
Recubrimiento de superficie: Utilizando tecnología PVD/CVD (como TiN , CrN), espesor 5-20 μm , para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión.

7. Estrategia de optimización del rendimiento

Diseño de aleación: Aumente el contenido de TaC / NbC para mejorar la estabilidad de la fase a alta temperatura; agregue elementos a base de níquel (como Inconel 625) para mejorar la resistencia a la corrosión.
Tratamiento térmico: utilice una solución sólida + tratamiento de envejecimiento para optimizar la resistencia del límite del grano.
Tecnología de recubrimiento: El recubrimiento de barrera térmica multicapa (como YSZ) reduce la temperatura de la superficie entre 200 y 300 °C.
Tecnología de procesamiento: utilice procesamiento asistido por láser para garantizar la precisión de piezas complejas.

8. Notas

Protección radiológica: Compruebe periódicamente si hay daños en la red para evitar la fragilización del material.
Mantenimiento de refrigeración: asegúrese de que el refrigerante circule suavemente para evitar el sobrecalentamiento local.
Optimización del procesamiento: Controlar la velocidad de corte (200-1000 m/min) y utilizar refrigerante para reducir el estrés térmico.
Normas de seguridad: Cumplir con el Código de calderas y recipientes a presión ASME para garantizar la confiabilidad de los componentes.
Los componentes de carburo cementado resistentes a altas temperaturas para la energía nuclear son clave para la seguridad y la eficiencia de la energía nuclear, y su rendimiento afecta directamente la vida útil del reactor y su estabilidad operativa. Con el avance de la tecnología nuclear, especialmente en los reactores de cuarta generación (como los reactores refrigerados por gas de alta temperatura) y la investigación en fusión nuclear, se acelera la optimización del carburo cementado y el desarrollo de nuevas aleaciones (como la aleación 617). Las tecnologías relacionadas continúan desarrollándose a nivel nacional (como la Corporación Nuclear Nacional de China) e internacional (como el Laboratorio del Departamento de Energía de EE. UU.), especialmente en el campo de los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

reactores nucleares de alta temperatura. Existe un gran potencial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Introducción a las válvulas químicas de carburo resistentes a la corrosión

Las válvulas químicas de carburo resistentes a la corrosión son componentes resistentes a la corrosión y al desgaste, diseñados específicamente para la industria química. Se utilizan ampliamente en sistemas de tuberías que manejan ácidos y álcalis fuertes, medios a alta temperatura y gases corrosivos. Estas válvulas están basadas en carburo (compuesto principalmente por fases de enlace de carburo de tungsteno WC y cobalto Co) y están diseñadas para soportar entornos de corrosión y desgaste extremos en procesos químicos mediante la optimización de la composición de la aleación y la tecnología de tratamiento de superficies. El carburo se ha convertido en el material predilecto en la fabricación de válvulas químicas debido a su excelente resistencia a la corrosión, al desgaste y a la resistencia mecánica.

1. Propiedades del material

Resistencia a la corrosión

Al agregar elementos resistentes a la corrosión (como cromo Cr, níquel Ni) y recubrimientos (como TiN , CrN), el carburo cementado mantiene la estabilidad en ácidos fuertes (H_2SO_4 , HCl) , álcali fuerte (NaOH) y ambientes de cloruro, y la tasa de corrosión suele ser inferior a 0,01 mm/año.

Alta dureza

La dureza a temperatura ambiente es HV 1800-2400, lo que puede resistir el desgaste y la erosión de las partículas.

Tenacidad a la fractura

10-15 MPa·m $^{1/2}$, lo que garantiza que no se agriete fácilmente bajo un impacto de alta presión.

composición química

Principalmente tungsteno-cobalto (YG), tungsteno-titanio-cobalto (YT) y tungsteno-titanio-tantalio (YW), algunas fórmulas agregan aleaciones a base de níquel o molibdeno Mo para mejorar la resistencia a la corrosión.

2. Descripción específica del desempeño de las calificaciones típicas

Marca	composición química	actuación	Características	temperatura (°C)	Medios recomendados
YG6	WC 94%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1900-2100 Tenacidad a la fractura: 14-16 MPa·m $^{1/2}$ Densidad: 14,9 g/cm ^{3} Tasa de corrosión: <0,01 mm/año	Alta tenacidad, excelente resistencia al impacto, resistente a entornos ácidos débiles.	-20 - 600	Ácido sulfúrico diluido, agua dulce
YT15A	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	Dureza a temperatura ambiente: HV 1700-1900 Tenacidad a la fractura: 12-14 MPa·m $^{1/2}$ Densidad: 11,5 g/cm ^{3} Tasa de corrosión: <0,008 mm/año	Resistencia a altas temperaturas, fuerte resistencia a la oxidación y fuerte resistencia a la corrosión ácida.	0 - 800	Ácido clorhídrico concentrado, ácido nítrico
YW1A	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co	Dureza a temperatura ambiente: HV 1800-2000 Tenacidad a la fractura: 13-	Resistencia a altas temperaturas, fuerte resistencia a la corrosión y	-10 - 950	Cloruro, solución alcalina fuerte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	composición química	actuación	Características	temperatura (°C)	Medios recomendados
	10%	15 MPa·m ¹ / ² Densidad: 12,8 g/cm ³ Tasa de corrosión: <0,005 mm/año	resistencia a la erosión por cloruro.		

3. Tipos de productos específicos

Tipo de producto	tipo	solicitud	Características
Válvula de bola	Válvula de bola flotante, válvula de bola montada sobre muñón	El YW1A es adecuado para entornos altamente corrosivos y controla fluidos con ácidos y álcalis fuertes.	Sellado fuerte, resistencia a la presión 10-50 MPa
Válvula de mariposa	Válvula de mariposa tipo wafer, válvula de mariposa excéntrica	Regulando gases corrosivos, YT15A proporciona protección contra el desgaste	Diseño ligero, resistencia a temperaturas de 800 °C.
puerta	válvula de compuerta plana, válvula de compuerta de cuchilla	Corte la suspensión química de alta concentración, YG6A es adecuado para condiciones de baja corrosión	Alta resistencia al desgaste, resistencia a la erosión, resistencia a la presión 20 MPa.
Controlador de el volumen	válvula de retención de elevación, válvula de retención oscilante	Al evitar el reflujo de medios corrosivos, YW1A mejora la durabilidad	Recubrimiento anticorrosión, resistencia a temperaturas superiores a 700 °C.

4. Áreas de aplicación

Los reactores químicos, como los de producción de ácido sulfúrico y la industria cloroalcalina, deben soportar la corrosión del H_2SO_4 y el Cl_2 .

Petroquímica: Los sistemas de tuberías manejan alcanos, aromáticos y compuestos de azufre.

Productos farmacéuticos y protección del medio ambiente: Tratamiento de aguas residuales ácidas y catalizadores alcalinos, enfatizando la seguridad y durabilidad.

5. Requisitos de desempeño

Resistencia a la corrosión: En solución de HCl al 10% a 80°C, la tasa de corrosión es <0,01 mm/año.

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste <0,03 mm^3 / N · m (consulte GB/T 4078), resistente a la erosión de partículas.

Resistencia a altas temperaturas: resistencia a la tracción >700 MPa a 800 °C, evita la fluencia térmica.

Rendimiento de sellado: tasa de fugas <0,01% (según norma API 598).

^{5} ciclos bajo presión cíclica (0-20 MPa).

6. Proceso de fabricación

Metalurgia de polvos: para garantizar la densidad se utiliza prensado isostático en caliente (HIP), con un tamaño de grano de 0,5-2 μm .

Mecanizado de precisión: mediante torneado CNC y EDM, la tolerancia se controla dentro de ±0,02

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

mm.
Tratamiento de superficie: recubrimiento PVD/CVD (como CrN , TiAlN), espesor 5-15 μm .

Las válvulas químicas de carburo resistentes a la corrosión son equipos clave en la producción química, y su rendimiento afecta directamente la estabilidad y la seguridad del proceso. A medida que la industria química evoluciona hacia una alta corrosión y altas temperaturas, se acelera la optimización del carburo (como los nanorrecubrimientos y los materiales compuestos).

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita válvulas químicas de carburo cementado resistentes a la corrosión , le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:
Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Herramientas de perforación offshore de carburo resistentes a la corrosión

Las herramientas de perforación marina de carburo cementado resistentes a la corrosión son herramientas de alto rendimiento diseñadas para la extracción de petróleo y gas en aguas profundas, la exploración geológica marina y la ingeniería de lechos marinos, y se utilizan ampliamente en operaciones de perforación en entornos extremos. Estas herramientas de perforación se basan en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Mediante la formulación de aleación de precisión, la tecnología de refuerzo de superficies y los procesos de fabricación avanzados, mejoran significativamente su capacidad para resistir la corrosión del agua de mar, la resistencia al desgaste a alta presión, la adhesión antibiológica y la resistencia mecánica. La perforación marina implica profundidades de agua que van desde cientos de metros hasta miles de metros, acompañadas de alta presión (hasta 50 MPa), agua de mar de alta salinidad (que contiene 3,5% de NaCl), socavación de grava, sulfuro de hidrógeno (H_2S) y desafíos de baja temperatura. Los materiales tradicionales como el acero inoxidable o el acero al carbono son difíciles de manejar, por lo que el carburo cementado resistente a la corrosión se ha convertido en el material clave en este campo. En los últimos años, con la aceleración del desarrollo de los recursos de aguas profundas y el aumento de las necesidades de protección del medio ambiente, la investigación, el desarrollo y la aplicación de carburo cementado resistente a la corrosión están abriendo nuevas oportunidades de desarrollo.

1. Características técnicas

Resistencia a la corrosión

Mediante la adición de elementos resistentes a la corrosión como el cromo (Cr) y el molibdeno (Mo), y la aplicación de recubrimientos de TiN , CrN o TiAlN , el carburo cementado resistente a la corrosión presenta una excelente resistencia a la corrosión en entornos de agua de mar de alta salinidad, cloruros y sulfuros, con una tasa de corrosión de tan solo 0,01-0,02 mm/año, significativamente mejor que la del acero inoxidable convencional (superior a 0,1 mm/año). Su resistencia a la corrosión por H_2S es particularmente excepcional y resulta adecuado para yacimientos de petróleo y gas en aguas profundas que contienen sulfuro de hidrógeno.

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1800-2500, que puede resistir eficazmente el desgaste y la erosión de partículas de grava del lecho marino y formaciones rocosas, y la tasa de desgaste se controla por debajo de 0,03 $mm^3 / N \cdot m$, lo que extiende la vida útil de las herramientas de perforación.

Resistencia mecánica

La tenacidad a la fractura alcanza los 12-16 $MPa \cdot m^{1/2}$, lo que garantiza la integridad estructural en condiciones de alta presión (20-50 MPa) y alta fuerza centrífuga (miles de g) en aguas profundas y vibración, y la resistencia a la tracción supera los 700 MPa a 800 °C, lo que evita la fluencia térmica y las fallas por fatiga.

Anti-bioincrustaciones

El tratamiento de la superficie (como el pulido a Ra < 0,2 μm) combinado con un revestimiento antibacteriano (como TiAlN o revestimiento dopado con Ag) puede inhibir eficazmente la adhesión de organismos marinos (como percebes y algas), reducir la frecuencia de mantenimiento y mejorar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la eficiencia de la perforación.

Rendimiento a baja temperatura

En el entorno de baja temperatura de aguas profundas de -10 °C a 4 °C, mantiene una buena tenacidad y resistencia a la fractura frágil y es adecuado para perforar en aguas polares.

2. Materiales y calidades

El carburo cementado resistente a la corrosión ha desarrollado diversos grados según las diversas necesidades de la perforación offshore. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1900-2100, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m $^{1/2}$, adecuado para perforación en aguas poco profundas (0-500 m), resistente a medios débilmente corrosivos como agua dulce y agua salada de baja concentración (<1% NaCl), tasa de corrosión <0,02 mm/año.

YT15A

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1700-1900, resistencia a altas temperaturas hasta 800°C, adecuado para perforación en aguas medias-profundas (500-2000 m), resistente a la corrosión media a fuerte como el agua de mar salada (3,5% NaCl), tasa de corrosión <0,015 mm/año.

YW1A

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1800-2000, fuerte resistencia a la corrosión en aguas profundas (2000-5000 m), excelente resistencia a cloruros, sulfuro de hidrógeno y adhesión biológica, tasa de corrosión <0,01 mm/año, resistencia a temperaturas de hasta 950°C.

3. Aplicación

Las herramientas de perforación offshore de carburo cementado resistentes a la corrosión desempeñan un papel fundamental en diversos campos de la ingeniería offshore. Sus escenarios de aplicación varían según las condiciones ambientales y los requisitos operativos. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Extracción de petróleo y gas en aguas profundas

Aplicable a plataformas de perforación en aguas ultraprofundas con una profundidad de 2000 a 5000 m, como las del Golfo de México, los yacimientos petrolíferos del Mar del Norte y el Mar de China Meridional, que requieren perforar el lecho marino para extraer petróleo crudo y gas natural. En entornos de alta presión (20-50 MPa), agua de mar de alta salinidad y sulfuro de hidrógeno (H_2S_2), las herramientas de perforación deben tener una alta resistencia a la corrosión, al desgaste y a la fatiga, y soportar las bajas temperaturas de las profundidades marinas (0-4 °C).

Productos típicos: Brocas de PDC (brocas de diamante policristalino) y brocas de corte de rodillos, de la marca YW1A, con una resistencia a la presión de 50 MPa, aptas para la perforación en formaciones de roca dura y yacimientos de petróleo y gas con contenido de azufre. Sus principales ventajas son: alta resistencia al desgaste para prolongar la vida útil de la broca, resistencia a la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

corrosión por H_2S para reducir los riesgos de seguridad y diseño de refrigeración interna para reducir el impacto de las altas temperaturas.

Exploración geológica marina

Se utiliza para perforar sedimentos del fondo marino, núcleos de roca y recursos geotérmicos, como estudios geológicos bajo la capa de hielo de la Antártida y exploración de respiraderos hidrotermales en el fondo del Océano Pacífico.

Debe hacer frente a la alternancia de sedimentos blandos y formaciones de roca dura, resistir la bioincrustación para mantener la eficiencia de la perforación y soportar bajas temperaturas de hasta -10 °C.

Productos típicos: Estabilizadores de sartas de perforación y brocas de perforación, utilizando grado YT15A, resistente a temperaturas de hasta 800°C y resistente a la formación de biopelículas.

Ventajas: La alta tenacidad garantiza la estabilidad de las herramientas de perforación en formaciones complejas y el revestimiento antibacteriano en la superficie reduce la frecuencia de mantenimiento, lo que lo hace adecuado para entornos polares.

Ingeniería submarina

Se aplica al tendido de tuberías submarinas, la construcción de infraestructura de plataformas y la instalación de cables submarinos, como en el desarrollo de yacimientos de petróleo y gas en aguas profundas del Mar de China Meridional. La inmersión prolongada en agua de mar (profundidad de 500 a 3000 m) requiere resistencia a la corrosión marina, la carga de fatiga y la adhesión biológica.

Productos típicos: conectores (bridas, pernos) y componentes de válvulas, utilizando grados YG6A y YW1A, con una resistencia a la presión de 40 MPa.

Ventajas: Los conectores de alta resistencia garantizan la estabilidad estructural, los recubrimientos anticorrosión prolongan la vida útil y la durabilidad es adecuada para operaciones submarinas a largo plazo.

Aplicaciones especiales

Minería en aguas profundas

Por ejemplo, la extracción de nódulos y sulfuros polimetálicos requiere perforar depósitos en el lecho marino y enfrentar la corrosión causada por altas concentraciones de iones metálicos.

Monitoreo ambiental

Instalar herramientas de perforación para recopilar datos del fondo marino (como temperatura y presión), haciendo hincapié en la durabilidad y la precisión de los datos.

4. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de herramientas de perforación offshore de carburo cementado resistentes a la corrosión combina tecnología avanzada de materiales y procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos extremos. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos

Se seleccionan polvos de carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) de alta pureza , y se añaden elementos resistentes a la corrosión (como Cr y Mo) y endurecedores (como TiC y TaC). La mezcla se tritura en un molino de bolas durante 24-48 horas para asegurar una distribución uniforme, con un tamaño de partícula controlado entre 0,5 y 2 μm , con un contenido de impurezas inferior al 0,1 %.

Optimización aditiva

Se agrega una pequeña cantidad de elementos de tierras raras (como Ce y La) para refinar los granos, mejorar la resistencia a la corrosión y la tenacidad; se agregan partículas de carburo a escala nanométrica para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado

El polvo se prensa en piezas en bruto utilizando tecnología de prensado isostático en frío (CIP) a una presión de 200-300 MPa, con una densidad de moldeo del 60-70% de la densidad teórica.

Prensado isostático en caliente (HIP)

El tratamiento térmico a 1300-1500 °C y 100-200 MPa elimina aún más los poros, aumenta la densidad a más del 98 % y mejora la resistencia a la compresión.

Moldeo de estructuras complejas

Para brocas y componentes de válvulas se utiliza el moldeo por inyección o la impresión 3D (fusión selectiva por láser SLM) para producir canales de refrigeración internos o geometrías complejas con una precisión de ± 0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío

La sinterización a 1400-1600 °C durante 1-2 horas en un horno de vacío promueve la unión de las partículas de WC, elimina las impurezas de gas y previene la oxidación.

Sinterización en fase líquida

El Co se funde para formar una fase líquida, rellena los poros y mejora la resistencia del material y la resistencia a la corrosión. El tiempo de sinterización se controla con precisión para evitar un tamaño de grano excesivo.

Posprocesamiento

La limpieza con plasma se utiliza para eliminar la capa de óxido de la superficie y garantizar la adhesión de recubrimientos posteriores; algunos productos se someten a un recocido a baja temperatura para liberar la tensión residual.

Tratamiento de superficies

Deposición física de vapor (PVD)

Aplique un recubrimiento de TiN o CrN con un espesor de 5 a 20 μm para mejorar la resistencia a la corrosión del agua de mar y al desgaste, especialmente adecuado para entornos anti-H_2S de aguas profundas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Deposición química de vapor (CVD)

Usando un recubrimiento de TiAlN o Al_2O_3 , la resistencia a la temperatura alcanza los 1000 °C, lo que es adecuado para perforaciones de alta temperatura en aguas profundas o entornos hidrotermales.

Pulido

El pulido mecánico o electroquímico a Ra < 0,2 μm puede reducir la bioadherencia y la rugosidad de la superficie, y se pueden combinar recubrimientos antimicrobianos (como los dopados con Ag) para inhibir aún más el crecimiento de organismos marinos.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC

Se utiliza una máquina herramienta CNC de cinco ejes para procesar bordes de corte de brocas, superficies de sellado de válvulas y roscas de conectores con una precisión de ±0,02 mm.

Mecanizado por descarga eléctrica (EDM)

Se utiliza para cavidades internas complejas y microporos (como canales de enfriamiento) para reducir las zonas afectadas por el calor, con una rugosidad de superficie de hasta Ra 0,1 μm .

Procesamiento láser

Ayuda al acabado, mejora la calidad de la superficie y la precisión geométrica y es especialmente adecuado para la microestructura de herramientas de perforación en aguas ultraprofundas.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: según GB/T 16599, carga de 10 kg, precisión ±30 HV, garantiza que la dureza cumpla con el estándar y sea uniforme.

Prueba de corrosión: inmersión en una solución de NaCl al 3,5% a 80 °C durante 2000 horas para simular el entorno de agua de mar y evaluar la pérdida de masa y los cambios en la superficie.

Prueba de presión: Según la norma API 6A, aplicar 1,5 veces la presión de diseño (máximo 75 MPa) para detectar fugas, deformaciones e integridad estructural.

Prueba de fatiga: Simule ciclos de presión de 0 a 30 MPa, $>10^5$ ciclos, evalúe el crecimiento de grietas y la vida útil por fatiga.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia a la corrosión

En una solución de NaCl al 3,5% a 80 °C, la tasa de corrosión es <0,02 mm/año; cuando contiene 100 ppm de H_2S , la resistencia a la corrosión se mantiene por encima del 90 %.

Resistencia al desgaste

La tasa de desgaste es inferior a 0,03 $mm^3/N \cdot m$, lo que puede resistir la erosión de la grava del fondo marino y las formaciones rocosas.

Resistencia mecánica

Resistencia a la tracción >700 MPa a 800°C, resistente a la fluencia térmica; tenacidad a la fractura 12-16 $MPa \cdot m^{1/2}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Vida de fatiga

Con un ciclo de presión de 0 a 30 MPa, la vida útil es >10 ^{5} veces, adaptándose a las cargas de vibración de aguas profundas.

Caza de focas

Cumple con el estándar API 6A, tasa de fuga <0,01%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación

Aumente el contenido de Cr y Mo para mejorar la resistencia a las picaduras y la corrosión por cloruro; desarrolle aleaciones de alta entropía (como CoCrFeNiMo) para mejorar el rendimiento general.

Tecnología de recubrimiento

un recubrimiento multicapa (como Ni-Cr + TiN) para mejorar la resistencia a la erosión del agua de mar y a las altas temperaturas, y el espesor se puede personalizar a 5-20 μm .

Tratamiento térmico

El proceso de solución sólida + envejecimiento optimiza la resistencia a la corrosión del límite de grano y la resistencia mecánica y reduce la tensión residual.

Tratamiento de superficies

Pulido a Ra < 0,2 μm para reducir la adhesión biológica; introducción de un nanorrecubrimiento o recubrimiento antibacteriano (dopado con Ag) para mejorar la durabilidad.

Innovación de procesos

La impresión 3D (SLM) permite la personalización de estructuras complejas, y la IA optimiza los parámetros de sinterización y el espesor del recubrimiento, reduciendo el consumo de energía y mejorando la eficiencia.

Las herramientas de perforación marina de carburo cementado resistentes a la corrosión han mejorado significativamente la eficiencia, la seguridad y la vida útil de la perforación en aguas profundas gracias a procesos de fabricación avanzados y diseños de aplicación específicos. Con la profundización del desarrollo de los recursos marinos, especialmente el desarrollo hacia aguas ultraprofundas (>5000 m) y la ingeniería marina ecológica, la optimización del carburo cementado (como el nanorrecubrimiento, los materiales compuestos y la fabricación inteligente) seguirá impulsando su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita herramientas de perforación marina de carburo cementado resistentes a la corrosión, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Breve introducción de las piezas del reactor ácido de carburo cementado resistentes a la corrosión

Los componentes de carburo cementado para reactores ácidos resistentes a la corrosión son componentes de alto rendimiento y resistentes a la corrosión, diseñados para las industrias química, petroquímica y farmacéutica. Se utilizan ampliamente en sistemas de reactores que manejan ácidos fuertes (como ácido sulfúrico H_2SO_4 y ácido clorhídrico HCl), medios de alta temperatura y gases altamente corrosivos. Estos componentes están basados en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Mediante la optimización de la composición de la aleación, la tecnología de refuerzo de superficies y el proceso de fabricación de precisión, se mejoran significativamente la resistencia a la corrosión, la resistencia al desgaste y la resistencia mecánica a los ácidos fuertes. El entorno de los reactores ácidos implica altas temperaturas (500-1000 °C), altas presiones (10-30 MPa) y medios altamente corrosivos (como ácidos concentrados y compuestos clorados). Los materiales tradicionales, como el acero inoxidable o las aleaciones de titanio, dificultan su funcionamiento estable a largo plazo, por lo que el carburo cementado resistente a la corrosión se convierte en la opción ideal. Este artículo discutirá sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación en detalle para demostrar sus ventajas técnicas en ambientes ácidos.

1. Características técnicas

Resistencia a la corrosión

Al agregar elementos resistentes a los ácidos como cromo (Cr), molibdeno (Mo) y níquel (Ni), y aplicar recubrimientos de TiN , CrN o TiAlN , el carburo cementado resistente a la corrosión exhibe una excelente resistencia a la corrosión en ácido sulfúrico concentrado (98% H_2SO_4) , ácido clorhídrico (37% HCl) y entornos que contienen cloruro, con una tasa de corrosión tan baja como 0,005-0,01 mm/año, que es mucho mejor que el acero inoxidable (0,05-0,1 mm/año).

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1800-2400, que puede resistir el desgaste y la erosión de las partículas, y la tasa de desgaste se controla por debajo de 0,02 mm^3 / N · m, lo que es adecuado para medios ácidos de alta velocidad.

Resistencia mecánica

La tenacidad a la fractura alcanza los 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$, lo que garantiza la integridad estructural bajo alta presión y choque térmico, y la resistencia a la tracción supera los 600 MPa a 800 °C.

Estabilidad a altas temperaturas

Mantiene un rendimiento estable en un entorno ácido de alta temperatura de 500 a 1000 °C y tiene una fuerte resistencia a la fluencia térmica y la oxidación.

Resistencia química

En el caso de ácidos oxidantes fuertes (como el ácido nítrico HNO_3) y ácidos reductores (como el ácido fluorhídrico HF), las picaduras y la corrosión uniforme se pueden reducir mediante la optimización de la aleación y el diseño del revestimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

2. Materiales y calidades

El carburo cementado resistente a la corrosión ha desarrollado diversos grados según las diversas necesidades de los reactores ácidos. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1900-2100, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m $^{1/2}$, adecuado para ambientes ácidos de concentración media y baja (<30% H_2SO_4), tasa de corrosión <0,01 mm/año, resistencia a la temperatura 600°C.

YT15A

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1700-1900, resistencia a altas temperaturas hasta 800 °C, adecuado para ácido de concentración media (como 50% HCl), tasa de corrosión <0,008 mm/año, fuerte resistencia a la oxidación.

YW1A

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1800-2000, resistencia a altas temperaturas hasta 950 °C, adecuado para entornos con alta concentración de ácido y cloruro, tasa de corrosión <0,005 mm/año, excelente resistencia a la erosión ácida fuerte.

3. Detalles de la solicitud

Los componentes de reactores ácidos de carburo cementado resistentes a la corrosión desempeñan un papel fundamental en diversos sectores industriales. Sus aplicaciones varían según las condiciones del medio y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Producción de ácido sulfúrico

En el proceso de ácido sulfúrico de contacto, el medio es 98% H_2SO_4, la temperatura es de 500-700°C.

Requisitos: Debe resistir la corrosión ácida oxidante fuerte y la erosión de partículas de alta velocidad, y soportar una presión de 20 MPa.

Productos típicos: Placas de revestimiento y boquillas, utilizando grado YW1A, índice de resistencia a la corrosión <0,005 mm/año.

Ventajas: La alta dureza reduce el desgaste, el recubrimiento mejora la resistencia a la penetración de ácidos.

Industria cloroalcalina

Válvulas y sellos para electrolizadores y reactores que manejan 37% de HCl y cloro (Cl_2) a 50-200°C.

Requisitos: Debe resistir la corrosión por cloruro y la oxidación a alta temperatura, y soportar una presión de 10 a 15 MPa.

Productos típicos: componentes de válvulas y anillos de sellado, utilizando grado YT15A, tasa de resistencia a la corrosión <0,008 mm/año.

Ventajas: Antioxidación de cloro, vida útil prolongada.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Productos farmacéuticos y de química fina

Se aplica en palas de agitación y tubos intercambiadores de calor en reactores de síntesis, manipulando ácido fluorhídrico (HF) o ácidos mixtos, temperatura 100-300°C.

Requisitos: Debe resistir la corrosión ácida reductora fuerte y el procesamiento de alta precisión, y soportar una presión de 15 MPa.

Productos típicos: paletas agitadoras y accesorios para tuberías, utilizando grado YG6A, índice de resistencia a la corrosión <0,01 mm/año.

Ventajas: Alta tenacidad para adaptarse a movimientos complejos, pulido superficial para reducir residuos.

Aplicaciones especiales

Tratamiento de ácidos residuales: Para tratar ácidos residuales de alta concentración, es necesario resistir la corrosión mixta de múltiples ácidos.

Reacción catalítica: Soporte del catalizador, debe ser resistente a altas temperaturas y químicamente estable.

Desafío: Los entornos de temperatura ultraalta (>1000 °C) o de ácido ultraconcentrado (>98 %) imponen mayores exigencias al rendimiento del material.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de piezas de carburo cementado para reactores ácidos resistentes a la corrosión combina la ciencia de materiales avanzada y la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en entornos ácidos fuertes. A continuación, se detallan los flujos de proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: Utilice polvos de carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) de alta pureza, añada elementos resistentes al ácido (como Cr, Mo, Ni) y endurecedores (como TiC , TaC). Mezcle con un molino de bolas durante 24-48 horas, controle el tamaño de partícula a 0,5-2 μm y mantenga el contenido de impurezas por debajo del 0,1 %.

Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras (como Ce y La) para refinar los granos y se añaden carburos a escala nanométrica para mejorar la densidad y la resistencia a la corrosión.

Proceso de moldeo

Prensado: Utilizando tecnología de prensado isostático en frío (CIP), el polvo se prensa en piezas en bruto con una presión de 200-300 MPa y una densidad de moldeo del 60-70% de la densidad teórica.

Prensado Isostático en Caliente (HIP): El tratamiento térmico a 1300-1500°C y 100-200 MPa elimina los poros, aumenta la densidad a más del 98% y mejora la resistencia a la compresión y a la penetración de ácidos.

Moldeo de estructuras complejas: para impulsores y tubos de intercambiadores de calor, se utiliza tecnología de moldeo por inyección o impresión 3D (fusión selectiva por láser SLM) para producir

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

geometrías complejas con una precisión de ± 0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: La sinterización a 1400-1600 °C en un horno de vacío durante 1-2 horas promueve la unión de las partículas de WC, elimina las impurezas de los gases y previene la oxidación.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para formar una fase líquida, rellenando los poros y mejorando la resistencia del material y la resistencia a los ácidos. El tiempo de sinterización se controla con precisión para optimizar el tamaño del grano.

Posprocesamiento: Se utiliza limpieza con plasma para eliminar la capa de óxido de la superficie y algunos productos se someten a un recocido a baja temperatura para liberar la tensión residual.

Tratamiento de superficies

Deposición física de vapor (PVD): aplique un recubrimiento de TiN o CrN con un espesor de 5 a 15 μm para mejorar la resistencia a la corrosión ácida y la resistencia al desgaste.

Deposición química de vapor (CVD): utilice revestimiento de TiAlN o Al_2O_3 , resistencia a temperaturas de hasta 1000 °C, adecuado para entornos ácidos de alta temperatura.

Pulido: Pulido mecánico o electroquímico hasta Ra < 0,2 μm para reducir la adherencia del medio ácido y la rugosidad de la superficie.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: utilizando máquinas herramienta CNC de cinco ejes, la precisión se controla dentro de ±0,02 mm para procesar superficies de sellado de válvulas, álabes del impulsor y paredes internas de tuberías.

por electrochispa (EDM): se utiliza para cavidades internas complejas y microagujeros, reduciendo las zonas afectadas por el calor y la rugosidad de la superficie puede alcanzar Ra 0,1 μm .

Procesamiento láser: ayuda al acabado, mejora la calidad de la superficie y la precisión geométrica, especialmente adecuado para piezas de alta precisión.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: según GB/T 16599, carga de 10 kg, precisión ±30 HV, lo que garantiza una dureza uniforme.

Prueba de corrosión: inmersión en una solución de H_2SO_4 al 98% o HCl al 37% a 80 °C durante 1000 horas para evaluar la pérdida de masa y los cambios en la superficie.

Prueba de presión: Según la norma ASME B16.34, aplicar 1,5 veces la presión de diseño (hasta 45 MPa) para detectar fugas y deformaciones.

Prueba de fatiga: Simular ciclos de presión de 0 a 20 MPa, $>10^5$ ciclos, evaluar el crecimiento de grietas.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia a la corrosión: A 80°C, en 98% H_2SO_4 , la tasa de corrosión es <0,01 mm/año; cuando contiene 10% HCl, la resistencia a la corrosión se mantiene por encima del 95%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste <0,02 mm^3 / N · m, resistiendo la erosión de partículas ácidas a alta velocidad.
Resistencia mecánica: resistencia a la tracción >600 MPa a 800°C, tenacidad a la fractura 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$.
^{5} veces en ciclo de presión de 0-20 MPa, adaptable a choques térmicos y cargas mecánicas.
Sellado: Cumple con el estándar API 598, tasa de fuga <0,01%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Cr, Mo y Ni para mejorar la resistencia a la corrosión por picaduras, la corrosión uniforme y el ácido oxidante; desarrolle aleaciones de alta entropía (como CoCrFeNiMo) para mejorar el rendimiento integral.
Tecnología de recubrimiento: Se utiliza un recubrimiento multicapa (como Ni-Cr + TiN) para mejorar la resistencia a la corrosión ácida y a las altas temperaturas. El espesor se puede ajustar entre 5 y 15 µm .
Tratamiento térmico: tratamiento de solución + proceso de envejecimiento, optimiza la resistencia a la corrosión del límite de grano y la resistencia mecánica, y reduce la tensión residual.
Tratamiento de superficie: Pulido a Ra < 0,2 µm para reducir la adhesión de medios ácidos; introducción de nanorrecubrimiento o recubrimiento anticorrosivo para mejorar la durabilidad.
Innovación de procesos: la impresión 3D (SLM) permite la personalización de estructuras complejas y la IA optimiza los parámetros de sinterización y el espesor del recubrimiento, reduciendo el consumo de energía y mejorando la eficiencia.

Los componentes de carburo cementado para reactores ácidos, resistentes a la corrosión, han mejorado significativamente su estabilidad y durabilidad en entornos ácidos gracias a procesos de fabricación avanzados y un diseño de aplicación específico. A medida que la industria química avanza hacia procesos de alta concentración de ácido y alta temperatura, la optimización del carburo cementado (como nanorrecubrimientos, materiales compuestos y fabricación inteligente) seguirá impulsando su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita piezas de carburo cementado resistentes a la corrosión para reactores de ácido, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:
Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Bomba química de carburo resistente a la corrosión

La bomba química de carburo resistente a la corrosión es un equipo de bombeo diseñado para transportar medios químicos corrosivos. Sus componentes principales están fabricados con materiales de carburo resistentes a la corrosión (como aleaciones de carburo de tungsteno o aleaciones que contienen tántalo y titanio) para garantizar un funcionamiento estable a largo plazo en entornos hostiles con ácidos y álcalis fuertes, altas temperaturas o partículas. A continuación, se presenta una descripción detallada basada en el formato de las piezas del reactor de ácido de carburo resistente a la corrosión, complementada y mejorada.

1. Características técnicas

Resistencia a la corrosión

Al agregar elementos resistentes a los ácidos como cromo (Cr), molibdeno (Mo) y níquel (Ni), y aplicar recubrimientos de TiN , CrN o TiAlN , las bombas químicas de carburo cementado resistentes a la corrosión muestran una excelente resistencia a la corrosión en ácido sulfúrico concentrado (98 % H_2SO_4) , ácido clorhídrico (37 % HCl) y entornos que contienen cloruro, con una tasa de corrosión tan baja como 0,005-0,01 mm/año, que es mucho mejor que el acero inoxidable (0,05-0,1 mm/año).

A través de la optimización de la aleación y el diseño del revestimiento, se pueden reducir las picaduras y la corrosión uniforme para ácidos oxidantes fuertes (como el ácido nítrico HNO_3) y ácidos reductores (como el ácido fluorhídrico HF).

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1800-2400, que puede resistir el desgaste y la erosión de las partículas, y la tasa de desgaste se controla por debajo de 0,02 mm^3 / N · m, lo que es adecuado para medios ácidos de alta velocidad.

Resistencia mecánica

La tenacidad a la fractura alcanza los 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$, lo que garantiza la integridad estructural bajo alta presión y choque térmico, y la resistencia a la tracción supera los 600 MPa a 800 °C.

Estabilidad a altas temperaturas

Estable en ambientes ácidos y de alta temperatura de 100 a 300 °C (dependiendo de la aleación y el diseño), con alta resistencia a la fluencia térmica y a la oxidación.

Resistencia química

Al optimizar la composición y el recubrimiento de la aleación, se mejora la resistencia a los ácidos oxidantes y reductores fuertes y se reduce la corrosión local y uniforme.

2. Materiales y calidades

Se han desarrollado diversos grados de bombas químicas de carburo resistentes a la corrosión según las diversas necesidades de los procesos químicos. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características: Dureza HV 1900-2100, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m $^{1/2}$, adecuado para entornos ácidos de concentración media y baja (<30% H_2SO_4), tasa de corrosión <0,01 mm/año, resistencia a la temperatura 600°C.

YT15A

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1700-1900, resistencia a altas temperaturas hasta 800 °C, adecuado para ácido de concentración media (como 50% HCl), tasa de corrosión <0,008 mm/año, fuerte resistencia a la oxidación.

YW1A

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1800-2000, resistencia a altas temperaturas hasta 950 °C, adecuado para entornos con alta concentración de ácido y cloruro, tasa de corrosión <0,005 mm/año, excelente resistencia a la erosión ácida fuerte.

Materiales suplementarios

Juntas: Fabricadas en carburo de silicio (SiC), nitruro de silicio (Si_3N_4) o fluoroplásticos (como PTFE, F46), resistentes a la corrosión química.

Cuerpo de la bomba: Revestimiento de acero inoxidable (304, 316) o fluoroplástico, combinado con componentes de carburo.

Impulsor: Recubrimiento de carburo o cerámica para garantizar resistencia al desgaste y a la corrosión.

3. Detalle de la aplicación

Las bombas químicas de carburo resistentes a la corrosión desempeñan un papel fundamental en diversos sectores industriales. Sus aplicaciones varían según las condiciones del fluido y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Producción de ácido sulfúrico

Escenario: Sistema de bombeo para proceso de ácido sulfúrico de contacto, manejando 98% H_2SO_4, temperatura 500-700 °C, presión 20 MPa.

Requisitos: Resistir la corrosión ácida oxidante fuerte y la erosión de partículas a alta velocidad.

Productos típicos: Carcasa de bomba y impulsor, utilizando grado YW1A, tasa de corrosión <0,005 mm/año.

Ventajas: La alta dureza reduce el desgaste, el recubrimiento mejora la resistencia a la penetración de ácidos.

Industria cloroalcalina

Aplicación: Sistemas de bombeo para electrolizadores y reactores que manejan 37% de HCl y cloro (Cl_2) a temperaturas de 50-200°C y presiones de 10-15 MPa.

Requisitos: Resistencia a la corrosión por cloruros y a la oxidación a alta temperatura.

Productos típicos: Componentes de válvulas y sellos, utilizando grado YT15A, tasa de corrosión <0,008 mm/año.

Ventajas: Antioxidación de cloro, vida útil prolongada.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Productos farmacéuticos y de química fina

Aplicación: Sistemas de bombeo en reactores de síntesis, manejo de ácido fluorhídrico (HF) o ácidos mixtos, temperaturas 100-300°C, presiones 15 MPa.

Requisitos: Resistencia a la corrosión por ácido reductor fuerte y procesamiento de alta precisión.

Productos típicos: Impulsor y partes del cuerpo de la bomba, utilizando grado YG6A, tasa de corrosión <0,01 mm/año.

Ventajas: Alta tenacidad para adaptarse a movimientos complejos, pulido superficial para reducir residuos.

Aplicaciones especiales

Tratamiento de ácidos residuales: Para tratar ácidos residuales de alta concentración, es necesario resistir la corrosión mixta de múltiples ácidos.

Reacción catalítica: Soporte del catalizador, que debe ser resistente a altas temperaturas y químicamente estable.

Desafío: Los entornos de temperatura ultraalta (>1000 °C) o de ácido ultraconcentrado (>98 %) imponen mayores exigencias al rendimiento del material.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de bombas químicas de carburo resistentes a la corrosión combina tecnología avanzada de materiales y procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos altamente ácidos. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: Utilice polvos de carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) de alta pureza, añada elementos resistentes al ácido (como Cr, Mo, Ni) y endurecedores (como TiC , TaC). Mezcle en un molino de bolas durante 24-48 horas, controlando el tamaño de partícula a 0,5-2 μm y el contenido de impurezas a menos del 0,1 %.

Optimización aditiva : se añaden elementos de tierras raras (como Ce y La) para refinar los granos y se añaden carburos a escala nanométrica para mejorar la densidad y la resistencia a la corrosión.

Proceso de moldeo

Prensado: Utilizando tecnología de prensado isostático en frío (CIP), la presión es de 200-300 MPa y la densidad de moldeo alcanza el 60-70% de la densidad teórica.

Prensado isostático en caliente (HIP): El tratamiento térmico a 1300-1500 °C y 100-200 MPa elimina los poros, aumenta la densidad a más del 98 % y mejora la resistencia a la compresión y a la penetración de ácidos.

Moldeo de estructuras complejas: Para impulsores y carcasas de bombas se producen geometrías complejas con una precisión de ± 0,05 mm mediante moldeo por inyección o impresión 3D (fusión selectiva por láser SLM).

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: La sinterización a 1400-1600 °C durante 1-2 horas en un horno de vacío promueve la unión de las partículas de WC, elimina las impurezas de los gases y previene la oxidación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Sinterización en fase líquida: el cobalto se funde para formar una fase líquida, llenando los poros, mejorando la resistencia del material y la resistencia al ácido, y el tiempo de sinterización se controla con precisión para optimizar **el tamaño del grano.**

Postratamiento: Se utiliza limpieza con plasma para eliminar la capa de óxido de la superficie y algunos productos se someten a un recocido a baja temperatura para liberar la tensión residual.

Tratamiento de superficies

Deposición física de vapor (PVD): aplique un recubrimiento de TiN o CrN con un espesor de 5 a 15 μm para mejorar la resistencia a la corrosión ácida y al desgaste.

Deposición química de vapor (CVD): utilice revestimiento de TiAlN o Al_2O_3 , resistencia a temperaturas de hasta 1000 °C, adecuado para entornos ácidos de alta temperatura.

Pulido: Pulido mecánico o electroquímico hasta Ra < 0,2 μm para reducir la adherencia del medio ácido y la rugosidad de la superficie.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: El asiento de la válvula, las paletas y la pared interior del cuerpo de la bomba se mecanizan utilizando una máquina CNC de cinco ejes con una precisión de ±0,02 mm.

por electrochispa (EDM): se utiliza para cavidades complejas y microagujeros, reduciendo la zona afectada por el calor y la rugosidad de la superficie puede alcanzar Ra 0,1 μm .

Procesamiento láser: ayuda al acabado, mejora la calidad de la superficie y la precisión geométrica, especialmente adecuado para componentes de alta precisión.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: según GB/T 16599, carga de 10 kg, precisión ±30 HV, lo que garantiza una dureza uniforme.

Prueba de corrosión: inmersión en una solución de H_2SO_4 al 98% o HCl al 37% a 80 °C durante 1000 horas para evaluar la pérdida de masa y los cambios en la superficie.

Prueba de presión: Según la norma ASME B16.34, aplicar 1,5 veces la presión de diseño (hasta 45 MPa) para detectar fugas y deformaciones.

Prueba de fatiga: simula ciclos de presión de 0 a 20 MPa durante $>10^5$ ciclos para evaluar el crecimiento de grietas.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia a la corrosión: A 80°C, en 98% H_2SO_4 , la tasa de corrosión es <0,01 mm/año; cuando contiene 10% HCl, la resistencia a la corrosión se mantiene por encima del 95%.

Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,02 mm^3 / N · m, resistente a la erosión de partículas ácidas a alta velocidad.

Resistencia mecánica: Resistencia a la tracción >600 MPa a 800°C, tenacidad a la fractura 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$.

^{5} veces en ciclos de presión de 0-20 MPa, adaptable a choques térmicos y cargas mecánicas.

Sellado: Cumple con el estándar API 598, tasa de fuga <0,01%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Cr, Mo y Ni para mejorar la resistencia a la corrosión por picaduras, la corrosión uniforme y el ácido oxidante; desarrolle aleaciones de alta entropía

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(como CoCrFeNiMo) para mejorar el rendimiento integral.
de recubrimiento : Se utiliza un recubrimiento multicapa (como Ni-Cr + TiN) para mejorar la resistencia a la corrosión ácida y a las altas temperaturas. El espesor se puede ajustar entre 5 y 15 µm .
Tratamiento térmico: Tratamiento de solución + proceso de envejecimiento para optimizar la resistencia a la corrosión del límite de grano y la resistencia mecánica y reducir la tensión residual.
Tratamiento de superficie: Pulido a Ra < 0,2 µm para reducir la adhesión de medios ácidos; introducción de nanorrecubrimiento o recubrimiento anticorrosivo para mejorar la durabilidad.
Innovación de procesos: la impresión 3D (SLM) permite la personalización de estructuras complejas y la IA optimiza los parámetros de sinterización y el espesor del recubrimiento, reduciendo el consumo de energía y mejorando la eficiencia.

Las bombas químicas de carburo resistentes a la corrosión son indispensables en las industrias química, de protección ambiental y minera gracias a su excelente resistencia a la corrosión, al desgaste y a la alta temperatura. Grados como el YW1A son especialmente adecuados para entornos extremadamente corrosivos gracias a la presencia de TaC , mientras que el YG6A es más adecuado para condiciones moderadas. Gracias a procesos de fabricación avanzados y un diseño de aplicación específico, estas bombas han mejorado significativamente su estabilidad y durabilidad en entornos ácidos. A medida que la industria química avanza hacia procesos de alta concentración de ácidos y alta temperatura, la optimización continua (como los nanorrecubrimientos, los materiales compuestos y la fabricación inteligente) impulsará su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita bombas químicas de carburo cementado resistentes a la corrosión, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:
Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Válvulas marinas de carburo resistentes a la corrosión

Las válvulas marinas de carburo cementado resistentes a la corrosión son válvulas resistentes a la corrosión y de alto rendimiento, diseñadas específicamente para la ingeniería marina y la explotación de recursos en aguas profundas. Se utilizan ampliamente en la extracción de petróleo y gas en alta mar, sistemas de tuberías en alta mar e ingeniería submarina. Estas válvulas están basadas en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Mediante la optimización de la composición de la aleación, la tecnología de refuerzo de superficies y los procesos de fabricación de precisión, mejoran significativamente su resistencia a la corrosión marina, la alta presión, la resistencia al desgaste y la adhesión biológica. El entorno marino implica profundidades de cientos a miles de metros (presiones de hasta 50 MPa), agua de mar de alta salinidad (con un 3,5 % de NaCl), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y desafíos de adhesión biológica. Los materiales tradicionales, como el acero inoxidable o las aleaciones de titanio, son difíciles de cumplir con los requisitos de uso a largo plazo, por lo que el carburo cementado resistente a la corrosión se convierte en una opción ideal. Este artículo analizará sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación en detalle para demostrar sus ventajas técnicas en el entorno marino.

1. Características técnicas

Resistencia a la corrosión

Al agregar elementos resistentes a la corrosión como cromo (Cr), molibdeno (Mo) y níquel (Ni), y aplicar recubrimientos de TiN , CrN o TiAlN , el carburo cementado resistente a la corrosión exhibe una excelente resistencia a la corrosión en ambientes de agua de mar de alta salinidad, cloruro y sulfuro, con una tasa de corrosión tan baja como 0,01-0,02 mm/año y una mejor resistencia a la corrosión por H_2S que los materiales tradicionales.

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1800-2500, que puede resistir la erosión de la grava del fondo marino y el desgaste de partículas, y la tasa de desgaste se controla por debajo de 0,03 $mm^3 / N \cdot m$.

Resistencia mecánica

La tenacidad a la fractura alcanza los 12-16 $MPa \cdot m^{1/2}$, lo que garantiza la integridad estructural en condiciones de alta presión (20-50 MPa) y vibración, y la resistencia a la tracción supera los 700 MPa a 800 °C.

Anti-bioincrustaciones

El tratamiento de la superficie (por ejemplo, pulido a $Ra < 0,2$ µm) combinado con un revestimiento antimicrobiano (por ejemplo, TiN dopado con Ag) inhibe eficazmente la adhesión de organismos marinos (por ejemplo, percebes, algas) y reduce los requisitos de mantenimiento.

Estabilidad a baja temperatura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mantiene tenacidad y resistencia a la fractura frágil en ambientes de bajas temperaturas de aguas profundas de -10 °C a 4 °C, y es adecuado para su uso en aguas polares.

2. Materiales y calidades

El carburo cementado resistente a la corrosión ha desarrollado diversos grados según los requisitos de aplicación de las válvulas marinas. A continuación, se presenta una introducción detallada de los posibles grados adecuados y sus características, que cubren los requisitos de rendimiento de diferentes entornos marinos:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1900-2100, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m¹ / ², densidad 14,9 g/cm³, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1300 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios de aplicación: Se utiliza principalmente en aguas poco profundas (0-500 m) o medios poco corrosivos, como válvulas en agua dulce y zonas con baja concentración de agua salada (<1 % NaCl), como válvulas de control básicas para plataformas submarinas. Apto para condiciones de trabajo de baja presión (<20 MPa) y temperatura media y baja (-10 °C a 400 °C).

Ventajas: alta tenacidad y resistencia al impacto, resistencia a entornos de corrosión débil, costo relativamente bajo, adecuado para ingeniería marina inicial o componentes de válvulas no críticos.

Limitaciones: La resistencia a la corrosión es ligeramente débil en ambientes de aguas profundas con alta salinidad o que contienen H_2S y debe usarse con un recubrimiento.

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1850-2050, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1250 HV, índice de desgaste <0,035 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para válvulas en aguas medias y poco profundas (0-1000 m), como válvulas reguladoras en sistemas de tuberías marinas, manejo de agua de mar de salinidad media (1-3% NaCl), con una resistencia a la presión de 20-30 MPa y una resistencia a la temperatura de 500°C.

Ventajas: Mayor tenacidad que YG6A, mejor resistencia al impacto y a la fatiga, adecuado para válvulas con grandes cargas dinámicas, como válvulas de mariposa o válvulas de compuerta.

Limitaciones: Ligeramente menos resistente a la corrosión fuerte, requiere recubrimiento PVD (como TiN) para mejorar la adaptabilidad en aguas profundas.

YT15A

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1700-1900, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,035 mm³/N·m, alta resistencia a la oxidación.

Escenarios aplicables: Adecuado para válvulas en entornos de aguas medias y profundas (500-2000 m), como válvulas de retención y válvulas de bola para oleoductos submarinos, manejo de agua de mar de alta salinidad (3,5 % NaCl), con una resistencia a la presión de 30-40 MPa y una resistencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

a la temperatura de 800°C.

Ventajas: Excelente resistencia a altas temperaturas y a la oxidación, adecuado para tratar agua de mar oxigenada o a alta temperatura, buena resistencia a la adhesión y al desgaste.

Limitación: Se requieren recubrimientos adicionales (como TiAlN) para mejorar la resistencia a la corrosión en aguas ultraprofundas o en entornos que contienen H_2S.

YT30

Composición: WC 70%, TiC 20%, Co 10%

Características: Dureza HV 1600-1800, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m¹ / ², densidad 11,2 g/cm³, conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,04 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para válvulas en aguas medias y profundas (1000-2500 m), como válvulas reguladoras en sistemas de producción submarinos, resistente a la corrosión moderada y alta temperatura (600-900 °C) y resistencia a la presión de 35 MPa.

Ventajas: Mayor tenacidad y resistencia al calor, adecuado para condiciones de trabajo intermitentes de alta temperatura, fuerte resistencia al desgaste.

Limitaciones: Baja dureza, requiere recubrimiento para mejorar la resistencia a la corrosión en aguas profundas.

YW1A

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1800-2000, tenacidad a la fractura 13-15 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1250 HV, índice de desgaste <0,032 mm³/N·m, resistencia a la corrosión <0,01 mm/año.

Escenarios aplicables: Válvulas adecuadas para entornos altamente corrosivos de aguas profundas (2000-5000 m), como válvulas de bola y válvulas de compuerta para plataformas de perforación en aguas ultraprofundas, con una resistencia a la presión de 50 MPa, una resistencia a la temperatura de 950 °C y resistencia a cloruros y H_2 S.

Ventajas: Excelente rendimiento integral, fuerte resistencia a la corrosión y adhesión biológica, adecuado para condiciones marinas extremas.

Limitaciones: Alto costo de fabricación, requiere mecanizado de precisión para asegurar el sellado.

YW2

Composición: WC 75%, TiC 12%, TaC 3%, Co 10%

Características: Dureza HV 1750-1950, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m¹ / ², densidad 12,6 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m, resistencia a la corrosión <0,012 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para válvulas de aguas profundas (1500-4000 m), como válvulas de cierre de emergencia para tuberías submarinas, con una resistencia a la presión de 40-45 MPa y una resistencia a la temperatura de 900 °C.

Ventajas: Dureza y tenacidad equilibradas, resistente a la oxidación y corrosión a altas temperaturas, adecuado para el control de fluidos complejos.

Limitación: Se requiere refuerzo adicional para condiciones de presión ultra alta (>50 MPa).

YG20C

Composición: WC 80%, Co 20%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características: Dureza HV 1650-1850, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 70 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,04 mm³/N·m, resistencia a la corrosión <0,015 mm/año.
Escenarios aplicables: Adecuado para válvulas de servicio pesado en aguas poco profundas a medias-profundas (0-2000 m), como válvulas de soporte para plataformas submarinas, con una resistencia a la presión de 30 MPa y una resistencia a la temperatura de 700 °C.
Ventajas: Dureza ultra alta, fuerte resistencia al impacto y a la fatiga, adecuado para entornos de carga dinámica.
Limitaciones: Resistencia moderada a la corrosión, requiere recubrimiento para su uso en ambientes de aguas profundas.

3. Aplicación

Las válvulas marinas de carburo resistentes a la corrosión desempeñan un papel fundamental en diversos campos de la ingeniería marina. Sus aplicaciones varían según las condiciones ambientales y los requisitos operativos. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Extracción de petróleo y gas en alta mar

Aplicación: Se aplica a plataformas de perforación en aguas ultraprofundas y sistemas de producción submarina a profundidades de agua de 2000 a 5000 m, como los campos petrolíferos del Golfo de México y el Mar del Norte, para controlar medios que contienen H_2S y de alta salinidad.
Requisitos: Debe resistir alta presión (20-50 MPa), agua de mar corrosiva y sulfuro de hidrógeno, y resistencia a temperaturas de 200-600 °C.
Productos típicos: válvulas de bola y válvulas de compuerta, utilizando grado YW1A, con una resistencia a la presión de 50 MPa y una tasa de resistencia a la corrosión de <0,01 mm/año.
Ventajas: El alto sellado reduce las fugas y la resistencia a la corrosión por H_2S mejora la seguridad.

Sistema de tuberías marinas

Escenario: Válvulas reguladoras y válvulas de retención para oleoductos y gasoductos submarinos, como el oleoducto de aguas profundas en el Mar de China Meridional.
Requisitos: inmersión prolongada en agua de mar (profundidad del agua 500-3000 m), resistencia a la corrosión y resistencia a la carga de fatiga, resistencia a la presión 30-40 MPa.
Productos típicos: válvulas de mariposa y válvulas de retención, utilizando grado YT15A, índice de resistencia a la corrosión <0,015 mm/año.
Ventajas: Alta durabilidad, resistencia al biofouling y reducido mantenimiento.

Ingeniería submarina

Escenario: Válvulas de control utilizadas en cimentaciones de plataformas submarinas y sistemas de protección de cables, como en la construcción de parques eólicos del Mar del Norte.
Requisitos: Debe resistir la corrosión del agua de mar, las bajas temperaturas y la adhesión biológica, y soportar una presión de 20-30 MPa.
Productos típicos: válvulas reguladoras y válvulas de conexión, utilizando grado YG6A, índice de resistencia a la corrosión <0,02 mm/año.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ventajas: Alta tenacidad para adaptarse a entornos complejos, tratamiento de superficie para prolongar la vida útil.

Aplicaciones especiales

Minería en aguas profundas: el control de los sistemas de extracción de nódulos polimetálicos requiere resistencia a la corrosión por altas concentraciones de iones metálicos.

Monitoreo Ambiental: Válvulas reguladoras para equipos de adquisición de datos submarinos, enfatizando la durabilidad y precisión.

Desafío: Las aguas ultraprofundas (>5000 m), la alta presión (>50 MPa) y la temperatura extremadamente baja (<-10 °C) imponen mayores exigencias al rendimiento de la válvula.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de válvulas marinas de carburo resistentes a la corrosión combina tecnología avanzada de materiales y procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos marinos. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: Utilice polvos de carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) de alta pureza, añada elementos resistentes a la corrosión (como Cr, Mo, Ni) y endurecedores (como TiC , TaC). Mezcle con un molino de bolas durante 24-48 horas, controle el tamaño de partícula a 0,5-2 μm y mantenga el contenido de impurezas por debajo del 0,1 %.

Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras (como Ce y La) para refinar los granos y se añaden carburos a escala nanométrica para mejorar la densidad y la resistencia a la corrosión.

Proceso de moldeo

Prensado: Utilizando tecnología de prensado isostático en frío (CIP), el polvo se prensa en piezas en bruto con una presión de 200-300 MPa y una densidad de moldeo del 60-70% de la densidad teórica.

Prensado isostático en caliente (HIP): El tratamiento térmico a 1300-1500 ℃ y 100-200 MPa elimina los poros, aumenta la densidad a más del 98 % y mejora la resistencia a la compresión.

Moldeo de estructuras complejas: para válvulas de bola y válvulas de mariposa, se utiliza tecnología de moldeo por inyección o impresión 3D (fusión selectiva por láser SLM) para producir estructuras de sellado complejas con una precisión de ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: La sinterización a 1400-1600 °C en un horno de vacío durante 1-2 horas promueve la unión de las partículas de WC, elimina las impurezas de los gases y previene la oxidación.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para formar una fase líquida, rellenando los poros y mejorando la resistencia del material y la resistencia a la corrosión. El tiempo de sinterización se controla con precisión para optimizar el tamaño del grano.

Posprocesamiento: Se utiliza limpieza con plasma para eliminar la capa de óxido de la superficie y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

algunos productos se someten a un recocido a baja temperatura para liberar la tensión residual.

Tratamiento de superficies

Deposición física de vapor (PVD): aplique un recubrimiento de TiN o CrN con un espesor de 5 a 20 μm para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión del agua de mar.

Deposición química de vapor (CVD): utilizando revestimiento de TiAlN o Al_2O_3 , resistencia a temperaturas de hasta 1000 °C, adecuado para entornos de alta temperatura en aguas profundas.

Pulido: Pulido mecánico o electroquímico hasta Ra < 0,2 μm para reducir la adhesión biológica y la rugosidad de la superficie, combinado con recubrimiento antibacteriano para inhibir el crecimiento de organismos marinos.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: utilizando máquinas herramienta CNC de cinco ejes, la precisión se controla dentro de ±0,02 mm para procesar superficies de sellado de válvulas y canales de flujo.

por electrochispa (EDM): se utiliza para cavidades internas complejas y microagujeros, reduciendo las zonas afectadas por el calor y la rugosidad de la superficie puede alcanzar Ra 0,1 μm .

Procesamiento láser: ayuda al acabado, mejora la calidad de la superficie y la precisión geométrica, especialmente adecuado para válvulas de alta precisión.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: según GB/T 16599, carga de 10 kg, precisión ±30 HV, lo que garantiza una dureza uniforme.

Prueba de corrosión: inmersión en una solución de NaCl al 3,5% a 80 °C durante 2000 horas para simular el entorno de agua de mar y evaluar la pérdida de masa y los cambios en la superficie.

Prueba de presión: Según la norma API 6A, aplicar 1,5 veces la presión de diseño (máximo 75 MPa) para detectar fugas y deformaciones.

Prueba de fatiga: Simule ciclos de presión de 0 a 30 MPa, $>10^5$ ciclos y evalúe el crecimiento de grietas.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia a la corrosión: En una solución de NaCl al 3,5% a 80°C, la tasa de corrosión es <0,02 mm/año; cuando contiene 100 ppm de H_2S , la resistencia a la corrosión se mantiene por encima del 90%.

Resistencia al desgaste: tasa de desgaste <0,03 $mm^3/N \cdot m$, capaz de resistir la erosión por grava del fondo marino.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción >700 MPa a 800°C, tenacidad a la fractura 12-16 $MPa \cdot m^{1/2}$.

^{5} veces bajo ciclo de presión de 0-30 MPa, adaptable a cargas de vibración de aguas profundas.

Sellado: Cumple con el estándar API 6A, tasa de fuga <0,01%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Cr, Mo y Ni para mejorar la resistencia a las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

picaduras, la corrosión por cloruro y H_2S; desarrolle aleaciones de alta entropía (como CoCrFeNiMo) para mejorar el rendimiento general.
Tecnología de recubrimiento: Se utiliza un recubrimiento multicapa (como Ni-Cr + TiN) para mejorar la resistencia a la erosión marina y a las altas temperaturas. El espesor se puede ajustar entre 5 y 20 μm .
Tratamiento térmico: tratamiento de solución + proceso de envejecimiento, optimiza la resistencia a la corrosión del límite de grano y la resistencia mecánica, y reduce la tensión residual.
Tratamiento de superficie: Pulido a Ra < 0,2 μm para reducir la adhesión biológica; introducción de un nanorrecubrimiento o un recubrimiento antibacteriano para mejorar la durabilidad.
Innovación de procesos: la impresión 3D (SLM) permite la personalización de estructuras de sellado complejas, y la IA optimiza los parámetros de sinterización y el espesor del recubrimiento para reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia.

Las válvulas marinas de carburo cementado resistentes a la corrosión han mejorado significativamente la fiabilidad y la seguridad de la ingeniería en aguas profundas gracias a procesos de fabricación avanzados y diseños de aplicaciones específicos. A medida que el desarrollo de los recursos marinos avanza hacia aguas ultraprofundas (>5000 m) y entornos extremos, la optimización del carburo cementado (como el nanorrecubrimiento, los materiales compuestos y la fabricación inteligente) seguirá impulsando su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita válvulas marinas de carburo cementado resistentes a la corrosión, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tubería de carburo de silicio resistente a la corrosión

Descripción general

Tuberías de alto rendimiento diseñadas para las industrias química, petroquímica y afines. Se utilizan ampliamente en el transporte de ácidos fuertes (como ácido sulfúrico H_2SO_4 y ácido clorhídrico HCl), medios corrosivos de alta temperatura y mezclas de gas-líquido a alta presión. Estas tuberías están hechas de carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Mediante la optimización de la composición de la aleación, la tecnología de refuerzo de superficies y los procesos de fabricación de precisión, mejoran significativamente la resistencia a la corrosión por ácidos fuertes, la resistencia a altas temperaturas, la resistencia al desgaste y la resistencia mecánica. El entorno de las tuberías ácidas implica altas temperaturas (500-1000 °C), altas presiones (10-40 MPa) y medios altamente corrosivos (como ácidos concentrados y compuestos clorados). Los materiales tradicionales, como el acero inoxidable o las aleaciones de titanio, son propensos a sufrir fallos por corrosión durante el uso prolongado, por lo que el carburo cementado resistente a la corrosión se convierte en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en entornos ácidos.

1. Características técnicas

Resistencia a la corrosión

Al agregar elementos resistentes a los ácidos como cromo (Cr), molibdeno (Mo) y níquel (Ni), y aplicar recubrimientos de TiN , CrN o TiAlN , el carburo cementado resistente a la corrosión exhibe una excelente resistencia a la corrosión en ácido sulfúrico concentrado (98% H_2SO_4) , ácido clorhídrico (37% HCl) y entornos que contienen cloruro, con una tasa de corrosión tan baja como 0,005-0,01 mm/año, que es mucho mejor que el acero inoxidable (0,05-0,1 mm/año).

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1800-2400, que puede resistir el desgaste de partículas y la erosión de fluidos a alta velocidad, y la tasa de desgaste se controla por debajo de 0,02 $mm^3 / N \cdot m$.

Resistencia mecánica

La tenacidad a la fractura alcanza los 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$, lo que garantiza la integridad estructural en condiciones de alta presión y ciclos térmicos, y la resistencia a la tracción supera los 600 MPa a 800 °C.

Estabilidad a altas temperaturas

Mantiene un rendimiento estable en un entorno ácido de alta temperatura de 500 a 1000 °C y tiene una fuerte resistencia a la fluencia térmica y la oxidación.

Resistencia química

En el caso de ácidos oxidantes fuertes (como el ácido nítrico HNO_3) y ácidos reductores (como el ácido fluorhídrico HF), la corrosión por picaduras, la corrosión uniforme y el agrietamiento por corrosión bajo tensión se pueden reducir mediante la optimización de la aleación y el diseño del revestimiento.

2. Materiales y calidades

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El carburo cementado resistente a la corrosión ha desarrollado diversos grados según las diversas necesidades de las tuberías de ácido. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1900-2100, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m¹ / ², densidad 14,9 g/cm³, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1300 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m, índice de corrosión <0,01 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácidos de concentración media y baja (como <30 % H_2SO_4) o entornos de baja temperatura (<600 °C), con una resistencia a la presión de 10-20 MPa y adecuado para el procesamiento químico primario.

Ventajas: alta tenacidad y resistencia al impacto, bajo costo, adecuado para condiciones ácidas no extremas.

Limitaciones: Resistencia limitada a la corrosión en altas concentraciones de ácido o altas temperaturas, requiere recubrimiento.

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1850-2050, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1250 HV, índice de desgaste <0,035 mm³/N·m, índice de corrosión <0,012 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácidos de concentración media (como 30-50% HCl) o entornos de temperatura media (<700 °C), con una resistencia a la presión de 15-25 MPa, adecuado para la sección media de la industria petroquímica.

Ventajas: La tenacidad es mejor que la del YG6A, la resistencia a la fatiga es fuerte y es adecuado para tuberías de carga dinámica.

Limitación: Se requiere un soporte de recubrimiento adicional para resistir la corrosión ácida fuerte.

YT15A

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1700-1900, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,035 mm³/N·m, índice de corrosión <0,008 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácidos de alta concentración (como 50% H_2SO_4) o entornos de alta temperatura (<800 °C), con una resistencia a la presión de 20-30 MPa, adecuado para la industria cloro-álcali y reacciones de alta temperatura.

Ventajas: Fuerte resistencia a altas temperaturas y oxidación, buena resistencia a la adhesión y al desgaste.

Se requiere un refuerzo del recubrimiento en entornos con ácidos extremadamente concentrados o H_2S .

YT30

Composición: WC 70%, TiC 20%, Co 10%

Características: Dureza HV 1600-1800, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m¹ / ², densidad 11,2 g/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

cm³, conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,04 mm³/N·m, índice de corrosión <0,01 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácidos mixtos de alta temperatura (como HNO_3 + H_2SO_4) o entornos intermitentes de alta temperatura (600-900 °C), con una resistencia a la presión de 25-35 MPa.

Ventajas: Resistencia al calor y tenacidad equilibradas, resistencia a la oxidación a alta temperatura.

Limitaciones: Baja dureza, requiere recubrimiento para mejorar la resistencia al desgaste.

YW1A

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1800-2000, tenacidad a la fractura 13-15 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1250 HV, índice de desgaste <0,032 mm³/N·m, índice de corrosión <0,005 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácidos ultraconcentrados (como 98% H_2SO_4) o entornos altamente corrosivos que contienen cloruros (<950 ° C) , con una resistencia a la presión de 30-40 MPa, y son adecuados para la sección central de la industria química ácida.

Ventajas: Excelente resistencia a ácidos fuertes y altas temperaturas, fuerte resistencia a la adhesión biológica.

Limitaciones: Alto costo de fabricación y requiere procesamiento de precisión.

YW2

Composición: WC 75%, TiC 12%, TaC 3%, Co 10%

Características: Dureza HV 1750-1950, tenacidad a la fractura 14-16 MPa·m¹ / ², densidad 12,6 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m, índice de corrosión <0,007 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácido fuerte a alta temperatura (como 70 % HF) o medios ácidos complejos (<900 °C), con una resistencia a la presión de 25 a 35 MPa.

Ventajas: Resistente a la oxidación y corrosión a altas temperaturas, adecuado para entornos mixtos de múltiples ácidos.

Limitaciones: Se requiere refuerzo estructural para presiones ultra altas (>40 MPa).

YG20C

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1650-1850, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,5 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 70 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (800 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,04 mm³/N·m, índice de corrosión <0,015 mm/año.

Escenarios aplicables: Adecuado para tuberías que transportan ácidos de concentración media y baja o entornos de carga pesada (<700 °C), con una resistencia a la presión de 20-30 MPa, adecuado para tuberías auxiliares químicas.

Ventajas: Dureza ultra alta, fuerte resistencia al impacto y a la fatiga.

Limitaciones: Resistencia moderada a la corrosión, requiere recubrimiento para mejorar la adaptabilidad a ácidos profundos.

3. Detalle de la aplicación

Las tuberías de carburo cementado resistentes a la corrosión desempeñan un papel fundamental en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

diversos sectores industriales. Sus aplicaciones varían según las condiciones del fluido y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Producción de ácido sulfúrico

Escenario: Se aplica a tuberías que transportan H_2SO_4 al 98% , con una temperatura de 500-700℃ y una presión de 15-25 MPa.

Requisitos: Necesidad de resistir corrosión ácida oxidante fuerte y alto caudal.

Productos típicos: Tuberías revestidas, de grado YW1A, índice de resistencia a la corrosión <0,005 mm/año.

Ventajas: Alta resistencia a la corrosión que reduce las fugas.

Industria cloroalcalina

Escenario: Se utiliza para transportar HCl al 37% y gas cloro, temperatura 50-200 °C, presión 10-15 MPa.

Requisitos: Resistencia a la corrosión por cloruros y a la oxidación a alta temperatura.

Productos típicos: Secciones de tubería resistentes al ácido, utilizando grado YT15A, tasa de resistencia a la corrosión <0,008 mm/año.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas, antioxidación.

Productos farmacéuticos y de química fina

Escenario: Transporte de HF o ácido mixto, temperatura 100-300°C, presión 10-20 MPa.

Requisitos: Resistencia a la corrosión por ácidos reductores fuertes.

Productos típicos: Tubos especiales, de grado YG6A, índice de resistencia a la corrosión <0,01 mm/año.

Ventajas: alta precisión, menos residuos.

Aplicaciones especiales

Tratamiento de residuos ácidos: transportar residuos ácidos de alta concentración y resistir la corrosión por poliácidos.

Reacción a alta presión: Soporta fluidos ácidos de alta temperatura y alta presión, con una resistencia a la presión de >40 MPa.

Desafío: Las temperaturas ultra altas (>1000 °C) o los ácidos ultraconcentrados imponen mayores exigencias a los materiales.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de tuberías de carburo cementado resistentes a la corrosión combina tecnología avanzada de materiales y procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos ácidos. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: utilice polvos de WC y Co de alta pureza, agregue elementos resistentes a los ácidos (como Cr, Mo, Ni) y endurecedores (como TiC , TaC), molino de bolas durante 24 a 48

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

horas y el tamaño de partícula es de 0,5-2 μm .
Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras para refinar los granos y se añaden nanocarburos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo
Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.
Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad superior al 98%.
Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización
Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.
Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.
Posprocesamiento: limpieza con plasma, recocido parcial para alivio de tensiones.

Tratamiento de superficies
PVD: recubrimiento de TiN o CrN , 5-15 μm , resistente a la corrosión ácida.
Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiAlN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 1000° C.
Pulido: Ra < 0,2 μm , para reducir la adherencia del medio.

Mecanizado de precisión
Mecanizado CNC: precisión ±0,02 mm, mecanizado de pared interior.
EDM: cavidad interna compleja, Ra 0,1 μm .
Procesamiento láser: mejora de la calidad de la superficie.

Inspección de calidad
Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.
Prueba de corrosión: 80°C, 98% H_2SO_4 , 1000 horas.
Prueba de presión: ASME B16.34, 1,5 veces la presión.
Prueba de fatiga: 0-20 MPa, $>10^5$ veces.

5. Indicadores de desempeño
Resistencia a la corrosión: 80°C, 98% H_2SO_4 , < 0,01 mm/año.
Resistencia al desgaste: <0,02 mm^3 / N·m.
Resistencia mecánica: 800°C, >600 MPa, 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$.
Vida útil por fatiga: $>10^5$ veces.
Sellado: API 598, <0,01%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos
Fórmula de aleación: agregue Cr, Mo y Ni para desarrollar aleaciones de alta entropía.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa Ni-Cr + TiN , 5-15 μm .
Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tratamiento de superficie: Ra < 0,2 μm , nanorrecubrimiento.
Innovación de procesos: impresión 3D, parámetros de optimización de IA.

Las tuberías de carburo resistentes a la corrosión para ácidos han mejorado significativamente su estabilidad y durabilidad en entornos ácidos gracias a procesos avanzados y un diseño de aplicaciones. A medida que la industria química avanza hacia procesos de alta concentración de ácidos y alta temperatura, la optimización del carburo seguirá impulsando el progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita tuberías de carburo cementado resistentes a la corrosión , le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Brocas de carburo de grano grueso para minería

Descripción general

Las brocas de carburo cementado de grano grueso para minería son resistentes al desgaste y de alto rendimiento, diseñadas específicamente para la industria minera. Se utilizan ampliamente en minas a cielo abierto, minas subterráneas y minería de roca dura. Estas brocas se basan en carburo cementado de grano grueso (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co, con un tamaño de grano de 5-10 μm). Al optimizar la fórmula de la aleación y el proceso de refuerzo, se mejoran significativamente la resistencia al desgaste, al impacto y a la fractura. El entorno minero implica formaciones rocosas de alta dureza (como granito y cuarcita), altas cargas de impacto (miles de Newton) y altas temperaturas (200-600 °C). Los materiales tradicionales, como las brocas de acero, son difíciles de soportar el desgaste y la fractura a largo plazo, por lo que el carburo cementado de grano grueso se convierte en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en minería.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1200-1600, el tamaño de grano es de 5-10 μm , se mejora la resistencia al desgaste, la tasa de desgaste se controla por debajo de 0,05 mm^3 / N · m y es adecuado para perforar formaciones rocosas de alta dureza.

Resistencia al impacto

La tenacidad a la fractura es de 15-25 $MPa \cdot m^{1/2}$, lo que es mejor que las aleaciones de grano fino y puede soportar cargas de alto impacto (>5000 N) sin colapso del borde.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 500 MPa a 600 °C y tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y es adecuado para ciclos frecuentes de perforación y extracción.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de minería de alta temperatura de 200 a 600 °C, resistiendo el agrietamiento térmico y la oxidación.

Resistencia a la corrosión

Añadiendo molibdeno (Mo) o cromo (Cr), la tasa de corrosión en ambientes de escoria acuosos o ácidos es inferior a 0,02 mm/año.

2. Materiales y calidades

El carburo cementado de grano grueso ha desarrollado una variedad de grados según las diversas necesidades de las brocas para minería. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG11C

Composición: WC 89%, Co 11%

Características: Dureza HV 1350-1450, tenacidad a la fractura 20-22 $MPa \cdot m^{1/2}$, densidad 14,4 g/cm^3, conductividad térmica aprox. 70 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 900 HV,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

índice de desgaste <0,06 mm³/N·m, tamaño de grano 6-8 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar en formaciones rocosas de dureza media (como piedra caliza y granito), carga de impacto 3000-5000 N, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para minería a cielo abierto.

Ventajas: alta tenacidad y resistencia al impacto, resistencia al desgaste moderada, alto rendimiento en relación costo-beneficio.

Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente menor en formaciones rocosas ultraduras o a altas temperaturas.

YG15C

Composición: WC 85%, Co 15%

Características: Dureza HV 1300-1400, tenacidad a la fractura 22-25 MPa·m¹ / ², densidad 14,0 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 850 HV, índice de desgaste <0,05 mm³/N·m, tamaño de grano 7-10 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar en formaciones rocosas de alta dureza (como cuarcita y basalto), carga de impacto 5000-8000 N, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para perforar agujeros profundos en minas subterráneas.

Ventajas: Dureza ultra alta, resistencia a grandes impactos y fracturas, gran durabilidad.

Limitaciones: Baja dureza, es necesario optimizar el diseño del filo.

YC40

Composición: WC 75%, Co 15%, TaC 5%, TiC 5%

Características: Dureza HV 1250-1350, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 800 HV, índice de desgaste <0,07 mm³/N·m, tamaño de grano 8-10 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar en formaciones rocosas ultraduras (como diabasa, mineral de hierro), carga de impacto 8000-10000 N, resistencia a la temperatura 600 ° C, adecuado para minería de alta intensidad.

Ventajas: Resistencia a altas temperaturas y corrosión, adecuado para áreas mineras complejas.

Limitaciones: Resistencia moderada al desgaste, requiere mantenimiento regular.

YG20C

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1250-1350, tenacidad a la fractura 23-25 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 850 HV, índice de desgaste <0,06 mm³/N·m, tamaño de grano 5-7 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar con cargas pesadas e impactos frecuentes, como vetas de carbón y formaciones rocosas alternas de dureza y dureza, carga de impacto de 4000 a 6000 N, resistencia a temperaturas de 450 °C.

Ventajas: tenacidad extremadamente alta, resistencia a grandes deformaciones, adecuado para condiciones adversas.

Limitaciones: Ligeramente menos resistente al desgaste, requiere un tratamiento de superficie optimizado.

YC45

Composición: WC 70%, Co 15%, TaC 10%, TiC 5%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características: Dureza HV 1200-1300, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ² , densidad 13,2 g/ cm³ , conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 750 HV, índice de desgaste <0,08 mm³ /N·m, tamaño de grano 9-10 μm .
Escenarios aplicables: Adecuado para perforar en rocas extremadamente duras (como capas de diamante), carga de impacto 10000-12000 N, resistencia a la temperatura 600 ° C, adecuado para minería profunda.
Ventajas: Alta resistencia a la temperatura y al impacto, adecuado para condiciones ultra duras.
Limitaciones: alto costo y difícil procesamiento.

3. Detalle de la aplicación

Las brocas de carburo de grano grueso para minería desempeñan un papel fundamental en diversos campos mineros. Sus aplicaciones varían según las condiciones de la roca y los requisitos operativos. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Minería a cielo abierto

Aplicación: Se utiliza para la extracción de piedra caliza, granito y otras formaciones rocosas de dureza media, con una profundidad de 0 a 200 m y una temperatura de 20 a 300 °C.
Requisitos: resistencia al impacto y al desgaste, resistencia a la presión 10-20 MPa.
Productos típicos: Brocas compuestas de PDC, utilizando grado YG11C, resistencia al desgaste <0,06 mm³ / N · m.
Ventajas: Perforación eficiente y gran durabilidad.

Perforación de pozos profundos en minas subterráneas

Escenario: Se utiliza para perforación profunda en cuarcita y basalto, profundidad 500-2000 m, temperatura 200-500°C.
Requisitos: Alta resistencia al impacto y a la fractura, resistencia a la presión 20-30 MPa.
Productos típicos: Brocas de corte de rodillos, fabricadas en grado YG15C, resistentes a impactos de 8000 N.
Ventajas: alta tenacidad, adaptable a formaciones complejas.

Minería de metales

Aplicación: Se utiliza en capas de mineral de alta dureza, como mineral de hierro y mineral de cobre, con una profundidad de 1000 a 3000 m y una temperatura de 300 a 600 °C.
Requisitos: Resistencia a altas temperaturas y corrosión, resistencia a la presión 30-40 MPa.
Productos típicos: Broca cónica, grado YC40, resistencia a temperaturas de 600°C.
Ventajas: resistente al calor y al desgaste.

Aplicaciones especiales

Minería de metano de yacimientos de carbón: la perforación en vetas alternas de carbón blando y duro requiere resistencia a la deformación.
Prospección profunda: la perforación en capas de diamante requiere una tenacidad ultraalta.
Desafío: Las rocas ultraprofundas (>3000 m) o ultraduras imponen mayores exigencias a los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

materiales.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de brocas de carburo de grano grueso para minería combina la ciencia de los materiales con la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en entornos mineros. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvo: seleccione WC de grano grueso (5-10 μm) y polvo de Co, agregue TaC y TiC para mejorar la tenacidad, muela en molino de bolas durante 24 a 48 horas y obtenga un tamaño de partícula uniforme.

Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras para refinar los límites de grano y mejorar la resistencia al impacto.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o CrN , 5-15 μm , resistente al desgaste.

CVD: Recubrimiento TiAlN , resistente a temperaturas de hasta 600°C.

Pulido: Ra < 0,4 μm , reduce la adhesión abrasiva.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,02 mm, mecanizado de filo.

EDM: geometría compleja, Ra 0,1 μm .

Procesamiento láser: mejora la calidad del filo de corte.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de abrasión: formación rocosa simulada, 1000 horas.

Prueba de impacto: 5000 N, para detectar astillamiento en los bordes.

Prueba de fatiga: 0-20 MPa, $>10^5$ veces.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: <0,05 mm^3 / N·m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Resistencia al impacto: 15-25 MPa·m $^{1/2}$.
Resistencia mecánica: 600°C, >500 MPa.
Vida útil por fatiga: >10^5 veces.
Resistencia al calor: 600°C, degradación del rendimiento <20%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co para mejorar la tenacidad, agregue TaC para resistir el agrietamiento térmico.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa TiN + CrN , 5-15 μm .
Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.
Tratamiento superficial: Ra < 0,4 μm , recubrimiento antidesgaste.
Innovación de procesos: la impresión 3D optimiza la forma de la cuchilla, la IA controla la sinterización.

Las brocas de carburo de grano grueso para minería han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad de la minería gracias a procesos avanzados y un diseño de aplicaciones avanzado. A medida que la tecnología de minería profunda se desarrolla, la optimización del carburo seguirá impulsando su progreso.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita brocas de carburo cementado para minería de grano medio y grueso, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Martillo triturador de carburo de grano medio y grueso

Descripción general

Los martillos trituradores de carburo de grano medio y grueso son herramientas resistentes al desgaste y de alto rendimiento diseñadas para las industrias de la construcción, la minería y la trituración, y se utilizan ampliamente en la trituración de rocas duras, hormigón y minerales. Estos martillos se basan en carburo de grano medio (2-5 μm) o grueso (5-10 μm) (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Al optimizar la fórmula de la aleación y el proceso de fortalecimiento, la resistencia al desgaste, la resistencia al impacto y la resistencia a la fractura se mejoran significativamente. El entorno de trituración implica materiales de alta dureza (dureza Mohs 6-8), altas cargas de impacto (miles a diez mil Newtons) y altas temperaturas (200-500 °C). Los martillos tradicionales de acero o aleación de grano fino son difíciles de soportar el desgaste y la fractura a largo plazo, por lo que el carburo de grano medio y grueso se convierten en opciones ideales. Este artículo discutirá sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación en detalle para demostrar sus ventajas técnicas en las operaciones de trituración.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

Dureza de cristal media HV 1400-1800, dureza de cristal gruesa HV 1200-1600, tamaño de grano 2-5 μm y 5-10 μm respectivamente, tasa de desgaste controlada a 0,04-0,06 $mm^3/N·m$, adecuado para triturar materiales de alta dureza.

Resistencia al impacto

La tenacidad a la fractura de las aleaciones de grano medio es de 12-18 $MPa·m^{1/2}$, y la de las aleaciones de grano grueso es de 15-25 $MPa·m^{1/2}$, que es superior a la de las aleaciones de grano fino y puede soportar altas cargas de impacto (5000-12000 N) sin romperse fácilmente.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 450-550 MPa a 500 °C, tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y puede adaptarse a ciclos de impacto frecuentes.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de trituración de alta temperatura de 200-500°C, resiste el agrietamiento térmico y la oxidación ligera.

Resistencia a la corrosión

Añadiendo molibdeno (Mo) o cromo (Cr), la tasa de corrosión en ambientes de escoria acuosos o ácidos es inferior a 0,02 mm/año.

2. Materiales y calidades

El carburo cementado de grano medio y grueso ha desarrollado una variedad de grados según las diversas necesidades de las cabezas de martillo de trituración. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG8C (Microcristalino)

Composición: WC 92%, Co 8%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características: Dureza HV 1500-1600, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ² , densidad 14,7 g/ cm³ , conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1000 HV, tasa de desgaste <0,05 mm³ /N·m, tamaño de grano 3-5 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para triturar materiales de dureza media (como hormigón, arenisca), carga de impacto 5000-7000 N, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para demolición de edificios y minería pequeña y mediana.

Ventajas: Dureza y tenacidad equilibradas, buena resistencia al desgaste y bajo costo de procesamiento.

Limitaciones: Durabilidad limitada en rocas muy duras o bajo alto impacto.

YG11C (grano grueso)

Composición: WC 89%, Co 11%

Características: Dureza HV 1350-1450, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ², densidad 14,4 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 70 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 900 HV, índice de desgaste <0,06 mm³/N·m, tamaño de grano 6-8 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para triturar capas de roca de dureza media y alta (como granito y piedra caliza), carga de impacto 7000-9000 N, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para minas a cielo abierto y trituradoras grandes.

Ventajas: alta tenacidad, fuerte resistencia al impacto, gran durabilidad y alto rendimiento en relación costo-beneficio.

Limitaciones: La dureza es ligeramente menor y es necesario optimizar el diseño del filo .

YT15C (Microtek)

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 13-15 MPa·m¹ / ² , densidad 11,5 g/ cm³ , conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,04 mm³ /N·m, tamaño de grano 2-4 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para triturar materiales resistentes al calor (como hormigón tratado a alta temperatura), carga de impacto 6000-8000 N, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para el tratamiento de residuos industriales.

Ventajas: alta temperatura y resistencia a la oxidación, alta eficiencia de corte.

Limitaciones: Ligeramente menos resistente, requiere estructura de soporte.

YG15C (grano grueso)

Composición: WC 85%, Co 15%

Características: Dureza HV 1300-1400, tenacidad a la fractura 22-25 MPa·m¹ / ², densidad 14,0 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 850 HV, índice de desgaste <0,05 mm³/N·m, tamaño de grano 7-10 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para triturar capas de roca de alta dureza (como cuarcita y basalto), carga de impacto 9000-11000 N, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para minería profunda y trituración pesada.

Ventajas: tenacidad ultra alta, resistencia a grandes impactos y fracturas, larga vida útil.

Limitación: Baja dureza, se requiere rectificar los bordes periódicamente.

YC40 (grano grueso)

Composición: WC 75%, Co 15%, TaC 5%, TiC 5%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Características: Dureza HV 1250-1350, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 800 HV, índice de desgaste <0,07 mm³/N·m, tamaño de grano 8-10 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para triturar materiales superduros (como mineral de hierro, diabasa), carga de impacto 10000-12000 N, resistencia a la temperatura 550 ° C, adecuado para minería de metales.

Ventajas: Resistencia a altas temperaturas y corrosión, adecuado para áreas mineras complejas.

Limitaciones: Resistencia moderada al desgaste, requiere mejora del recubrimiento.

YC45 (grano grueso)

Composición: WC 70%, Co 15%, TaC 10%, TiC 5%

Características: Dureza HV 1200-1300, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ² , densidad 13,2 g/cm³ , conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 750 HV, índice de desgaste <0,08 mm³ /N·m, tamaño de grano 9-10 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para triturar materiales con dureza extrema (como capa de diamante), carga de impacto 12000-15000 N, resistencia a la temperatura 600 ° C, adecuado para trituración profunda y de alta resistencia.

Ventajas: Tenacidad y resistencia al calor extremadamente altas, adaptable a condiciones ultra duras.

Limitaciones: alto coste y procesamiento complejo.

3. Detalle de la aplicación

Los martillos trituradores de carburo de grano medio y grueso desempeñan un papel fundamental en numerosos campos. Sus aplicaciones varían según las condiciones del material y los requisitos operativos. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Demolición de edificios

Escenario: Trituración de hormigón, paredes de ladrillo, temperatura 20-200°C, carga de impacto 5000-7000 N.

Requisitos: Resistencia al desgaste y al impacto, resistencia a la presión 10-15 MPa.

Productos típicos: cabeza de martillo, utilizando grado YG8C, resistencia al desgaste <0,05 mm³ / N · m.

Ventajas: trituración eficiente, duradera.

Minería a cielo abierto

Aplicación: Trituración de piedra caliza y granito, temperatura 200-400°C, carga de impacto 7000-9000 N.

Requisitos: Alta resistencia al impacto, resistencia a la presión 15-25 MPa.

Productos típicos: Cabeza de martillo de alta resistencia, fabricada en grado YG11C, resistencia al impacto 9000 N.

Ventajas: alta tenacidad y larga vida útil.

Trituración de minerales metálicos

Escenario: Trituración de mineral de hierro y mineral de cobre, temperatura 300-500 °C, carga de impacto 10000-12000 N.

Requisitos: Resistencia a altas temperaturas y corrosión, resistencia a la presión 20-30 MPa.

Productos típicos: Cabeza de martillo resistente al calor, con grado YC40, resistencia a temperaturas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de hasta 550 °C.

Ventajas: resistente al calor y al desgaste.

Aplicaciones especiales

Tratamiento de residuos: La trituración de residuos industriales requiere resistencia a múltiples desgastes.

Trituración profunda: el procesamiento de capas de diamante requiere una tenacidad ultra alta.

Desafío: Los impactos extremadamente altos (>15 000 N) o las temperaturas altas (>600 °C) imponen mayores exigencias al material.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de martillos trituradores de carburo de grano medio y grueso combina la ciencia de los materiales con la tecnología de procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos de trituración. A continuación, se detallan los flujos de proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvo: utilice WC de grano medio o grueso (2-10 μm) y polvo de Co, agregue TaC y TiC para mejorar la tenacidad, muela en molino de bolas durante 24 a 48 horas y obtenga un tamaño de partícula uniforme.

Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o CrN , 5-15 μm , resistente al desgaste.

CVD: Recubrimiento TiAlN , resistente a temperaturas de hasta 600°C.

Pulido: Ra < 0,4 μm , reduce la adhesión abrasiva.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,02 mm, superficie de trabajo de mecanizado.

EDM: geometría compleja, Ra 0,1 μm .

Procesamiento láser: mejora la calidad del filo de corte.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de abrasión: roca simulada, 1000 horas.

Prueba de impacto: 10000 N, para detectar astillamiento en los bordes.

Prueba de fatiga: 0-20 MPa, >10 ^{5} veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,04-0,06 mm^3 / N·m.

Resistencia al impacto: 12-25 $MPa \cdot m^{1/2}$.

Resistencia mecánica: 500°C, >450-550 MPa.

Vida útil por fatiga: $>10^5$ veces.

Resistencia al calor: 500°C, degradación del rendimiento <20%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co y agregue TaC / TiC para mejorar la tenacidad y la resistencia al calor.

Tecnología de recubrimiento: Multicapa TiN + CrN , 5-15 μm .

Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.

Tratamiento superficial: Ra < 0,4 μm , recubrimiento antidesgaste.

Innovación de procesos: la impresión 3D optimiza la forma, la IA controla la sinterización.

Las cabezas de martillo de trituración de carburo de grano medio y grueso han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad de la trituración gracias a su tecnología avanzada y su diseño de aplicación. A medida que aumenta la demanda de trituración de alta resistencia, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita martillos trituradores de carburo cementado de grano medio y grueso, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Herramientas de tunelaje de carburo cementado de grano medio y grueso

Descripción general

Las herramientas de excavación de carburo cementado de grano medio y grueso son herramientas de alto rendimiento diseñadas para proyectos de construcción de túneles, minería y excavación de rocas. Se utilizan ampliamente en la excavación de túneles de roca dura, excavación de túneles de minas de carbón y excavación de estratos complejos. Estas herramientas se basan en carburo cementado de grano medio (2-5 μm) o grano grueso (5-10 μm) (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Al optimizar la fórmula de la aleación y el proceso de fortalecimiento, la resistencia al desgaste, la resistencia al impacto y la resistencia a la fractura se mejoran significativamente. El entorno de excavación implica formaciones rocosas de alta dureza (dureza Mohs 6-9), altas cargas de impacto (5000-15000 N) y altas temperaturas (200-600 °C). Las herramientas tradicionales de acero o aleación de grano fino son difíciles de soportar el desgaste y la fractura a largo plazo, por lo que el carburo cementado de grano medio y grueso se convierte en una opción ideal. Este artículo discutirá sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación en detalle para demostrar sus ventajas técnicas en operaciones de excavación.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

La dureza de grano medio es HV 1400-1800, la dureza de grano grueso es HV 1200-1600, los tamaños de grano son de 2-5 μm y 5-10 μm respectivamente, y la tasa de desgaste se controla a 0,04-0,06 mm^3 / N · m, lo que es adecuado para excavación en formaciones rocosas de alta dureza.

Resistencia al impacto

La tenacidad a la fractura de las aleaciones de grano medio es de 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$, y la de las aleaciones de grano grueso es de 15-25 $MPa \cdot m^{1/2}$, que es superior a la de las aleaciones de grano fino y puede soportar altas cargas de impacto (5000-15000 N) sin romperse fácilmente.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 450-550 MPa a 500 °C y tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a la vibración, adaptándose a las cargas dinámicas durante la excavación.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de tunelaje de alta temperatura de 200-600 °C, resiste el agrietamiento térmico y la oxidación ligera.

Resistencia a la corrosión

Añadiendo molibdeno (Mo) o cromo (Cr), la tasa de corrosión en ambientes de escoria acuosos o ácidos es inferior a 0,02 mm/año.

2. Materiales y calidades

El carburo cementado de grano medio y grueso ha desarrollado una variedad de calidades según las diversas necesidades de las herramientas de tunelaje. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG8C (Microcristalino)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1500-1600, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ² , densidad 14,7 g/ cm³ , conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1000 HV, tasa de desgaste <0,05 mm³ /N·m, tamaño de grano 3-5 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para excavación de formaciones rocosas de dureza media (como arenisca y pizarra), carga de impacto 5000-7000 N, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para proyectos de túneles pequeños y medianos.

Ventajas: Dureza y tenacidad equilibradas, buena resistencia al desgaste y bajo costo de procesamiento.

Limitaciones: Durabilidad limitada en rocas muy duras o bajo alto impacto.

YG11C (grano grueso)

Composición: WC 89%, Co 11%

Características: Dureza HV 1350-1450, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ², densidad 14,4 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 70 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 900 HV, índice de desgaste <0,06 mm³/N·m, tamaño de grano 6-8 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para excavación de formaciones rocosas de dureza media a alta (como granito y piedra caliza), carga de impacto 7000-9000 N, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para túneles de minas a cielo abierto y túneles grandes.

Ventajas: alta tenacidad, fuerte resistencia al impacto, gran durabilidad y alto rendimiento en relación costo-beneficio.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar el diseño del filo.

YT15C (Microtek)

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 13-15 MPa·m¹ / ² , densidad 11,5 g/ cm³ , conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,04 mm³ /N·m, tamaño de grano 2-4 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para la excavación de formaciones rocosas resistentes al calor (como rocas volcánicas y rocas metamórficas), carga de impacto 6000-8000 N, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para condiciones geológicas de alta temperatura.

Ventajas: alta temperatura y resistencia a la oxidación, alta eficiencia de corte.

Limitaciones: Ligeramente menos resistente, requiere estructura de soporte.

YG15C (grano grueso)

Composición: WC 85%, Co 15%

Características: Dureza HV 1300-1400, tenacidad a la fractura 22-25 MPa·m¹ / ², densidad 14,0 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 850 HV, índice de desgaste <0,05 mm³/N·m, tamaño de grano 7-10 μm .

Escenarios aplicables: Adecuado para la excavación de formaciones rocosas de alta dureza (como cuarcita y basalto), carga de impacto 9000-11000 N, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para minas profundas y túneles de roca dura.

Ventajas: tenacidad ultra alta, resistencia a grandes impactos y fracturas, larga vida útil.

Limitación: Baja dureza, se requiere rectificar los bordes periódicamente.

YC40 (grano grueso)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Composición: WC 75%, Co 15%, TaC 5%, TiC 5%
Características: Dureza HV 1250-1350, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 800 HV, índice de desgaste <0,07 mm³/N·m, tamaño de grano 8-10 μm .
Escenarios aplicables: Adecuado para la excavación de formaciones rocosas ultraduras (como mineral de hierro y diabasa), carga de impacto 10000-12000 N, resistencia a la temperatura 550 ° C, adecuado para la excavación profunda de minas de metal.
Ventajas: Resistencia a altas temperaturas y corrosión, adecuado para geología compleja.
Limitaciones: Resistencia moderada al desgaste, requiere mejora del recubrimiento.

YC45 (grano grueso)

Composición: WC 70%, Co 15%, TaC 10%, TiC 5%
Características: Dureza HV 1200-1300, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ² , densidad 13,2 g/cm³ , conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 750 HV, índice de desgaste <0,08 mm³ /N·m, tamaño de grano 9-10 μm .
Escenarios aplicables: Adecuado para excavación de capas de roca extremadamente dura (como capas de diamante), carga de impacto 12000-15000 N, resistencia a la temperatura 600 ° C, adecuado para excavación profunda y de alta intensidad.
Ventajas: Tenacidad y resistencia al calor extremadamente altas, adaptable a condiciones ultra duras.
Limitaciones: alto coste y procesamiento complejo.

3. Detalle de la aplicación

Las herramientas de tunelaje de carburo cementado de grano medio y grueso desempeñan un papel fundamental en numerosos campos. Sus aplicaciones varían según las condiciones geológicas y los requisitos operativos. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Construcción de túneles

Escenario: Excavación en arenisca y pizarra, profundidad 0-500 m, temperatura 20-300°C, carga de impacto 5000-7000 N.
Requisitos: Resistencia al desgaste y al impacto, resistencia a la presión 10-20 MPa.
Productos típicos: Herramientas de corte, utilizando grado YG8C, resistencia al desgaste <0,05 mm³ / N · m.
Ventajas: excavación eficiente, duradera.

Túneles en minas de carbón

Escenario: Excavación en vetas de carbón con ganga, profundidad 500-1500 m, temperatura 200-400°C, carga de impacto 7000-9000 N.
Requisitos: Alta resistencia al impacto, resistencia a la presión 15-25 MPa.
Productos típicos: cabezal tunelador, de grado YG11C, resistencia al impacto 9000N.
Ventajas: alta tenacidad, adaptable a formaciones complejas.

Minería profunda de minas de metales

Escenario: Excavación de mineral de hierro y mineral de cobre, profundidad 1500-3000 m,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

temperatura 300-500°C, carga de impacto 10000-12000 N.
Requisitos: Resistencia a altas temperaturas y corrosión, resistencia a la presión 20-30 MPa.
Productos típicos: Herramientas de corte de roca dura, utilizando grado YC40, resistencia a temperaturas de hasta 550°C.
Ventajas: resistente al calor y al desgaste.

Aplicaciones especiales
Prospección profunda: la excavación en capas de diamantes requiere una tenacidad altísima.
Estratos complejos: se trata de estratos alternados de roca blanda y dura que requieren resistencia a la deformación.
Desafío: Las rocas ultraprofundas (>3000 m) o ultraduras imponen mayores exigencias a los materiales.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.
El proceso de fabricación de herramientas de tunelaje de carburo de grano medio y grueso combina la ciencia de los materiales con la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en entornos de tunelaje. A continuación, se detallan los flujos de proceso y los aspectos técnicos más destacados:

Preparación de materia prima
Mezcla de polvo: utilice WC de grano medio o grueso (2-10 μm) y polvo de Co, agregue TaC y TiC para mejorar la tenacidad, muela en molino de bolas durante 24 a 48 horas y obtenga un tamaño de partícula uniforme.
Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo
Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.
Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.
Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización
Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.
Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.
Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies
Detección por pulverización (PVD): Recubrimiento de TiN o CrN , 5-15 μm , resistente al desgaste.
CVD: Recubrimiento TiAlN , resistente a temperaturas de hasta 600°C.
Pulido: Ra < 0,4 μm , reduce la adhesión abrasiva.

Mecanizado de precisión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Mecanizado CNC: precisión ±0,02 mm, mecanizado de filo.
EDM: geometría compleja, Ra 0,1 μm .
Procesamiento láser: mejora la calidad del filo de corte.

Inspección de calidad
Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.
Prueba de abrasión: roca simulada, 1000 horas.
Prueba de resistencia al impacto: 10000 N, para detectar astillamiento en los bordes.
Prueba de fatiga: 0-20 MPa, >10^5 veces.

5. Indicadores de desempeño
Resistencia al desgaste: 0,04-0,06 mm^3 / N·m.
Resistencia al impacto: 12-25 MPa·$m^{1/2}$.
Resistencia mecánica: 500°C, >450-550 MPa.
Vida útil por fatiga: >10^5 veces.
Resistencia al calor: 500°C, degradación del rendimiento <20%.

Las herramientas de excavación de carburo cementado de grano medio y grueso han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad de la excavación gracias a procesos y diseños de aplicación avanzados. Ante la creciente demanda de excavaciones profundas y el complejo desarrollo geológico, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita herramientas de tunelaje de carburo cementado de grano medio y grueso, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:
Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Herramienta compuesta de grano de doble pico de carburo

Descripción general

Las herramientas compuestas de carburo de grano bimodal son herramientas altamente eficientes diseñadas para corte de precisión, procesamiento de metales y procesamiento de alto rendimiento. Se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial, la fabricación de automóviles y el procesamiento de moldes. Estas herramientas se basan en carburo cementado de grano bimodal (una combinación de partículas de grano fino de 0,5-2 μm y grano grueso de 5-10 μm , compuestas principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Al optimizar la distribución del grano y el proceso compuesto, se mejoran significativamente la resistencia al desgaste, la resistencia al impacto y la tenacidad a la fractura. El entorno de procesamiento implica materiales de alta dureza (como aleaciones de titanio y acero endurecido), altas velocidades de corte (100-300 m/min) y cargas intermitentes. El carburo cementado tradicional de grano único presenta dificultades para equilibrar la resistencia al desgaste y la tenacidad, por lo que las herramientas compuestas de grano bimodal se convierten en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en el procesamiento moderno.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

Los granos finos proporcionan una dureza HV 1800-2000, los granos gruesos mejoran la resistencia general al desgaste y la tasa de desgaste se controla a 0,02-0,04 mm^3 / N · m, lo que es adecuado para cortes de alta precisión y alta velocidad.

Resistencia al impacto y tenacidad

La estructura de grano bimodal imparte una tenacidad a la fractura de 15-22 $MPa \cdot m^{1/2}$, que es superior a las aleaciones de grano único y puede soportar cargas intermitentes (5000-10000 N) sin astillarse.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 600 MPa a 600 °C, tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a la vibración y es adecuado para condiciones de corte complejas.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de alta temperatura de corte de 200 a 800 °C, resiste el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

Al añadir molibdeno (Mo) o cromo (Cr), la tasa de corrosión en entornos que contienen refrigerante o ligeramente ácidos es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Las herramientas compuestas de carburo cementado con grano de doble punta han desarrollado una variedad de calidades según los requisitos de procesamiento. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

YG10X-DP

Composición: WC 90%, Co 10% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 6-8 μm)

Características: Dureza HV 1850-1950, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 14,4 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para cortar acero de dureza media (como acero 45#, AISI 1045), velocidad de corte 150-250 m/min, carga de impacto 5000-7000 N, resistencia a la temperatura 500°C, adecuado para torneado general.

tienen en cuenta tanto la resistencia al desgaste como la tenacidad , la alta eficiencia de procesamiento y el costo moderado.

Limitaciones: Ligeramente menos duradero en materiales ultraduros.

YT15-DP

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6% (grano fino 0,5-1 μm + grano grueso 7-9 μm)

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 15-18 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,02 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para cortar acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor (como Inconel 718), velocidad de corte 100-200 m/min, carga de impacto 6000-8000 N, resistencia a la temperatura 600°C, adecuado para el procesamiento de piezas de aviación.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de corte.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar la refrigeración.

YW1-DP

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 5-7 μm)

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1150 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para cortar acero endurecido (como HRC 50-60) y aleación de titanio, velocidad de corte 120-180 m/min, carga de impacto 8000-10000 N, resistencia a la temperatura 700°C, adecuado para el procesamiento de moldes.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y al desgaste, adecuado para materiales de alta dureza.

Limitaciones: Alto costo, requiere rectificado de precisión.

YC30-DP

Composición: WC 70%, TiC 20%, Co 10% (grano fino 0,5-1,5 μm + grano grueso 8-10 μm)

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 11,2 g/cm³, conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,04 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para cortar hierro fundido de alta dureza y carburo cementado, velocidad de corte 100-150 m/min, carga de impacto 7000-9000 N, resistencia a la temperatura 600°C, adecuado para cortes pesados.

Ventajas: resistente al calor y al impacto, adecuado para corte intermitente.

Limitaciones: Resistencia moderada al desgaste, requiere soporte de recubrimiento.

YG20-DP

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Composición: WC 80%, Co 20% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 6-8 μm)
Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 22-25 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,035 mm³/N·m.
Escenarios aplicables: Adecuado para cortar aleaciones de aluminio y acero dulce, velocidad de corte 200-300 m/min, carga de impacto 6000-8000 N, resistencia a la temperatura 500 °C, adecuado para mecanizado de alta velocidad.
Ventajas: Ultra alta tenacidad, resistencia a grandes deformaciones, adecuado para cargas ligeras y altas velocidades.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Las herramientas compuestas de carburo con grano de doble punta desempeñan un papel fundamental en diversos campos de procesamiento. Sus aplicaciones varían según las condiciones del material y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Procesamiento aeroespacial

Escenario: Corte de aleación de titanio e Inconel 718, velocidad de corte 100-200 m/min, temperatura 400-600°C.
Requisitos: Resistencia a altas temperaturas y resistencia a la adhesión, resistencia a la presión 10-20 MPa.
Productos típicos: Herramientas de torneado y fresas, utilizando calidad YT15-DP, resistencia al desgaste <0,02 mm³ / N·m.
Ventajas: Alta estabilidad, reducción del astillado en los bordes.

Automotor

Escenario: Corte de acero 45# y hierro fundido, velocidad de corte 150-250 m/min, temperatura 200-400°C.
Requisitos: resistencia al desgaste y al impacto, resistencia a la presión 15-25 MPa.
Productos típicos: Herramientas de torneado, utilizando calidad YG10X-DP, resistencia al impacto 7000 N.
Ventajas: corte eficiente y larga vida útil.

Procesamiento de moldes

Escenario: Corte de acero endurecido (HRC 50-60), velocidad de corte 120-180 m/min, temperatura 300-700°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas y dureza, resistencia a la presión 20-30 MPa.
Productos típicos: Fresas y brocas, de grado YW1-DP, resistentes a temperaturas de hasta 700°C.
Ventajas: resistencia al agrietamiento térmico, alta precisión.

Aplicaciones especiales

Mecanizado de precisión: el corte de materiales revestidos de alta dureza requiere una resistencia al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

desgaste ultra alta.

Corte intermitente: procesamiento de piezas de trabajo intermitentes, que requiere resistencia al impacto.

Desafío: Las temperaturas ultra altas (>800 °C) o los materiales ultraduros imponen mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de herramientas compuestas de carburo cementado con grano de doble punta combina la ciencia de los materiales y la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en entornos de corte. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvo: seleccione WC de grano fino (0,5-2 μm) y WC de grano grueso (5-10 μm), polvo de Co, agregue TaC y TiC para optimizar el rendimiento, muela en molino de bolas durante 24 a 48 horas y clasifique el tamaño de partícula de manera uniforme.

Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se utilizan nanoaditivos para controlar la distribución bimodal.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, para eliminar impurezas y controlar el crecimiento del grano.

Sinterización en fase líquida: el Co se funde para formar una estructura bimodal, optimizando la tenacidad y la dureza.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o AlTiN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 800° C.

Pulido: Ra < 0,2 μm , reduciendo la adherencia de la viruta.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de filo.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la precisión del filo de corte.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de desgaste: corte simulado, 1000 minutos.

Prueba de impacto: 8000 N, para detectar astillamiento.

Prueba de fatiga: 0-15 MPa, $>10^5$ veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,02-0,04 mm^3 / N·m.

Resistencia al impacto: 15-22 $MPa \cdot m^{1/2}$.

Resistencia mecánica: 600°C, >600 MPa.

Vida útil por fatiga: $>10^5$ veces.

Resistencia al calor: 800°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: optimice la relación de grano fino-grueso y agregue TaC / TiC para mejorar el rendimiento.

Tecnología de recubrimiento: Multicapa AlTiN + TiCN , 2-10 μm .

Tratamiento térmico: tratamiento de solución + envejecimiento, control de distribución de grano.

Tratamiento de superficie: Ra < 0,2 μm , nanorrecubrimiento.

Innovación de procesos: Impresión 3D de formas de cuchillas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

Las herramientas compuestas de carburo con grano de doble pico han mejorado significativamente la eficiencia de corte y la durabilidad gracias a procesos avanzados y un diseño de aplicaciones avanzado. A medida que aumenta la demanda de procesamiento de alto rendimiento, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción, química, militar y otros . Si necesita herramientas compuestas de carburo cementado con grano de doble punta, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Matriz resistente al desgaste de grano de doble pico de aleación dura

Descripción general

Los moldes de carburo de grano doble resistente al desgaste son moldes de alto rendimiento diseñados para procesos de estampado, embutición y conformado de alta precisión. Se utilizan ampliamente en piezas de automoción, componentes electrónicos y fabricación de precisión. Estos moldes se basan en carburo de grano doble (una combinación de partículas de grano fino de 0,5-2 μm y grano grueso de 5-10 μm , compuestas principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co) y mejoran significativamente la resistencia al desgaste, al impacto y a la fatiga al optimizar la distribución del grano y los procesos de compuestos. El entorno de procesamiento del molde implica materiales de alta dureza (como acero inoxidable y acero de tungsteno), alta presión (50-200 MPa) y alta temperatura (200-700 °C). El carburo cementado tradicional de grano único presenta dificultades para equilibrar la resistencia al desgaste y la tenacidad, por lo que los moldes de carburo de grano doble resistente al desgaste se convierten en la opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en el proceso de conformado.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

Los granos finos proporcionan una dureza HV 1800-2000, los granos gruesos mejoran la resistencia general al desgaste y la tasa de desgaste se controla a 0,01-0,03 mm^3 / N · m, lo que es adecuado para el moldeo de alta precisión y el uso a largo plazo.

Resistencia al impacto y tenacidad

La estructura de grano bimodal imparte una tenacidad a la fractura de 15-22 $MPa \cdot m^{1/2}$ y es capaz de soportar altas presiones (50-200 MPa) y cargas de impacto (5000-10000 N) sin agrietarse.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 600 MPa a 600 °C, y tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a las cargas cíclicas, y es adecuado para estampado o estiramiento repetido.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de moldeo de alta temperatura de 200 a 700 °C, resistiendo el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

Al añadir molibdeno (Mo) o cromo (Cr), la tasa de corrosión en entornos que contienen refrigerante o ligeramente ácidos es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Los moldes resistentes al desgaste de carburo cementado con grano de doble pico se han desarrollado en diversos grados según los requisitos de procesamiento. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG10X-DP

Composición: WC 90%, Co 10% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 6-8 μm)

Características: Dureza HV 1850-1950, tenacidad a la fractura 18-20 $MPa \cdot m^{1/2}$, densidad 14,4 g/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,02 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales de dureza media (como placas de acero laminadas en frío, aleaciones de aluminio), presión 50-100 MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para la formación de paneles de automóviles.

Ventajas: resistencia al desgaste y tenacidad, alta precisión de procesamiento y costo moderado.

Limitaciones: Menos duradero a presiones muy altas.

YT15-DP

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6% (grano fino 0,5-1 μm + grano grueso 7-9 μm)

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 15-18 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,015 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estirar acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor (como Inconel 718), presión 100-150 MPa, resistencia a la temperatura 600 ° C, adecuado para estampar componentes electrónicos.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de moldeo.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar la refrigeración.

YW1-DP

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 5-7 μm)

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1150 HV, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para formar acero endurecido (como HRC 50-60) y acero de tungsteno, presión 150-200 MPa, resistencia a la temperatura 700 ° C, adecuado para la fabricación de moldes de precisión.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y al desgaste, adecuado para materiales de alta dureza.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YC30-DP

Composición: WC 70%, TiC 20%, Co 10% (grano fino 0,5-1,5 μm + grano grueso 8-10 μm)

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 11,2 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para formar hierro fundido de alta dureza y carburo cementado, presión 100-150 MPa, resistencia a la temperatura 600 ° C, adecuado para estampación pesada.

Ventajas: Resistente al calor y al impacto, adecuado para moldeo a alta presión.

Limitaciones: Resistencia moderada al desgaste, requiere soporte de recubrimiento.

YG20-DP

Composición: WC 80%, Co 20% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 6-8 μm)

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 22-25 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para formar aleaciones de aluminio y acero dulce, presión 50-100

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para cargas ligeras y estampado de alta precisión.
Ventajas: Ultra alta tenacidad, resistencia a grandes deformaciones, adecuado para formas complejas.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Los moldes de carburo resistentes al desgaste con grano de doble pico desempeñan un papel fundamental en diversos campos de procesamiento. Sus aplicaciones varían según las condiciones del material y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Fabricación de piezas de automoción

Escenario: estampación de placas de acero laminadas en frío y aleaciones de aluminio, presión 50-100 MPa, temperatura 200-400°C.
Requisitos: resistencia al desgaste y al impacto, fuerte durabilidad.
Productos típicos: matrices de estampación, utilizando grado YG10X-DP, resistencia al desgaste <0,02 mm^3 / N · m.
Ventajas: alta precisión y larga vida útil.

Procesamiento de componentes electrónicos

Aplicación: Estiramiento de acero inoxidable y aleaciones de cobre a presiones de 100-150 MPa y temperaturas de 300-500°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas y adherencia, resistencia a la presión estable.
Productos típicos: Matrices de estiramiento, utilizando grado YT15-DP, resistencia a temperatura 600°C.
Ventajas: Alta precisión de moldeo y reducida adherencia.

Fabricación de moldes de precisión

Aplicación: Conformación de acero endurecido y acero de tungsteno, presión 150-200 MPa, temperatura 400-700°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas, dureza y resistencia a la fatiga.
Productos típicos: matriz de punzonado de precisión, utilizando grado YW1-DP, resistencia a la presión 200 MPa.
Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Moldeo complejo: Procesamiento de piezas con múltiples curvas que necesitan resistir la deformación.
Estampado de alta presión: La formación de materiales de alta resistencia requiere una tenacidad ultra alta.
Desafío: Las temperaturas ultra altas (>700 °C) o las presiones ultra altas (>200 MPa) imponen mayores exigencias al rendimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de moldes resistentes al desgaste de grano doble de carburo cementado combina la ciencia de los materiales y la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en el entorno de moldeo. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvo: seleccione WC de grano fino (0,5-2 μm) y WC de grano grueso (5-10 μm), polvo de Co, agregue TaC y TiC para optimizar el rendimiento, muela en molino de bolas durante 24 a 48 horas y clasifique el tamaño de partícula de manera uniforme.

Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se utilizan nanoaditivos para controlar la distribución bimodal.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, para eliminar impurezas y controlar el crecimiento del grano.

Sinterización en fase líquida: el Co se funde para formar una estructura bimodal, optimizando la tenacidad y la dureza.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o AlTiN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 800° C.

Pulido: Ra < 0,1 μm , para reducir la adherencia de la pieza.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de superficie de conformado.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la precisión de la superficie.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de desgaste: simulación de estampado, 1000 veces.

Prueba de presión: 200 MPa, para detectar deformación.

Prueba de fatiga: 0-100 MPa, $>10^5$ veces.

5. Indicadores de desempeño

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Resistencia al desgaste: 0,01-0,03 mm^3 / N·m.
Resistencia al impacto: 15-22 $MPa \cdot m^{1/2}$.
Resistencia mecánica: 600°C, >600 MPa.
Vida útil por fatiga: $>10^5$ veces.
Resistencia al calor: 700°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: optimice la relación de grano fino-grueso y agregue TaC / TiC para mejorar el rendimiento.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa AlTiN + TiCN , 2-10 μm .
Tratamiento térmico: tratamiento de solución + envejecimiento, control de distribución de grano.
Tratamiento de superficie: Ra < 0,1 μm , nanorrecubrimiento.
Innovación de procesos: impresión 3D de formas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

El molde de carburo resistente al desgaste con grano de doble pico ha mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad del moldeo gracias a su tecnología avanzada y un diseño de aplicación avanzado. Con la creciente demanda de moldeo de alta precisión y complejidad, la optimización del carburo seguirá impulsando su progreso tecnológico.

Con 30 años de experiencia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita moldes de carburo cementado resistentes al desgaste con grano de doble pico, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Herramientas de perforación petrolera de carburo cementado de grano doble de pico

Descripción general

Las herramientas de perforación petrolera de grano bimodal de carburo son brocas de alto rendimiento diseñadas para la exploración y el desarrollo de petróleo y gas. Se utilizan ampliamente en la perforación de pozos profundos, pozos ultraprofundos y formaciones complejas (como rocas duras y capas arenosas). Estas herramientas de perforación se basan en carburo cementado de grano bimodal (que combina partículas de grano fino de 0,5-2 μm y grano grueso de 5-10 μm , compuestas principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Al optimizar la distribución del grano y el proceso compuesto, la resistencia al desgaste, la resistencia al impacto y la resistencia a la fractura se mejoran significativamente. El entorno de perforación involucra formaciones rocosas de alta dureza (dureza Mohs 6-9), alta presión (20-50 MPa), alta temperatura (200-500 °C) y medios corrosivos (como H_2S , CO_2) . Las herramientas de perforación tradicionales de un solo grano son difíciles de equilibrar la resistencia al desgaste y la tenacidad, por lo que las herramientas de perforación petrolera de grano bimodal se convierten en una opción ideal. Este artículo discutirá sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación en detalle para demostrar sus ventajas técnicas en la perforación petrolera.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

Los granos finos proporcionan una dureza HV 1800-2000, los granos gruesos mejoran la resistencia general al desgaste y la tasa de desgaste se controla a 0,02-0,04 mm^3 / N · m, lo que es adecuado para perforar formaciones rocosas de alta dureza.

Resistencia al impacto y tenacidad

La estructura de grano bimodal imparte una tenacidad a la fractura de 15-22 $MPa \cdot m^{1/2}$ y es capaz de soportar altas cargas de impacto (5000-12000 N) y vibraciones sin romperse.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 600 MPa a 500 °C, y tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a las cargas cíclicas, y es adecuado para condiciones de trabajo complejas en pozos profundos.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de perforación de alta temperatura de 200 a 500 °C, resistiendo el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

Al añadir molibdeno (Mo) o cromo (Cr), la tasa de corrosión en entornos corrosivos que contienen H_2S o CO_2 es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Las herramientas de perforación petrolera de carburo cementado con grano de doble punta han desarrollado una variedad de grados según las necesidades de perforación. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

YG10X-DP

Composición: WC 90%, Co 10% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 6-8 μm)

Características: Dureza HV 1850-1950, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 14,4 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar formaciones rocosas de dureza media (como arenisca y marga), profundidad de perforación de 1000-3000 m, presión de 20-30 MPa, resistencia a la temperatura de 400 °C, adecuado para campos de petróleo y gas convencionales.

Ventajas: Combina resistencia al desgaste y tenacidad, tiene una velocidad de perforación estable y un costo moderado.

Limitaciones: Menos duradero en rocas muy duras o a altas temperaturas.

YT15-DP

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6% (grano fino 0,5-1 μm + grano grueso 7-9 μm)

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 15-18 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,02 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar formaciones rocosas resistentes al calor (como rocas volcánicas y rocas metamórficas), profundidad de perforación 3000-5000 m, presión 30-40 MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para yacimientos de petróleo de alta temperatura.

Ventajas: Alta temperatura y antiadherencia, larga vida útil de la broca.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar la refrigeración.

YW1-DP

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 5-7 μm)

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 20-22 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1150 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar formaciones rocosas endurecidas (como cuarcita y diabasa), profundidad de perforación 5000-8000 m, presión 40-50 MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para pozos ultraprofundos.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y al desgaste, adecuado para formaciones complejas.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YC30-DP

Composición: WC 70%, TiC 20%, Co 10% (grano fino 0,5-1,5 μm + grano grueso 8-10 μm)

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 11,2 g/cm³, conductividad térmica aprox. 55 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,04 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para perforar capas de hierro fundido de alta dureza y que contienen arena, profundidad de perforación 2000-4000 m, presión 25-35 MPa, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para campos petrolíferos de arenisca.

Ventajas: resistente al calor y al impacto, adecuado para perforación intermitente.

Limitaciones: Resistencia moderada al desgaste, requiere soporte de recubrimiento.

YG20-DP

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Composición: WC 80%, Co 20% (grano fino 1-2 μm + grano grueso 6-8 μm)
Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 22-25 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (500 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,035 mm³/N·m.
Escenarios aplicables: Adecuado para perforar estratos alternados blandos y duros (como vetas de carbón con ganga), profundidad de perforación de 1000 a 3000 m, presión de 20 a 30 MPa, resistencia a la temperatura de 400 °C, adecuado para el desarrollo de metano en capas de carbón.
Ventajas: Dureza ultra alta, resistencia a grandes deformaciones, adecuado para condiciones de trabajo complejas.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Las herramientas de perforación petrolera de grano bimodal de carburo cementado desempeñan un papel fundamental en diversos campos de perforación. Sus aplicaciones varían según las condiciones geológicas y los requisitos operativos. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Perforación convencional de yacimientos de petróleo y gas

Escenario: Perforación de arenisca y marga, profundidad 1000-3000 m, temperatura 200-400°C, presión 20-30 MPa.
Requisitos: resistencia al desgaste y al impacto, velocidad de perforación estable.
Productos típicos: Brocas PDC, grado YG10X-DP, resistencia al desgaste <0,03 mm³/N·m.
Ventajas: perforación eficiente y larga vida útil.

Perforación de yacimientos a alta temperatura

Escenario: Perforación de rocas volcánicas y metamórficas, profundidad 3000-5000 m, temperatura 400-500°C, presión 30-40 MPa.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas y adherencia, resistencia a la presión estable.
Productos típicos: Broca compuesta, grado YT15-DP, resistencia a temperaturas de 500°C.
Ventajas: Estabilidad a altas temperaturas, desgaste reducido.

Perforación de pozos ultraprofundos

Escenario: Perforación de cuarcita y diabasa, profundidad 5000-8000 m, temperatura 400-500°C, presión 40-50 MPa.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas, dureza y resistencia a la fatiga.
Productos típicos: Brocas de corte de rodillos, de grado YW1-DP, con una resistencia a la presión de 50 MPa.
Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Perforación de azufre: manejo de formaciones de H_2S que requieren resistencia a la corrosión.
Formaciones complejas: La perforación en capas alternas blandas y duras requiere resistencia a la deformación.
Desafío: Las profundidades ultraaltas (>8000 m) o las temperaturas ultraaltas (>500 °C) imponen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de herramientas de perforación petrolera de carburo cementado con grano de doble pico combina la ciencia de los materiales y la tecnología de procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos de perforación. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvo: seleccione WC de grano fino (0,5-2 μm) y WC de grano grueso (5-10 μm), polvo de Co, agregue TaC y TiC para optimizar el rendimiento, muela en molino de bolas durante 24 a 48 horas y clasifique el tamaño de partícula de manera uniforme.

Optimización aditiva: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se utilizan nanoaditivos para controlar la distribución bimodal.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, para eliminar impurezas y controlar el crecimiento del grano.

Sinterización en fase líquida: el Co se funde para formar una estructura bimodal, optimizando la tenacidad y la dureza.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o AlTiN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 600° C.

Pulido: Ra < 0,2 μm , para reducir la adherencia de lascas de roca.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de superficie de corte.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la precisión del filo de corte.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de desgaste: simulación de perforación, 1000 horas.

Prueba de resistencia al impacto: 10000 N, para detectar astillamiento en los bordes.

Prueba de presión: 50 MPa, para detectar deformación.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,02-0,04 mm^3 / N·m.

Resistencia al impacto: 15-22 $MPa \cdot m^{1/2}$.

Resistencia mecánica: 500°C, >600 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Vida útil por fatiga: >10 ^{5} veces.
Resistencia al calor: 500°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: optimice la relación de grano fino-grueso y agregue TaC / TiC para mejorar el rendimiento.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa AlTiN + TiCN , 2-10 μm .
Tratamiento térmico: tratamiento de solución + envejecimiento, control de distribución de grano.
Tratamiento superficial: Ra < 0,2 μm , recubrimiento anticorrosión.
Innovación de procesos: Impresión 3D de formas de cuchillas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

Las herramientas de perforación petrolera de grano bimodal de carburo cementado han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad de la perforación gracias a su tecnología avanzada y un diseño de aplicación avanzado. Ante la creciente demanda de pozos ultraprofundos y el desarrollo de formaciones complejas, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción, química, militar y otros . Si necesita herramientas de perforación petrolera de carburo cementado de grano doble, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste

Descripción general

Las matrices de estampación de carburo cementado resistentes al desgaste son matrices de alto rendimiento diseñadas para el procesamiento de estampación de alta resistencia. Se utilizan ampliamente en la fabricación de automóviles, la producción de componentes electrónicos y el procesamiento de chapa metálica. Estas matrices se basan en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co) y mejoran significativamente la resistencia al desgaste, al impacto y a la fatiga mediante la optimización de la fórmula de la aleación y el proceso de refuerzo superficial. El entorno de estampación implica materiales de alta dureza (como acero inoxidable y acero laminado en frío), alta presión (50-200 MPa) y cargas repetidas (más de un millón de veces). Las matrices de acero tradicionales presentan dificultades para cumplir con los requisitos debido al desgaste y al agrietamiento, por lo que el carburo cementado resistente al desgaste se convierte en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en el procesamiento de estampación.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1600-2000 y la tasa de desgaste se controla a 0,01-0,03 $mm^3/N·m$. Es adecuado para estampado de alta precisión y alta frecuencia, y prolonga significativamente la vida útil del molde.

Resistencia al impacto y tenacidad

La tenacidad a la fractura es de 12-18 $MPa·m^{1/2}$ y no es fácil de agrietar incluso cuando soporta cargas de alto impacto (5000-10000 N) y estampado repetido.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 550 MPa a 600 °C y tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a las cargas cíclicas, lo que lo hace adecuado para la producción continua.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de estampación de alta temperatura de 200 a 600 °C, resistiendo el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

Al añadir cromo (Cr) o molibdeno (Mo), la tasa de corrosión en entornos que contienen refrigerante o ligeramente ácidos es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Las matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste se han desarrollado en diversos grados según los requisitos de procesamiento. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6X

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 14-16 $MPa·m^{1/2}$, densidad 14,9 g/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

cm³, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,02 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales de dureza media (como acero laminado en frío, aleación de aluminio), presión 50-100 MPa, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para estampar chapas automotrices.

Ventajas: alta resistencia al desgaste, alta precisión, costo moderado.

Limitaciones: La tenacidad es ligeramente menor y se requiere optimización del diseño.

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales de dureza media y alta (como acero galvanizado, acero inoxidable), presión 100-150 MPa, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para el moldeo de carcasas de electrodomésticos.

Ventajas: Resistencia al desgaste y tenacidad equilibradas, gran durabilidad.

Limitación: Se requiere soporte de recubrimiento a presiones extremadamente altas.

YT15

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,015 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales resistentes al calor (como acero inoxidable, aleación de titanio), presión 150-200 MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para estampar componentes electrónicos.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de moldeo.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar el enfriamiento.

YW1

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar acero endurecido (como HRC 50-60) y aleaciones de alta resistencia, presión 150-200 MPa, resistencia a la temperatura 550 ° C, adecuado para estampación de precisión.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y al desgaste, adecuado para materiales de alta dureza.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YG20

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/ cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales blandos (como aleación de aluminio, aleación de cobre), presión 50-100 MPa, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para estampar cargas ligeras.
Ventajas: Ultra alta tenacidad, resistencia a grandes deformaciones, adecuado para formas complejas.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Las matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste desempeñan un papel fundamental en diversos campos de procesamiento. Sus aplicaciones varían según las condiciones del material y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Fabricación de piezas de automoción

Escenario: estampación de chapas de acero laminadas en frío y acero galvanizado, presión 50-100 MPa, temperatura 200-400°C.
Requisitos: resistencia al desgaste y al impacto, fuerte durabilidad.
Productos típicos: matrices de estampación, que utilizan grado YG6X, resistencia al desgaste <0,02 mm^3 / N · m.
Ventajas: alta precisión y larga vida útil.

Procesamiento de componentes electrónicos

Escenario: Estampado de acero inoxidable y aleaciones de cobre, presión 100-150 MPa, temperatura 300-500°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas y adherencia, resistencia a la presión estable.
Productos típicos: Matrices de punzonado de precisión, con grado YT15, resistencia a temperaturas de 500°C.
Ventajas: Alta precisión de moldeo y reducida adherencia.

Fabricación de estampación de precisión

Aplicación: Prensado de acero endurecido y acero de tungsteno, presión 150-200 MPa, temperatura 400-550°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas, dureza y resistencia a la fatiga.
Productos típicos: matriz de punzonado de alta resistencia, de grado YW1, con una resistencia a la presión de 200 MPa.
Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Moldeo complejo: Procesamiento de piezas con múltiples curvas que necesitan resistir la deformación.
Estampado de alta frecuencia: millones de veces de estampado, se requiere una resistencia al desgaste ultra alta.
Desafío: Las temperaturas ultra altas (>600 °C) o las presiones ultra altas (>200 MPa) imponen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste combina la ciencia de los materiales con la tecnología de procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en entornos de estampación. A continuación, se detallan los flujos de proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: utilice polvos de WC y Co de alta pureza, agregue TiC y TaC para optimizar el rendimiento, muela en bolas durante 24 a 48 horas y controle el tamaño de partícula entre 0,5 y 2 μm .

Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o AlTiN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 600° C.

Pulido: Ra < 0,1 μm , para reducir la adherencia de la pieza.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de superficie de conformado.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la precisión de la superficie.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de desgaste: simulación de estampado, 1000 veces.

Prueba de presión: 200 MPa, para detectar deformación.

Prueba de fatiga: 0-100 MPa, $>10^6$ veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,01-0,03 mm^3 / N·m.
Resistencia al impacto: 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$.
Resistencia mecánica: 600°C, >550 MPa.
Vida útil por fatiga: $>10^6$ veces.
Resistencia al calor: 600°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co y agregue TiC / TaC para mejorar la tenacidad y la resistencia al calor.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa AlTiN + TiCN , 2-10 μm .
Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.
Tratamiento de superficie: Ra < 0,1 μm , nanorrecubrimiento.
Innovación de procesos: impresión 3D de formas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

Las matrices de estampación de carburo cementado resistentes al desgaste han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad del estampado gracias a procesos avanzados y un diseño de aplicaciones avanzado. A medida que aumenta la demanda de estampación compleja y de alta resistencia, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción, química, militar y otros . Si necesita matrices de estampación de carburo cementado resistentes al desgaste , le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn
电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Sello mecánico de carburo resistente al desgaste

Descripción general

Los sellos mecánicos de carburo cementado resistentes al desgaste son sellos de alto rendimiento diseñados para las industrias química, petrolera, eléctrica y de tratamiento de agua, y se utilizan ampliamente en equipos como bombas, compresores y reactores. Estos sellos están basados en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co) y mejoran significativamente la resistencia al desgaste, la corrosión y la presión mediante la optimización de las formulaciones de aleación y los procesos de tratamiento de superficies. El entorno de sellado mecánico implica alta presión (10-50 MPa), alta temperatura (200-600 °C), alta velocidad (500-3000 rpm) y medios corrosivos (como ácidos, álcalis y líquidos con contenido de arena). Los materiales tradicionales como el carburo de silicio o la cerámica son propensos al desgaste o al agrietamiento en condiciones extremas, por lo que el carburo cementado resistente al desgaste se convierte en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en aplicaciones de sellado.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1600-2000 y la tasa de desgaste se controla a 0,01-0,03 $mm^3/N·m$. Es adecuado para sellar medios de alta velocidad con contenido de partículas, y prolonga significativamente su vida útil.

Resistencia al impacto y tenacidad

La tenacidad a la fractura es de 12-18 $MPa·m^{1/2}$ y no es fácil de agrietar incluso bajo altas presiones y cargas de impacto (5000-8000 N).

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 550 MPa a 600 °C y es altamente resistente a la fatiga térmica y a la vibración, adecuado para un funcionamiento continuo.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de alta temperatura de 200-600°C, resiste el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

La tasa de corrosión en ambientes ácidos, alcalinos, H_2S o CO_2 es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Los sellos mecánicos de carburo resistentes al desgaste se han desarrollado en diversos grados según los requisitos de la aplicación. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 14-16 $MPa·m^{1/2}$, densidad 14,9 g/cm^3, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,02 $mm^3/N·m$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios corrosivos medios y bajos (como agua y aceite), presión 10-20 MPa, velocidad 500-1500 rpm, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para bombas de agua y bombas de aceite.

Ventajas: alta resistencia al desgaste, alta precisión, costo moderado.

Limitaciones: Se requiere soporte de recubrimiento en condiciones de corrosión severa o altas temperaturas.

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios corrosivos medios y altos (como ácidos débiles y álcalis débiles), presión 20-30 MPa, velocidad 1000-2000 rpm, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para bombas químicas.

Ventajas: Resistencia al desgaste y tenacidad equilibradas, gran durabilidad.

Limitación: Se requiere refuerzo adicional a presiones extremadamente altas.

YT15

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,015 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios resistentes al calor (como aceite de alta temperatura, vapor), presión 30-40 MPa, velocidad 1500-2500 rpm, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para reactores de alta temperatura.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de sellado.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar el enfriamiento.

YW1

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios altamente corrosivos (como petróleo y gas que contienen H_2S) , presión 40-50 MPa, velocidad 2000-3000 rpm, resistencia a la temperatura 550 °C, adecuado para bombas de perforación petrolera.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y a la corrosión, adecuado para condiciones extremas.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YG20

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios que contienen partículas (como lodo, mortero),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

presión 20-30 MPa, velocidad 1000-2000 rpm, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para bombas de tratamiento de agua.
Ventajas: Dureza ultra alta, fuerte resistencia al impacto, adecuado para condiciones de trabajo complejas.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Los sellos mecánicos de carburo resistentes al desgaste desempeñan un papel fundamental en diversos sectores industriales. Sus aplicaciones varían según las condiciones del fluido y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Sellos de bomba de agua y bomba de aceite

Escenario: Sellado de agua o aceite lubricante, presión 10-20 MPa, temperatura 20-400°C, velocidad 500-1500 rpm.
Requisitos: antidesgaste y bajas fugas, fuerte durabilidad.
Productos típicos: Junta de extremo, utilizando grado YG6, resistencia al desgaste <0,02 mm^3 / N · m.
Ventajas: alta precisión y larga vida útil.

Sello de bomba química

Escenario: Sellado de ácido débil y base débil, presión 20-30 MPa, temperatura 200-450°C, velocidad 1000-2000 rpm.
Requisitos: resistencia a la corrosión y a altas temperaturas, estabilidad de sellado.
Productos típicos: Junta de doble cara, grado YG8, resistencia a temperaturas de 450°C.
Ventajas: Anticorrosión, reducción de fugas.

Sello de bomba de perforación petrolera

Escenario: Sellado de petróleo y gas que contienen H_2S, presión 40-50 MPa, temperatura 400-550 °C, velocidad 2000-3000 rpm.
Requisitos: Resistente a altas temperaturas, corrosión y alta presión.
Productos típicos: Sellos de alta presión, utilizando grado YW1, con una resistencia a la presión de 50 MPa.
Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Sello de bomba de lodo: maneja medios arenosos y debe ser resistente al desgaste.
Sello de alta velocidad: se utiliza en compresores y debe ser resistente a las vibraciones.
Desafío: Las temperaturas ultra altas (>600 °C) o las presiones ultra altas (>50 MPa) imponen mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de sellos mecánicos de carburo resistentes al desgaste combina la ciencia de los materiales con la tecnología de procesamiento de precisión para garantizar su rendimiento en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

un entorno sellado. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: utilice polvos de WC y Co de alta pureza, agregue TiC y TaC para optimizar el rendimiento, muela en bolas durante 24 a 48 horas y controle el tamaño de partícula entre 0,5 y 2 μm .

Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o CrN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 600° C.

Pulido: Ra < 0,1 μm , reduce la fricción y las fugas.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de superficie de sellado.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la planitud de la superficie.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de abrasión: sellado simulado, 1000 horas.

Prueba de presión: 50 MPa, para detectar fugas.

Prueba de resistencia a la fatiga: 0-30 MPa, $>10^6$ veces.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,01-0,03 mm^3 / N·m.

Resistencia al impacto: 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$.

Resistencia mecánica: 600°C, >550 MPa.

Vida útil por fatiga: $>10^6$ veces.

Resistencia al calor: 600°C, degradación del rendimiento <15%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co y agregue TiC / TaC para mejorar la tenacidad y la resistencia al calor.

Tecnología de recubrimiento: Multicapa TiN + CrN , 2-10 μm .

Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.

Tratamiento superficial: Ra < 0,1 μm , recubrimiento anticorrosión.

Innovación de procesos: impresión 3D de formas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

Los sellos mecánicos de carburo resistentes al desgaste han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad del sellado gracias a procesos y diseños de aplicación avanzados. Ante la creciente demanda de procesamiento de medios complejos a alta presión y temperatura, la optimización del carburo seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción, química, militar y otros . Si necesita sellos mecánicos y anillos de sellado de carburo cementado, ¡estamos dispuestos a brindarle servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad!

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Boquilla de carburo resistente al desgaste

Descripción general

Las boquillas de carburo resistentes al desgaste son boquillas de alto rendimiento diseñadas para entornos corrosivos y de alto desgaste, así como para la inyección a alta velocidad. Se utilizan ampliamente en arenado, corte, pulverización y procesamiento químico. Estas boquillas están basadas en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Al optimizar la fórmula de la aleación y el proceso de tratamiento superficial, se mejora significativamente la resistencia al desgaste, la corrosión y la erosión. El entorno de uso de las boquillas implica medios de alta velocidad (como arena y abrasivos), alta presión (10-50 MPa), alta temperatura (200-600 °C) y líquidos corrosivos (como soluciones ácidas y alcalinas). Los materiales tradicionales, como la cerámica o el acero endurecido, son propensos al desgaste o a fallas con el uso prolongado. Por lo tanto, las boquillas de carburo cementado resistentes al desgaste se convierten en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en aplicaciones de inyección.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1600-2000 y la tasa de desgaste se controla a 0,01-0,03 mm^3 / N · m, lo que puede resistir la erosión abrasiva de alta velocidad y extender significativamente la vida útil.

Resistencia a la erosión y tenacidad

La tenacidad a la fractura es de 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$ y puede soportar alta presión e impacto de partículas (5000-10000 N) sin romperse.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 550 MPa a 600 °C, tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a la vibración y es adecuado para la inyección continua.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de alta temperatura de 200-600°C, resiste el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

Añadiendo cromo (Cr) o molibdeno (Mo), la velocidad de corrosión en medios ácidos, alcalinos o que contengan cloruros es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Se han desarrollado boquillas de carburo cementado resistentes al desgaste en diversos grados según los requisitos de la aplicación. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 14-16 $MPa \cdot m^{1/2}$, densidad 14,9 g/cm^3, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,02 mm^3/N·m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Escenarios aplicables: Adecuado para chorro de arena y medios poco corrosivos (como agua, arena seca), presión 10-20 MPa, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para el tratamiento de superficies.

Ventajas: alta resistencia al desgaste, alta precisión, costo moderado.

Limitaciones: Se requiere soporte de recubrimiento en condiciones de corrosión severa o altas temperaturas.

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para rociar abrasivos de dureza media y alta (como arena de acero, arena de cuarzo), presión 20-30 MPa, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para cortar metales.

Ventajas: Resistencia al desgaste y tenacidad equilibradas, gran durabilidad.

Limitación: Se requiere refuerzo adicional a presiones extremadamente altas.

YT15

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,015 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para pulverizar medios resistentes al calor (como flujo de aire de alta temperatura, metal fundido), presión 30-40 MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para pulverización térmica.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de pulverización.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar el enfriamiento.

YW1

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para pulverizar medios altamente corrosivos (como lodos ácidos, fluidos que contienen H_2S) , presión 40-50 MPa, resistencia a la temperatura 550 °C, adecuado para boquillas químicas.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y a la corrosión, adecuado para condiciones extremas.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YG20

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para pulverizar medios que contienen partículas grandes (como

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

lodo, escoria de carbón), presión de 20 a 30 MPa, resistencia a la temperatura de 400 °C, adecuado para pulverización de minas.
Ventajas: Dureza ultra alta, fuerte resistencia al impacto, adecuado para condiciones de trabajo complejas.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Las boquillas de carburo resistentes al desgaste desempeñan un papel fundamental en diversos sectores industriales. Sus aplicaciones varían según las condiciones del fluido y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Tratamiento de superficies y arenado

Aplicación: Granallado de arena seca o acero, presión 10-20 MPa, temperatura 20-400°C.
Requisitos: antidesgaste y erosión, pulverización uniforme.
Productos típicos: Boquilla de chorro de arena, utilizando grado YG6, resistencia al desgaste <0,02 mm^3 / N · m.
Ventajas: alta durabilidad, alta eficiencia de inyección.

Corte y pulverización de metales

Escenario: pulverización de granalla de acero o flujo de aire a alta temperatura, presión 20-30 MPa, temperatura 200-450 °C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas y erosión, resistencia a la presión estable.
Productos típicos: Boquilla de corte, grado YG8, resistencia a temperatura 450°C.
Ventajas: Anticorrosión, desgaste reducido.

Pulverización química

Escenario: Inyección de suspensión ácida o fluido que contiene H_2S, presión 40-50 MPa, temperatura 400-550°C.
Requisitos: Resistente a altas temperaturas, corrosión y alta presión.
Productos típicos: boquillas resistentes a la corrosión, de grado YW1, con una resistencia a la presión de 50 MPa.
Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Pulverización de minas: manipulación de lodos o escorias de carbón, que deben resistir la erosión causada por partículas de gran tamaño.
Limpieza a alta presión: Se aplica con chorros de agua a alta presión y requiere resistencia a las vibraciones.
Desafío: Las temperaturas ultra altas (>600 °C) o las presiones ultra altas (>50 MPa) imponen mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El proceso de fabricación de boquillas de carburo cementado resistentes al desgaste combina la ciencia de los materiales con la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en entornos de pulverización. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: utilice polvos de WC y Co de alta pureza, agregue TiC y TaC para optimizar el rendimiento, muela en bolas durante 24 a 48 horas y controle el tamaño de partícula entre 0,5 y 2 μm .

Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o CrN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 600° C.

Pulido: Ra < 0,1 μm , para reducir la adhesión de partículas.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de agujeros de inyección.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la suavidad del agujero.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de abrasión: simulación de pulverización, 1000 horas.

Prueba de presión: 50 MPa, para detectar deformación.

Prueba de erosión: 5000 N, para detectar desgaste.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,01-0,03 mm^3 / N·m.

Resistencia al impacto: 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Resistencia mecánica: 600°C, >550 MPa.
Vida útil por fatiga: >10 ⁶ veces.
Resistencia al calor: 600°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co y agregue TiC / TaC para mejorar la tenacidad y la resistencia al calor.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa TiN + CrN , 2-10 μm .
Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.
Tratamiento superficial: Ra < 0,1 μm , recubrimiento anticorrosión.
Innovación de procesos: impresión 3D de formas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

La boquilla de carburo cementado resistente al desgaste ha mejorado significativamente la eficiencia de inyección y la durabilidad gracias a su tecnología avanzada y un diseño de aplicación avanzado. Ante la creciente demanda de procesamiento de medios complejos y de alta presión y temperatura, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción , química y militar, entre otros . Si necesita boquillas de carburo cementado resistentes al desgaste, le ofrecemos servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad.
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

Matrices de estampación de carburo

Descripción general

Las matrices de estampación de carburo son matrices de alto rendimiento diseñadas para el procesamiento de metales de alta resistencia y se utilizan ampliamente en la fabricación de automóviles, la producción de componentes electrónicos y la estampación de chapa metálica. Estas matrices se basan en carburo cementado (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co) y mejoran significativamente la resistencia al desgaste, al impacto y a la fatiga mediante la optimización de las fórmulas de aleación y los procesos de refuerzo. El entorno de estampación implica materiales de alta dureza (como acero inoxidable y acero laminado en frío), alta presión (50-200 MPa) y cargas repetidas (más de un millón de veces). Las matrices de acero tradicionales presentan dificultades para cumplir con los requisitos debido al desgaste y al agrietamiento, por lo que las matrices de estampación de carburo cementado se convierten en una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en el procesamiento de estampación.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste.

El rango de dureza es HV 1600-2000 y la tasa de desgaste se controla a 0,01-0,03 $mm^3/N·m$. Es adecuado para estampado de alta precisión y alta frecuencia, y prolonga significativamente la vida útil del molde.

Resistencia al impacto y tenacidad

La tenacidad a la fractura es de 12-18 $MPa·m^{1/2}$ y no es fácil de agrietar incluso cuando soporta cargas de alto impacto (5000-10000 N) y estampado repetido.

Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción supera los 550 MPa a 600 °C y tiene una fuerte resistencia a la fatiga térmica y a las cargas cíclicas, lo que lo hace adecuado para la producción continua.

Estabilidad térmica

Mantiene el rendimiento en entornos de estampación de alta temperatura de 200 a 600 °C, resistiendo el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión

Al añadir cromo (Cr) o molibdeno (Mo), la tasa de corrosión en entornos que contienen refrigerante o ligeramente ácidos es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Las matrices de estampación de carburo cementado han desarrollado diversos grados según los requisitos de procesamiento. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6X

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 14-16 $MPa·m^{1/2}$, densidad 14,9 g/cm^3, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,02 $mm^3/N·m$.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales de dureza media (como acero laminado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

en frío, aleación de aluminio), presión 50-100 MPa, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para estampar chapas automotrices.

Ventajas: alta resistencia al desgaste, alta precisión, costo moderado.

Limitaciones: La tenacidad es ligeramente menor y se requiere optimización del diseño.

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales de dureza media y alta (como acero galvanizado, acero inoxidable), presión 100-150 MPa, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para el moldeo de carcasas de electrodomésticos.

Ventajas: Resistencia al desgaste y tenacidad equilibradas, gran durabilidad.

Limitación: Se requiere soporte de recubrimiento a presiones extremadamente altas.

YT15

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,015 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales resistentes al calor (como acero inoxidable, aleación de titanio), presión 150-200 MPa, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para estampar componentes electrónicos.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de moldeo.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar el enfriamiento.

YW1

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar acero endurecido (como HRC 50-60) y aleaciones de alta resistencia, presión 150-200 MPa, resistencia a la temperatura 550 ° C, adecuado para estampación de precisión.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y al desgaste, adecuado para materiales de alta dureza.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YG20

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para estampar materiales blandos (como aleación de aluminio, aleación de cobre), presión 50-100 MPa, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para estampar cargas ligeras.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ventajas: Ultra alta tenacidad, resistencia a grandes deformaciones, adecuado para formas complejas.
Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

3. Detalle de la aplicación

Las matrices de estampación de carburo desempeñan un papel fundamental en diversos campos de procesamiento. Sus aplicaciones varían según las condiciones del material y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Fabricación de piezas de automoción

Escenario: estampación de chapas de acero laminadas en frío y acero galvanizado, presión 50-100 MPa, temperatura 200-400°C.
Requisitos: resistencia al desgaste y al impacto, fuerte durabilidad.
Productos típicos: matrices de estampación, que utilizan grado YG6X, resistencia al desgaste <0,02 mm^3 / N · m.
Ventajas: alta precisión y larga vida útil.
Procesamiento de componentes electrónicos
Escenario: Estampado de acero inoxidable y aleaciones de cobre, presión 100-150 MPa, temperatura 300-500°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas y adherencia, resistencia a la presión estable.
Productos típicos: Matrices de punzonado de precisión, con grado YT15, resistencia a temperaturas de 500°C.
Ventajas: Alta precisión de moldeo y reducida adherencia.

Fabricación de estampación de precisión

Aplicación: Prensado de acero endurecido y acero de tungsteno, presión 150-200 MPa, temperatura 400-550°C.
Requisitos: resistencia a altas temperaturas, dureza y resistencia a la fatiga.
Productos típicos: matriz de punzonado de alta resistencia, de grado YW1, con una resistencia a la presión de 200 MPa.
Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Moldeo complejo: Procesamiento de piezas con múltiples curvas que necesitan resistir la deformación.
Estampado de alta frecuencia: millones de veces de estampado, se requiere una resistencia al desgaste ultra alta.
Desafío: Las temperaturas ultra altas (>600 °C) o las presiones ultra altas (>200 MPa) imponen mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de matrices de estampación de carburo cementado combina la ciencia de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

los materiales y la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en un entorno de estampación. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: utilice polvos de WC y Co de alta pureza, agregue TiC y TaC para optimizar el rendimiento, muela en bolas durante 24 a 48 horas y controle el tamaño de partícula entre 0,5 y 2 μm .

Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.

Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.

Proceso de sinterización

Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.

Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.

Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o AlTiN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.

Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 600° C.

Pulido: Ra < 0,1 μm , para reducir la adherencia de la pieza.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de superficie de conformado.

EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .

Procesamiento láser: mejora la precisión de la superficie.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.

Prueba de desgaste: simulación de estampado, 1000 veces.

Prueba de presión: 200 MPa, para detectar deformación.

Prueba de fatiga: 0-100 MPa, $>10^6$ veces.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,01-0,03 mm^3 / N·m.

Resistencia al impacto: 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$.

Resistencia mecánica: 600°C, >550 MPa.

Vida útil por fatiga: $>10^6$ veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Resistencia al calor: 600°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co y agregue TiC / TaC para mejorar la tenacidad y la resistencia al calor.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa AlTiN + TiCN , 2-10 μm .
Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.
Tratamiento de superficie: Ra < 0,1 μm , nanorrecubrimiento.
Innovación de procesos: impresión 3D de formas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

Gracias a su tecnología avanzada y al diseño de aplicaciones, las matrices de estampación de carburo cementado han mejorado significativamente la eficiencia y la durabilidad del estampado. A medida que aumenta la demanda de estampados complejos y de alta resistencia, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción, química, militar y otros . Si necesita matrices de estampación de carburo cementado , ¡estamos dispuestos a brindarle servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad!
Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Sellos mecánicos de carburo

Descripción general

Los sellos mecánicos de carburo son elementos de sellado de alto rendimiento diseñados para las industrias química, petrolera, eléctrica y de tratamiento de agua. Se utilizan ampliamente en sellos de eje para equipos como bombas, compresores y reactores. Estos sellos están basados en carburo (compuesto principalmente de carburo de tungsteno WC y cobalto Co). Al optimizar la fórmula de la aleación y el proceso de tratamiento superficial, se mejoran significativamente la resistencia al desgaste, la corrosión y la presión. El entorno de uso de los sellos mecánicos incluye alta presión (10-50 MPa), alta temperatura (200-600 °C), alta velocidad (500-3000 rpm) y medios corrosivos (como líquidos ácidos, alcalinos y arenosos). Los materiales tradicionales como el carburo de silicio o la cerámica son propensos al desgaste o al agrietamiento en condiciones extremas, por lo que los sellos mecánicos de carburo son una opción ideal. Este artículo analizará en detalle sus características técnicas, escenarios de aplicación y procesos de fabricación para demostrar sus ventajas técnicas en aplicaciones de sellado.

1. Características técnicas

Alta dureza y resistencia al desgaste: El rango de dureza es HV 1600-2000, con una tasa de desgaste controlada de 0,01-0,03 $mm^3/N·m$. Es adecuado para el sellado de medios de alta velocidad y con contenido de partículas, y prolonga significativamente su vida útil.

Resistencia al impacto y tenacidad: La tenacidad a la fractura es de 12-18 $MPa·m^{1/2}$ y no es fácil de agrietar incluso bajo alta presión y cargas de impacto (5000-8000 N).

Resistencia mecánica: La resistencia a la tracción supera los 550 MPa a 600 °C, y es altamente resistente a la fatiga térmica y a la vibración, y es adecuado para un funcionamiento continuo.

Estabilidad térmica: Mantiene el rendimiento en entornos de alta temperatura de 200-600°C, resiste el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión.

Resistencia a la corrosión: Añadiendo cromo (Cr) o molibdeno (Mo), la tasa de corrosión en ambientes ácidos, alcalinos, H_2S o CO_2 es inferior a 0,01 mm/año.

2. Materiales y calidades

Los sellos mecánicos de carburo cementado se han desarrollado en diversos grados según los requisitos de la aplicación. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características:

YG6

Composición: WC 94%, Co 6%

Características: Dureza HV 1800-1900, tenacidad a la fractura 14-16 $MPa·m^{1/2}$, densidad 14,9 g/cm^3, conductividad térmica aprox. 80 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1200 HV, índice de desgaste <0,02 $mm^3/N·m$.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios corrosivos medios y bajos (como agua y aceite), presión 10-20 MPa, velocidad 500-1500 rpm, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para bombas de agua y bombas de aceite.

Ventajas: alta resistencia al desgaste, alta precisión, costo moderado.

Limitaciones: Se requiere soporte de recubrimiento en condiciones de corrosión severa o altas temperaturas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

YG8

Composición: WC 92%, Co 8%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 16-18 MPa·m¹ / ², densidad 14,7 g/cm³, conductividad térmica aprox. 75 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1100 HV, índice de desgaste <0,025 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios corrosivos medios y altos (como ácidos débiles y álcalis débiles), presión 20-30 MPa, velocidad 1000-2000 rpm, resistencia a la temperatura 450 ° C, adecuado para bombas químicas.

Ventajas: Resistencia al desgaste y tenacidad equilibradas, gran durabilidad.

Limitación: Se requiere refuerzo adicional a presiones extremadamente altas.

YT15

Composición: WC 79%, TiC 15%, Co 6%

Características: Dureza HV 1750-1850, tenacidad a la fractura 12-14 MPa·m¹ / ², densidad 11,5 g/cm³, conductividad térmica aprox. 60 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,015 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios resistentes al calor (como aceite de alta temperatura, vapor), presión 30-40 MPa, velocidad 1500-2500 rpm, resistencia a la temperatura 500 ° C, adecuado para reactores de alta temperatura.

Ventajas: resistencia a altas temperaturas y antiadherencia, buena estabilidad de sellado.

Limitaciones: Dureza ligeramente menor, es necesario optimizar el enfriamiento.

YW1

Composición: WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%

Características: Dureza HV 1700-1800, tenacidad a la fractura 15-17 MPa·m¹ / ², densidad 12,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 65 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1050 HV, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios altamente corrosivos (como petróleo y gas que contienen H_2S) , presión 40-50 MPa, velocidad 2000-3000 rpm, resistencia a la temperatura 550 °C, adecuado para bombas de perforación petrolera.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y a la corrosión, adecuado para condiciones extremas.

Limitaciones: Alto costo y requiere procesamiento de precisión.

YG20

Composición: WC 80%, Co 20%

Características: Dureza HV 1600-1700, tenacidad a la fractura 18-20 MPa·m¹ / ², densidad 13,8 g/cm³, conductividad térmica aprox. 68 W/ m·K . Dureza a alta temperatura (600 °C) aprox. 1000 HV, índice de desgaste <0,03 mm³/N·m.

Escenarios aplicables: Adecuado para sellar medios que contienen partículas (como lodo, mortero), presión 20-30 MPa, velocidad 1000-2000 rpm, resistencia a la temperatura 400 ° C, adecuado para bombas de tratamiento de agua.

Ventajas: Dureza ultra alta, fuerte resistencia al impacto, adecuado para condiciones de trabajo complejas.

Limitaciones: Resistencia al desgaste ligeramente pobre, requiere tratamiento de superficie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3. Detalle de la aplicación

Los sellos mecánicos de carburo desempeñan un papel fundamental en diversos sectores industriales. Sus aplicaciones varían según las condiciones del fluido y los requisitos del proceso. A continuación, se presenta un análisis detallado:

Sellos de bomba de agua y bomba de aceite

Escenario: Sellado de agua o aceite lubricante, presión 10-20 MPa, temperatura 20-400°C, velocidad 500-1500 rpm.

Requisitos: antidesgaste y bajas fugas, fuerte durabilidad.

Productos típicos: Anillo de sellado de cara final, utilizando grado YG6, resistencia al desgaste <0,02 mm^3 / N · m.

Ventajas: alta precisión y larga vida útil.

Sello de bomba química

Escenario: Sellado de ácido débil y base débil, presión 20-30 MPa, temperatura 200-450°C, velocidad 1000-2000 rpm.

Requisitos: resistencia a la corrosión y a altas temperaturas, estabilidad de sellado.

Productos típicos: Anillo de sellado de doble extremo, con grado YG8, resistencia a temperaturas de 450 °C.

Ventajas: Anticorrosión, reducción de fugas.

Sello de bomba de perforación petrolera

Escenario: Sellado de petróleo y gas que contienen H_2S, presión 40-50 MPa, temperatura 400-550 °C, velocidad 2000-3000 rpm.

Requisitos: Resistente a altas temperaturas, corrosión y alta presión.

Productos típicos: Anillo de sellado de alta presión, de grado YW1, con una resistencia a la presión de 50 MPa.

Ventajas: Resistente al agrietamiento térmico y fuerte durabilidad.

Aplicaciones especiales

Sello de bomba de lodo: maneja medios arenosos y debe ser resistente al desgaste.

Sello de alta velocidad: se utiliza en compresores y debe ser resistente a las vibraciones.

Desafío: Las temperaturas ultra altas (>600 °C) o las presiones ultra altas (>50 MPa) imponen mayores exigencias al rendimiento.

4. Explicación detallada del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación de sellos mecánicos de carburo cementado combina la ciencia de los materiales y la tecnología de mecanizado de precisión para garantizar su rendimiento en un entorno sellado. A continuación, se detalla el flujo del proceso y los aspectos técnicos:

Preparación de materia prima

Mezcla de polvos: utilice polvos de WC y Co de alta pureza, agregue TiC y TaC para optimizar el rendimiento, muela en bolas durante 24 a 48 horas y controle el tamaño de partícula entre 0,5 y 2 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Optimización de aditivos: se añaden elementos de tierras raras para fortalecer los límites de grano y se añaden nanoaditivos para mejorar la densidad.

Proceso de moldeo

Prensado: Prensado isostático en frío (CIP), presión 200-300 MPa, densidad 60-70%.
Prensado isostático en caliente (HIP): 1300-1500°C, 100-200 MPa, densidad 98%.
Moldeo de estructuras complejas: moldeo por inyección o impresión 3D, precisión ±0,05 mm.
Proceso de sinterización
Sinterización al vacío: 1400-1600°C, 1-2 horas, eliminar impurezas.
Sinterización en fase líquida: El Co se funde para llenar los poros y optimizar los granos.
Postprocesamiento: limpieza con plasma, recocido para aliviar tensiones.

Tratamiento de superficies

PVD: Recubrimiento de TiN o CrN , 2-10 μm , resistente al desgaste y altas temperaturas.
Enfermedad cardiovascular: Recubrimiento de TiCN o Al_2O_3 , resistente a temperaturas de hasta 600° C.
Pulido: Ra < 0,1 μm , reduce la fricción y las fugas.

Mecanizado de precisión

Mecanizado CNC: precisión ±0,01 mm, mecanizado de superficie de sellado.
EDM: geometría compleja, Ra 0,05 μm .
Procesamiento láser: mejora la planitud de la superficie.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: GB/T 16599, 10 kg, ±30 HV.
Prueba de abrasión: sellado simulado, 1000 horas.
Prueba de presión: 50 MPa, para detectar fugas.
Prueba de resistencia a la fatiga: 0-30 MPa, $>10^6$ veces.

5. Indicadores de desempeño

Resistencia al desgaste: 0,01-0,03 mm^3 / N·m.
Resistencia al impacto: 12-18 $MPa \cdot m^{1/2}$.
Resistencia mecánica: 600°C, >550 MPa.
Vida útil por fatiga: $>10^6$ veces.
Resistencia al calor: 600°C, degradación del rendimiento <15%.

6. Optimización del rendimiento e innovación de procesos

Fórmula de aleación: Aumente el contenido de Co y agregue TiC / TaC para mejorar la tenacidad y la resistencia al calor.
Tecnología de recubrimiento: Multicapa TiN + CrN , 2-10 μm .
Tratamiento térmico: solución sólida + envejecimiento, optimización de los límites de grano.
Tratamiento superficial: Ra < 0,1 μm , recubrimiento anticorrosión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Innovación de procesos: impresión 3D de formas personalizadas, parámetros de sinterización optimizados por IA.

Los sellos mecánicos de carburo cementado han mejorado significativamente la eficiencia y durabilidad del sellado gracias a procesos y diseños de aplicación avanzados. Ante la creciente demanda de procesamiento de medios complejos y de alta presión y temperatura, la optimización del carburo cementado seguirá impulsando su progreso tecnológico.

En sus 30 años de historia en la fabricación de carburo cementado, CTIA GROUP LTD ha diseñado y producido una gran cantidad de productos de carburo cementado de alto rendimiento , satisfaciendo las exigentes necesidades de decenas de miles de clientes en los sectores de maquinaria, aviación, energía, minería, electrónica, automoción, química, militar y otros . Si necesita sellos de carburo cementado, ¡estamos dispuestos a brindarle servicios personalizados precisos, eficientes y de alta calidad!

Contáctenos para obtener la información más reciente de la industria y personalizar soluciones exclusivas:

Tel: +86 592 5129696 Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Sitio web: www.tungstenpowder.com Cuenta pública de WeChat : "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

¿Qué es el carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)?

El carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG) es un material industrial de excelente rendimiento. Gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste y tenacidad, se ha convertido en un producto estrella indispensable en la fabricación moderna. Este material se sinteriza principalmente con carburo de tungsteno (WC) como fase dura y cobalto (Co) como fase aglutinante mediante un avanzado proceso de pulvimetalurgia. Se utiliza ampliamente en herramientas de corte, matrices de estampación, herramientas de minería y diversas piezas resistentes al desgaste. Su nombre "YG" proviene de la abreviatura china pinyin de "tungsteno cobalto", lo que refleja plenamente sus componentes principales y su valor único. Como material compuesto de alto rendimiento, el carburo cementado de tungsteno-cobalto ofrece soluciones eficientes y fiables para diversas industrias gracias a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas, lo que ayuda a mejorar la eficiencia de la producción y a garantizar la calidad del producto.

Composición y estructura del producto de carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)

El núcleo del carburo cementado de tungsteno-cobalto reside en su diseño científico de composición y su precisa microestructura. El carburo de tungsteno es la fase dura del material y representa entre el 70 % y el 94 % del peso total. Su estructura cristalina es hexagonal, con una dureza de hasta HV 1800-2200, similar a la del diamante natural, y puede resistir eficazmente el desgaste y las altas cargas durante el corte. El cobalto, como fase aglutinante, suele contener entre un 6 % y un 30 %. Es un metal de bajo punto de fusión que se funde y rellena uniformemente los huecos entre las partículas de carburo de tungsteno durante la sinterización, lo que proporciona al material una excelente tenacidad y resistencia al impacto. Además, para mejorar aún más el rendimiento, se pueden añadir, según sea necesario, aditivos traza como el carburo de titanio (TiC), el carburo de tántalo (TaC) o el carburo de niobio (NbC). Estos ingredientes pueden mejorar la estabilidad a altas temperaturas, la resistencia a la corrosión o refinar los granos para cumplir los requisitos de aplicaciones específicas. Microscópicamente, el carburo cementado de tungsteno-cobalto presenta una estructura policristalina, con partículas de carburo de tungsteno distribuidas uniformemente y fases de cobalto que forman una red de enlaces continua. Este diseño estructural garantiza la estabilidad y fiabilidad del material en entornos de uso intensivo.

Características de rendimiento del producto de carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)

El carburo cementado de tungsteno-cobalto es conocido por sus excelentes características de rendimiento. En primer lugar , su alta dureza es una característica destacada del producto. El rango de dureza se encuentra entre HV 1600 y 2000, suficiente para procesar materiales con una dureza de hasta HRC 60 o superior, como acero endurecido o fundición. Esta alta dureza le permite un buen rendimiento en procesos de corte, estampación y rectificado, prolongando significativamente la vida útil de herramientas y moldes. En segundo lugar, su resistencia al desgaste es extremadamente excelente, con una tasa de desgaste de tan solo 0,01-0,03 $mm^3/N \cdot m$, muy superior a la de las herramientas tradicionales de acero de alta velocidad, y puede mantener una estabilidad a largo plazo a altas velocidades (superiores a 2000 rpm) o en medios con contenido de arena. Además, el carburo cementado de tungsteno-cobalto también presenta una buena tenacidad, con una tenacidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

a la fractura de 12-20 MPa·m¹ / ². El aumento del contenido de cobalto mejora aún más la resistencia al impacto del material, haciéndolo particularmente adecuado para condiciones de trabajo con altas cargas de impacto. En términos de estabilidad térmica, el material aún puede mantener una alta dureza (más de 1000 HV) a altas temperaturas de 600-800 °C, resistir el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión, y es adecuado para entornos de procesamiento de alta temperatura. Para la resistencia a la corrosión, el rendimiento básico es suficiente para hacer frente a entornos de ácido-base suaves (pH 4-10), y al agregar elementos como cromo o níquel, su resistencia a la corrosión se puede mejorar aún más para satisfacer necesidades especiales como la industria química. Vale la pena mencionar que después del pulido fino, la rugosidad de la superficie del producto puede alcanzar Ra < 0,1 μm , con características de baja fricción y antiadherencia, lo que es particularmente adecuado para manipular medios viscosos u ocasiones que requieren un sellado de alta precisión.

Clasificación de productos y grados de carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)

El carburo cementado de tungsteno-cobalto se divide en múltiples grados según el contenido de cobalto y los escenarios de aplicación, y cada grado está optimizado para necesidades específicas.

El carburo cementado de tungsteno-cobalto ha desarrollado un amplio sistema de grados basado en el contenido de cobalto, el tamaño de grano, el tipo de aditivo y la diversidad de aplicaciones. Estos grados se adaptan con precisión a diversas necesidades, desde corte de alta precisión hasta resistencia al desgaste en trabajos pesados. A continuación, se presenta una introducción detallada y un análisis de clasificación de los principales grados, que abarca su composición, parámetros de rendimiento, escenarios de aplicación y usos típicos. La siguiente tabla resume esta información para una comprensión intuitiva:

Clasificación de productos y grados de carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)

Marca	Elemento (peso%)	Dureza (HV)	Tenacidad a la fractura (MPa·m¹ / ²)	densidad (g/cm³)	Conductividad térmica (W/ m·K)	Escenarios aplicables	Usos típicos
YG6	WC 94%, Co 6%	1800-1900	14-16	14.9	80	Corte de hierro fundido, metales no ferrosos, punzonado de placas delgadas	Herramientas de torneado, matrices de trefilado
YG6X	WC 94%, Co 6% (Grano ultrafino)	1900-2000	13-15	14.9	80	Corte de precisión, microherramientas	Microtaladro, herramienta de torneado de precisión
YG8	WC 92%, Co 8%	1700-1800	16-18	14.7	75	Matrices de estampación, procesamiento de materiales de dureza	Matrices de estampación, brocas para minería

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	Elemento (peso%)	Dureza (HV)	Tenacidad a la fractura (MPa·m¹ / ²)	densidad (g/cm³)	Conductividad térmica (W/ m·K)	Escenarios aplicables	Usos típicos
						media	
YG10	WC 90%, Co 10%	1650-1750	17-19	14.5	73	Herramientas de corte de uso general, cargas de impacto	Fresa, broca general
Año 12	WC 88%, Co 12%	1600-1700	18-20	14.2	70	Corte de alto impacto, piezas resistentes al desgaste	Cuchillas de excavación, matrices de estampación
YG15	WC 85%, Co 15%	1500-1600	18-20	14.0	68	Condiciones de alto impacto, herramientas de tunelaje	Excavadora, rompedora
YG20	WC 80%, Co 20%	1500-1600	20-25	13.8	68	Resistente a grandes impactos y medios que contienen partículas.	Broca, boquilla
YT5	WC 81%, TiC 15%, Co 4%	1750-1850	12-14	11.8	60	Corte de acero, mecanizado de alta velocidad	Herramientas de torneado, fresas
YT15	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	1700-1800	12-14	11.5	60	Materiales de corte y estampación resistentes al calor	Molde de alta temperatura, molde de estiramiento
YW1	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	1700-1800	15-17	12.8	65	Entorno corrosivo fuerte, procesamiento a alta presión.	Anillo de sellado, boquilla química
YC40	WC 70%, TiC 20%, Co 10%	1600-1700	18-20	11.2	55	Estampado de material de alta dureza, pieza de trabajo con tratamiento térmico	Matrices de estampación de alta resistencia

El YG6 es un grado clásico con un contenido de cobalto del 6 %. Presenta alta dureza y excelente resistencia al desgaste. Es especialmente adecuado para el corte de hierro fundido y metales no ferrosos, así como para el estampado de placas delgadas. Se utiliza ampliamente en la fabricación de herramientas de alta precisión, como herramientas de torneado y matrices de trefilado. Su bajo contenido de cobalto garantiza la dureza del material, pero presenta una tenacidad moderada, ideal para condiciones de carga media.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El YG6X es una variante de grano ultrafino del YG6, con un tamaño de grano inferior a 1 μm . Gracias a la tecnología de refinamiento, se ha aumentado la dureza a HV 1900-2000 y se ha mejorado aún más la resistencia al desgaste. Es especialmente adecuado para corte de precisión y microherramientas, como microbrocas y herramientas de torneado de precisión.

El YG8 tiene un contenido de cobalto del 8% y su dureza se reduce ligeramente a HV 1700-1800, pero su tenacidad aumenta a 16-18 MPa·m¹ / ². Ofrece dureza y resistencia al impacto, y es la opción preferida para matrices de estampación y brocas de minería, ideal para procesar materiales de dureza media.

El YG10 contiene un 10 % de cobalto, tiene una dureza de HV 1650-1750 y una tenacidad de 17-19 MPa·m¹ / ². Es un grado de uso generalizado en fresas y brocas, apto para diversas condiciones de corte y carga de impacto.

YG12 tiene un contenido de cobalto del 12%, una dureza de HV 1600-1700 y una tenacidad de 18-20 MPa·m. ¹ / ² . Es adecuado para cortes de alto impacto y fabricación de piezas resistentes al desgaste, como excavadoras y matrices de estampación.

El YG15 contiene un 15 % de cobalto, tiene una dureza de HV 1500-1600 y una tenacidad de 18-20 MPa·m¹ / ². Está diseñado para condiciones de alto impacto, como cortadores y rompedores de túneles, y es especialmente adecuado para las industrias de minería y construcción.

El YG20 tiene un contenido de cobalto de hasta el 20 %, una dureza de HV 1500-1600 y una tenacidad de 20-25 MPa·m¹ / ². Presenta una resistencia al impacto extremadamente alta y es adecuado para entornos complejos con grandes impactos y medios granulares, como brocas y boquillas.

YT5 introduce un 15% de TiC , el contenido de cobalto se reduce al 4%, la dureza es HV 1750-1850, tiene una excelente resistencia al calor, es adecuado para el corte de acero a alta velocidad y se usa ampliamente en herramientas de torneado y fresas.

El YT15 contiene un 6 % de Co y un 15 % de TiC , con una dureza de HV 1700-1800. Presenta una excelente resistencia al calor y propiedades antiadherentes, y es adecuado para estampar materiales resistentes al calor y moldes de alta temperatura.

El YW1 contiene 10 % de Co, 10 % de TiC y 2 % de TaC , con una dureza de HV de 1700-1800 y una tenacidad de 15-17 MPa·m¹ / ². Presenta una alta resistencia a la corrosión y es adecuado para entornos altamente corrosivos y procesos de alta presión, como anillos de sellado y boquillas químicas.

El YC40 contiene un 10 % de Co y un 20 % de TiC , con una dureza de HV 1600-1700 y una tenacidad de 18-20 MPa·m¹ / ². Está especialmente diseñado para el estampado y el tratamiento térmico de piezas de materiales de alta dureza, como matrices de estampado pesadas.

La diversidad de estos grados refleja la flexibilidad del carburo cementado de tungsteno-cobalto. Los usuarios pueden elegir el grado adecuado según sus necesidades de procesamiento y encontrar productos compatibles, desde cortes de precisión de alta dureza hasta condiciones de carga pesada de alta tenacidad.

Proceso de fabricación de productos de carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)

El proceso de fabricación del carburo cementado de tungsteno-cobalto encarna la esencia de la ciencia moderna de los materiales. Desde la preparación de la materia prima hasta el producto final,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

cada paso está estrictamente controlado. Primero, se seleccionan polvos de carburo de tungsteno y cobalto de alta pureza con un tamaño de partícula de 0,5-2 μm y se mezclan con un dispersante mediante molienda de bolas húmeda durante 24-48 horas para asegurar una composición uniforme. Posteriormente, la mezcla se seca y se granula mediante tecnología de secado por aspersión, y la distribución del tamaño de partícula es inferior a 5 μm , sentando las bases para el moldeo posterior. El proceso de moldeo incluye prensado isostático en frío (CIP, presión 200-300 MPa) o prensado isostático en caliente (HIP, 1300-1500 °C, presión 100-200 MPa), de modo que la densidad del cuerpo verde alcanza el 60-70%, y la densidad se incrementa a más del 98% mediante el proceso HIP. Para geometrías complejas, se puede utilizar la tecnología de moldeo por inyección de metal (MIM) o impresión 3D con una precisión de hasta ±0,05 mm. El proceso de sinterización utiliza sinterización al vacío (1400-1600 °C, 1-2 horas) o sinterización en fase líquida, y el cobalto se funde a alta temperatura para llenar los poros y controlar el tamaño de grano dentro del rango de 1-5 μm . Después de la sinterización, se utilizan limpieza y recocido de plasma (800-1000 °C) para eliminar la capa de óxido superficial y liberar la tensión interna. Finalmente, el producto se procesa mediante rectificado de precisión CNC (precisión ±0,01 mm), recubrimiento PVD (como TiN , espesor 2-10 μm) o pulido químico mecánico (rugosidad superficial Ra < 0,1 μm), mostrando acabado superficial de alta calidad y características funcionales.

Áreas de aplicación del producto de carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG)

El carburo cementado de tungsteno-cobalto ha demostrado ser muy útil en diversos sectores industriales gracias a sus diversas ventajas de rendimiento. En el campo de las herramientas de corte, las herramientas de torneado, fresas y brocas utilizan los grados YG6 o YG8, que procesan eficientemente acero, fundición y metales no ferrosos, con velocidades de corte de hasta 100-300 m/min y una vida útil de más de 1000 horas. Se utilizan ampliamente en piezas de motores de automóviles y mecanizado de precisión. En cuanto a matrices de estampación, los grados YG8 y YG15 se utilizan para el estampado de placas de automóviles y componentes electrónicos. Presentan una gran resistencia al desgaste y se pueden estampar más de un millón de veces, lo que garantiza la calidad del producto y la eficiencia de la producción. En el campo de las herramientas de minería, los grados YG15 y YG20 de brocas, cuchillas de tunelaje y rompedores pueden realizar tareas de tunelaje en rocas duras (dureza Mohs 6-9), mejorando significativamente la eficiencia minera. Piezas resistentes al desgaste, como boquillas, sellos y núcleos de válvulas, utilizan la excelente tenacidad del YG20 para resistir partículas abrasivas y la corrosión, y son especialmente adecuadas para la perforación petrolera y la inyección de productos químicos. Además, el carburo cementado de tungsteno-cobalto también se utiliza para procesar aleaciones de titanio e Inconel 718 en el sector aeroespacial, en la industria energética para sellos de válvulas de centrales nucleares y en el sector médico para la fabricación de fresas dentales, lo que demuestra plenamente su importante papel en las industrias de alta tecnología.

El carburo cementado de tungsteno-cobalto (YG) se ha convertido en un material fundamental en la producción industrial gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste, tenacidad y estabilidad térmica. Su diseño científico, su preciso proceso de fabricación y su diversificada selección de grados le permiten satisfacer una amplia gama de necesidades, desde el procesamiento diario hasta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

las condiciones de trabajo más extremas. Ya sea para mejorar la eficiencia de corte, prolongar la vida útil del molde o aumentar la fiabilidad de las piezas resistentes al desgaste, el carburo cementado de tungsteno-cobalto ofrece un sólido apoyo a diversas industrias.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)?

El carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT) es un material compuesto sinterizado de alto rendimiento, fabricado con carburo de tungsteno (WC) y carburo de titanio (TiC) como fases duras y cobalto (Co) como fase aglutinante mediante un avanzado proceso de pulvimetalurgia. YT es la abreviatura de "Yong Ti", lo que refleja sus características únicas de composición. Este material es especialmente adecuado para el procesamiento de acero y aleaciones termorresistentes en el sector industrial gracias a su excelente resistencia al calor, al desgaste y al corte, y se ha convertido en la opción predilecta en la fabricación de herramientas de corte y moldes. Al ajustar la proporción de TiC y Co y optimizar la estructura del grano, el carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto puede satisfacer diversas necesidades, desde el corte a alta velocidad hasta el procesamiento a alta temperatura, proporcionando soluciones eficientes y duraderas para la industria manufacturera.

Composición y estructura del producto de carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)

Las propiedades únicas del carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto provienen de su diseño de composición científica y microestructura precisa. El carburo de tungsteno (WC) como fase dura principal, que representa el 70%-85% del peso total, proporciona alta dureza (HV 1700-2000) y excelente resistencia al desgaste, y su estructura hexagonal puede mantener la estabilidad a altas temperaturas. El carburo de titanio (TiC) como fase dura auxiliar, generalmente con un contenido del 5%-20%, mejora significativamente la resistencia al calor y las propiedades antiadherentes del material, especialmente adecuado para prevenir la formación de filo recrecido al cortar acero. El cobalto (Co) como fase de unión, el contenido generalmente está entre el 4%-10%, se funde durante el proceso de sinterización y rellena los espacios entre las partículas de WC y TiC , lo que le da al material buena tenacidad y resistencia al impacto. Además, se pueden añadir, según sea necesario, aditivos traza como el carburo de tántalo (TaC) o el carburo de niobio (NbC) para mejorar aún más la dureza a alta temperatura y refinar los granos. Microscópicamente, el carburo cementado YT presenta una estructura policristalina, con partículas de WC y TiC distribuidas uniformemente y Co formando una red de enlaces continua. Este diseño estructural garantiza la fiabilidad y estabilidad del material en entornos de alta temperatura y carga.

Características de rendimiento del producto de carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)

El carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto es conocido por sus excelentes características de rendimiento. En primer lugar , su alta dureza es la principal ventaja del producto. El rango de dureza oscila entre HV 1700 y 2000, y puede cortar eficazmente acero y aleaciones resistentes al calor con una dureza de hasta HRC 60 o superior. Esta alta dureza le permite un buen rendimiento en cortes de alta velocidad y procesamientos intensivos, prolongando significativamente su vida útil. En segundo lugar, la resistencia al desgaste del producto es extremadamente excelente, con una tasa de desgaste de tan solo 0,01-0,02 $mm^3/N \cdot m$, que supera ampliamente a las herramientas tradicionales de acero de alta velocidad, y puede mantener una estabilidad a largo plazo en el procesamiento de aceros a alta velocidad (1000-3000 rpm) o con contenido de óxido. La adición de TiC también

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

confiere al material una excelente resistencia al calor. Aún puede mantener una alta dureza (>1000 HV) a altas temperaturas de 600-900 °C, resistir el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión, y es particularmente adecuado para entornos de corte de alta temperatura. Además, la tenacidad a la fractura del carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto está entre 12-16 MPa·m $^{1/2}$. El contenido de Co afecta directamente la tenacidad y es adecuado para condiciones de trabajo con cargas de impacto medias. En términos de resistencia a la corrosión, el rendimiento básico es suficiente para hacer frente a un entorno ligeramente ácido y alcalino (pH 4-10), y la estabilidad química del TiC reduce aún más la tendencia a la adhesión durante el corte de acero. Después del pulido fino, la rugosidad superficial del producto puede alcanzar Ra < 0,1 μm , con bajas características de fricción y antiadherencia, lo que es particularmente adecuado para reducir la formación de filo acumulado en el mecanizado de alta velocidad.

Clasificación de productos y grados de carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)

El carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto ha desarrollado diversos grados basados en las diferencias en el contenido de TiC , el contenido de Co y las aplicaciones objetivo. Estos grados se adaptan con precisión a las diversas necesidades, desde el corte a alta velocidad hasta el estampado a alta temperatura. A continuación, se presenta una introducción detallada y un análisis de clasificación de los principales grados, que abarca su composición, parámetros de rendimiento, escenarios aplicables y usos típicos. La siguiente tabla resume esta información para una comprensión intuitiva:

Clasificación de productos y grados de carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)

Marca	Composición (% en peso)	Dureza (HV)	Tenacidad a la fractura (MPa·m$^{1/2}$)	densidad (g/cm^3)	Conductividad térmica (W/ m·K)	Escenarios aplicables	Usos típicos
YT5	WC 81%, TiC 15%, Co 4%	1750-1850	12-14	11.8	60	Corte de alta velocidad de acero y materiales duros.	Herramientas de torneado, fresas
YT14	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	1700-1800	12-14	11.6	58	Corte de acero a velocidad media, semiacabado.	Herramientas de torneado, matrices de trefilado
YT15	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	1700-1800	12-14	11.5	60	Materiales de corte y estampación resistentes al calor	Molde de alta temperatura, molde de estiramiento
YT30	WC 70%, TiC 20%, Co 10%	1600-1700	14-16	11.2	55	Corte y estampación de alta resistencia de acero de alta dureza	Matrices de punzonado pesadas, cuchillas de corte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	Composición (% en peso)	Dureza (HV)	Tenacidad a la fractura (MPa·m¹ / ²)	densidad (g/cm³)	Conductividad térmica (W/ m·K)	Escenarios aplicables	Usos típicos
YT5	WC 82%, TiC 13%, Co 5%	1800-1900	12-13	11.9	62	Corte de precisión de acero, mecanizado de alta velocidad.	Herramientas de torneado de precisión y fresas
YT9	WC 80%, TiC 10%, Co 10%	1650-1750	14-15	11.7	65	Corte de impacto medio, mecanizado general	Herramientas de torneado universales, brocas
YT18	WC 77%, TiC 15%, Co 8%	1650-1750	13-15	11.4	58	Corte de acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor	Cuchillas y moldes de corte de acero inoxidable
YT25	WC 75%, TiC 15%, Co 10%	1600-1700	15-16	11.3	57	Estampado a alta temperatura, corte intermitente	Matriz de estampación de alta temperatura, cuchilla interrumpida
YT10	WC 80%, TiC 10%, Co 10%	1700-1800	13-14	11.7	63	Corte de hierro fundido, procesamiento mixto de acero	Hoja de corte para material mixto
YT8	WC 82%, TiC 10%, Co 8%	1700-1800	13-15	11.6	60	Corte y estampación de materiales de dureza media	Matrices de estampación, herramientas de corte

YT5 es un grado de alta dureza, con un 4 % de Co y un 15 % de TiC , con una dureza de HV 1750-1850 y una tenacidad a la fractura de 12-14 MPa·m¹ / ². Es especialmente adecuado para el corte a alta velocidad de acero y materiales duros, y se utiliza ampliamente en herramientas de torneado y fresado. Su bajo contenido de cobalto garantiza una alta resistencia al desgaste, pero una tenacidad moderada, ideal para condiciones de corte continuo.

El YT14 contiene un 6 % de Co y un 15 % de TiC , con una dureza de HV 1700-1800 y una tenacidad de 12-14 MPa·m¹ / ². Es adecuado para el corte de acero a velocidad media y el semiacabado. Se utiliza comúnmente en herramientas de torneado y matrices de trefilado, y presenta resistencia tanto al calor como al desgaste.

El YT15 también contiene un 6 % de Co y un 15 % de TiC , con una dureza de HV 1700-1800. Presenta una excelente resistencia al calor y propiedades antiadherentes, y es especialmente adecuado para el estampado de materiales resistentes al calor y la fabricación de moldes de alta temperatura, como matrices de embutición y de estampación en caliente.

El YT30 contiene un 10 % de Co y un 20 % de TiC , con una dureza de HV 1600-1700 y una tenacidad de 14-16 MPa·m¹ / ². Está diseñado para corte y estampado intensivos de aceros de alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

dureza y es adecuado para matrices de estampado y cuchillas de corte de alta resistencia.
El YT5A contiene un 5 % de Co y un 13 % de TiC , con una dureza de HV de 1800-1900 y una tenacidad de 12-13 MPa·m¹ / ². Optimiza el rendimiento de corte de precisión y se utiliza ampliamente en herramientas de torneado y fresado de precisión.
El YT9 contiene un 10 % de Co y un 10 % de TiC , tiene una dureza de HV de 1650-1750 y una tenacidad de 14-15 MPa·m¹ / ². Es un grado de uso general, adecuado para corte de impacto medio y procesamiento de materiales mixtos, como herramientas de torneado y brocas de uso general.
El YT18 contiene un 8 % de Co y un 15 % de TiC , con una dureza de HV 1650-1750 y una tenacidad de 13-15 MPa·m¹ / ². Presenta una alta resistencia al calor y a la corrosión, y es especialmente adecuado para el corte de acero inoxidable y aleaciones termorresistentes.
El YT25 contiene un 10 % de Co y un 15 % de TiC , con una dureza de HV 1600-1700 y una tenacidad de 15-16 MPa·m¹ / ². Está diseñado para estampado a alta temperatura y corte intermitente, y es adecuado para matrices de estampado a alta temperatura y cuchillas de corte intermitente.
El YT10 contiene un 10 % de Co y un 10 % de TiC , con una dureza de HV 1700-1800 y una tenacidad de 13-14 MPa·m¹ / ². Es adecuado para el corte mixto de hierro fundido y acero, ofreciendo un rendimiento equilibrado.
El YT8 contiene un 8 % de Co y un 10 % de TiC , con una dureza de HV 1700-1800 y una tenacidad de 13-15 MPa·m¹ / ². Es adecuado para el corte de materiales de dureza media y la fabricación de matrices de estampación.
La diversidad de estos grados refleja la flexibilidad de los carburos cementados de tungsteno-titanio-cobalto. Los usuarios pueden elegir el grado adecuado en función de factores como la velocidad de corte, la dureza del material y las condiciones de temperatura, y encontrar productos compatibles, desde corte de precisión a alta velocidad hasta procesamiento de cargas pesadas a alta temperatura.

Proceso de fabricación de productos de carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)

El proceso de fabricación del carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto encarna la esencia de la ciencia moderna de los materiales. Desde la preparación de la materia prima hasta el producto final, cada paso está estrictamente controlado. Primero, se seleccionan polvos de carburo de tungsteno, carburo de titanio y cobalto de alta pureza con un tamaño de partícula de 0,5-2 μm y se mezclan con un dispersante mediante molienda de bolas húmeda durante 24-48 horas para asegurar una composición uniforme. Posteriormente, la mezcla se seca y se granula mediante tecnología de secado por aspersión, y la distribución del tamaño de partícula es inferior a 5 μm , sentando las bases para el moldeo posterior. El proceso de moldeo incluye prensado isostático en frío (CIP, presión 200-300 MPa) o prensado isostático en caliente (HIP, 1300-1500 °C, presión 100-200 MPa), de modo que la densidad del cuerpo verde alcanza el 60-70%, y la densidad se incrementa a más del 98% mediante el proceso HIP. Para geometrías complejas, se puede utilizar la tecnología de moldeo por inyección de metal (MIM) o impresión 3D con una precisión de hasta ±0,05 mm. El proceso de sinterización utiliza sinterización al vacío (1400-1600 °C, 1-2 horas) o sinterización en fase líquida, y el cobalto se funde a alta temperatura para llenar los poros y controlar el tamaño de grano dentro del rango de 1-5 μm . Después de la sinterización, se utilizan limpieza y recocido de plasma (800-1000 °C) para eliminar la capa de óxido superficial y liberar la tensión interna. Finalmente, el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

producto se procesa mediante rectificado de precisión CNC (precisión ±0,01 mm), recubrimiento PVD (como TiN , espesor 2-10 μm) o pulido químico mecánico (rugosidad superficial Ra < 0,1 μm), mostrando acabado superficial de alta calidad y características funcionales.

Áreas de aplicación del producto de carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT)

El carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto ofrece una amplia gama de aplicaciones en numerosos campos industriales gracias a sus diversas ventajas de rendimiento. Su excelente resistencia al calor y rendimiento de corte lo hacen especialmente excepcional en entornos de procesamiento de alta temperatura y alta velocidad. A continuación, se detallan sus principales áreas de aplicación y se presenta una lista de escenarios de aplicación específicos y ejemplos:

Campo de herramientas de corte

Descripción: Los grados YT5, YT5A e YT14 se utilizan ampliamente en la fabricación de herramientas de torneado, fresas y brocas gracias a su alta dureza y resistencia al desgaste, y son muy eficientes en el procesamiento de acero, carburo y fundición. La velocidad de corte puede alcanzar los 200-300 m/min y la vida útil de la herramienta puede alcanzar las 800-1200 horas, lo que mejora significativamente la eficiencia de procesamiento. El grado YT18 es especialmente adecuado para el corte de acero inoxidable y aleaciones termorresistentes como Inconel 718, reduciendo el recrecimiento del filo y manteniendo su estabilidad.

Aplicaciones específicas:

Procesamiento de autopartes: procesamiento de bloques de cilindros de motor y cigüeñales.

Fabricación mecánica: producción de engranajes de precisión y piezas de ejes.

Ejemplo: Una fábrica de automóviles utilizó una herramienta de torneado YT5 para procesar bielas de acero, aumentando su vida útil en un 30%.

Campo de troqueles de estampación

Descripción: Los grados YT15 e YT30 se utilizan ampliamente en el estampado de materiales resistentes al calor y aceros de alta dureza gracias a su resistencia al calor y alta tenacidad, como paneles de automóviles, carcasas de componentes electrónicos y piezas estructurales. El número de estampaciones puede superar las 800.000, y la superficie del molde presenta un alto rendimiento antiadherente, lo que garantiza una alta precisión y calidad superficial de la pieza. El grado YT25 es especialmente adecuado para el estampado a alta temperatura y satisface las necesidades de moldeo de formas geométricas complejas.

Aplicaciones específicas:

Fabricación de automóviles: estampación de paneles de puertas y parachoques.

Industria electrónica: producción de carcasas y conectores para teléfonos móviles.

Ejemplo: Una empresa de electrónica utilizó la matriz YT15 para estampar carcasas de acero inoxidable, que funcionaron de forma continua 500.000 veces sin desgaste perceptible.

Campo de procesamiento de alta temperatura

Descripción: Los grados YT18 e YT25 se utilizan ampliamente para el corte y estampado a alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

temperatura de aleaciones resistentes al calor, como las de titanio y níquel, gracias a su excelente resistencia al calor (hasta 900 °C) y a la oxidación. Tienen un excelente rendimiento en las industrias aeroespacial, energética y química, y mantienen un rendimiento de corte estable y una larga vida útil de la matriz en entornos de alta temperatura. El YT15 también es adecuado para el mecanizado de piezas tras el tratamiento térmico para reducir la deformación térmica.
Aplicaciones específicas:
Aeroespacial: mecanizado de álabes y carcasas de turbinas.
Industria energética: corte de tuberías de calderas y componentes de válvulas.
Ejemplo: Una compañía aérea utilizó YT25 para cortar carcasas de aleación de titanio, aumentando la eficiencia del procesamiento en un 25%.

Campo de piezas resistentes al desgaste

Descripción: Los grados YT15 e YT30 se utilizan para fabricar matrices de embutición, matrices de estampación en caliente y revestimientos resistentes al desgaste gracias a su excelente resistencia al calor y al desgaste. Son ampliamente utilizados en la industria automotriz y de maquinaria pesada. Estas piezas resisten el desgaste y la adhesión a altas temperaturas, prolongan su vida útil y ofrecen un excelente rendimiento, especialmente en producción continua. El grado YT9 también se puede utilizar para fabricar revestimientos resistentes al desgaste que mejoran el rendimiento superficial de los equipos.
Aplicaciones específicas:
moldes de chapa de acero para conformación en caliente .
Maquinaria pesada: fabricación de revestimientos resistentes al desgaste y carriles guía.
Ejemplo: Un fabricante de automóviles utiliza matrices de embutición YT15 para producir piezas conformadas en caliente con una vida útil de 100.000 veces.

Industria energética y química

Descripción: Los grados YT18 y YW1 se utilizan ampliamente en sellos de válvulas, boquillas de alta presión y revestimientos de reactores en equipos de energía y química gracias a su resistencia a la corrosión y estabilidad a altas temperaturas. Estas piezas pueden funcionar durante largos periodos en entornos con ácidos, álcalis o gases a alta temperatura, lo que reduce las fugas y el desgaste. El YT25 también es adecuado para el procesamiento de portadores de catalizadores a alta temperatura, garantizando así la estabilidad de las reacciones químicas.
Aplicaciones específicas:
Industria petroquímica: procesamiento de tuberías y reactores de alta presión.
Equipos energéticos: fabricación de componentes de válvulas para centrales nucleares.
Ejemplo: Una refinería utilizó boquillas YT18 durante 5.000 horas de funcionamiento sin signos evidentes de corrosión.

Fabricación médica y de precisión

Descripción: Los grados YT5A y YT9 se utilizan para fabricar fresas dentales, herramientas de microcorte y moldes de precisión gracias a su alta precisión y resistencia al desgaste. Estas herramientas ofrecen un excelente rendimiento en cirugía médica y producción de componentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

electrónicos, alcanzando una precisión de procesamiento micrométrica. El YT10 también es adecuado para el procesamiento de materiales mixtos, satisfaciendo las necesidades de productos multimateriales.

Aplicaciones específicas:

Industria médica: producción de herramientas quirúrgicas dentales y ortopédicas.

Fabricación de productos electrónicos: procesamiento de microconectores y sensores.

Ejemplo: una empresa de dispositivos médicos utiliza brocas YT5A para procesar tornillos para huesos con una precisión de ±0,01 mm.

Defensa e industrias especiales

Descripción: Los grados YT30 y YT25 se utilizan en la industria de defensa para el corte de blindaje, el procesamiento de componentes de misiles y el conformado de aleaciones especiales gracias a su alta tenacidad y resistencia al calor. Estas aplicaciones requieren materiales que mantengan su rendimiento en condiciones extremas. El YT18 también se puede utilizar para fabricar moldes militares de alta precisión.

Aplicaciones específicas:

Fabricación de defensa: corte de acero para blindaje de tanques.

Industria aeroespacial: procesamiento de componentes de motores de cohetes.

Ejemplo: Una empresa de defensa utilizó YT30 para cortar acero de blindaje, aumentando su vida útil en un 40%.

La amplia aplicación del carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto en estos campos demuestra plenamente su excelente rendimiento en entornos de procesamiento complejos, de alta velocidad y alta temperatura, proporcionando soluciones de procesamiento eficientes y duraderas para diversas industrias.

El carburo cementado de tungsteno-titanio-cobalto (YT) se ha convertido en el material clave para el corte industrial y el procesamiento a alta temperatura gracias a su excelente dureza, resistencia al calor, al desgaste y a la adhesión. Su diseño científico, su preciso proceso de fabricación y su diversificada selección de grados le permiten satisfacer una amplia gama de necesidades, desde el corte a alta velocidad hasta el estampado a alta temperatura.

¿Qué es el carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW)?

El carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW) es un material compuesto sinterizado de alto rendimiento, fabricado con carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC) y carburo de tántalo (TaC) como fases duras y cobalto (Co) como fase aglutinante mediante pulvimetalurgia avanzada. YW es la abreviatura de "Yong Ti" y "Tan", lo que refleja su combinación única de ingredientes. Este material es especialmente adecuado para entornos de procesamiento extremos, como el corte de materiales de alta dureza, el sellado de medios altamente corrosivos y condiciones de trabajo de alta presión, gracias a su excelente resistencia al calor, al desgaste, a la corrosión y al impacto. El carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio puede satisfacer diversas necesidades, desde el corte de precisión hasta la resistencia al desgaste bajo cargas pesadas, mediante el ajuste preciso de la proporción de cada componente y la estructura del grano, lo que proporciona una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn
电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

solución eficiente y duradera para la fabricación industrial.

Composición y estructura del producto de carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW)

El excelente rendimiento del carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo se debe a su complejo diseño de composición y a su precisa microestructura. El carburo de tungsteno (WC), como fase dura principal, representa entre el 70 % y el 80 % del peso total, lo que proporciona una alta dureza (HV 1700-1900) y una excelente resistencia al desgaste. Su estructura hexagonal se mantiene estable a altas temperaturas. El contenido de carburo de titanio (TiC) suele estar entre el 5 % y el 15 %, lo que mejora la resistencia al calor y las propiedades antiadherentes del material, y es especialmente adecuado para reducir el recrecimiento del filo al cortar acero o aleaciones resistentes al calor. El carburo de tántalo (TaC), como aditivo clave, suele estar entre el 1 % y el 5 %, lo que mejora significativamente la dureza a alta temperatura, la resistencia al agrietamiento térmico y la resistencia a la oxidación, lo que lo hace excepcional en entornos de temperaturas extremadamente altas. El cobalto (Co) como fase de enlace, con un contenido habitual de entre el 6 % y el 12 %, se funde y rellena los huecos entre las partículas de la fase dura durante el proceso de sinterización, lo que confiere al material buena tenacidad y resistencia al impacto. Además, se pueden añadir trazas de carburo de niobio (NbC) o carburo de cromo (Cr_3C_2) según las necesidades específicas para optimizar aún más el refinamiento del grano o la resistencia a la corrosión. Microscópicamente, el carburo cementado YW presenta una estructura policristalina, con partículas de WC, TiC y TaC distribuidas uniformemente, y el Co formando una red de enlace continua. Este diseño colaborativo multifásico garantiza la fiabilidad y durabilidad del material en entornos corrosivos y de alta temperatura y alta presión.

Características de rendimiento del producto de carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW)

El carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo es conocido por su excelente rendimiento integral. En primer lugar , su alta dureza es la principal ventaja del producto. El rango de dureza oscila entre HV 1700 y 1900, y puede cortar eficazmente acero de alta dureza, aleaciones de titanio y aleaciones a base de níquel con una dureza de hasta HRC 60 o superior. Esta alta dureza le permite un buen rendimiento en cortes pesados y mecanizado de precisión, prolongando significativamente la vida útil de herramientas y moldes. En segundo lugar, el producto presenta una excelente resistencia al desgaste, con una tasa de desgaste de tan solo 0,01-0,015 $mm^3/N \cdot m$, muy superior a la de las herramientas tradicionales de acero de alta velocidad, y puede mantener una estabilidad a largo plazo a altas velocidades (1500-3500 rpm) o en medios con contenido de partículas. La adición de TaC proporciona al material una excelente resistencia al calor, y aún puede mantener una alta dureza (>1050 HV) a altas temperaturas de 700-1000 °C, resistir el agrietamiento térmico y el desgaste por difusión, y es particularmente adecuado para entornos de corte a alta temperatura y procesamiento en caliente. Además, la tenacidad a la fractura del carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo está entre 15-18 $MPa \cdot m^{1/2}$. El contenido de Co afecta directamente la tenacidad, que es adecuada

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

para condiciones de carga de impacto medias a altas. En términos de resistencia a la corrosión, las adiciones de TaC y posibles Cr mejoran significativamente la resistencia del material a ácidos fuertes (pH <3), álcalis fuertes (pH >12) y medios que contienen H_2S o CO_2, con una tasa de corrosión de menos de 0,01 mm/año, lo que lo hace particularmente adecuado para las industrias química y petrolera. Después del pulido fino, la rugosidad de la superficie del producto puede alcanzar Ra < 0,1 μm , con baja fricción y propiedades antiadherentes, lo que lo hace adecuado para manipular medios viscosos o corrosivos.

Clasificación de productos y grados de carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW)

El carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo ha desarrollado diversos sistemas de grados basados en la proporción de TiC , TaC y Co, así como en la diversidad de escenarios de aplicación. Estos grados pueden satisfacer con precisión una amplia gama de necesidades, desde corte de precisión hasta resistencia extrema al desgaste. A continuación, se presenta una introducción detallada y un análisis de clasificación de los principales grados, que abarca su composición, parámetros de rendimiento, escenarios de aplicación y usos típicos. La siguiente tabla resume esta información para una comprensión intuitiva:

Marca	Composición (% en peso)	dureza (Alto voltaje)	Tenacidad a la fractura ($MPa \cdot m^{1/2}$)	densidad (g/cm^3)	Conductividad térmica (W/ m·K)	Escenarios aplicables	Usos típicos
YW1	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	1700-1800	15-17	12.8	65	Entorno corrosivo fuerte, procesamiento a alta presión.	Anillo de sellado, boquilla química
YW2	WC 77%, TiC 12%, TaC 3%, Co 8%	1750-1850	14-16	12.7	63	Corte de alta temperatura, aleación resistente al calor.	Herramientas de torneado, moldes de alta temperatura
YW3	WC 76%, TiC 10%, TaC 4%, Co 10%	1700-1800	15-17	12.6	62	Corte de acero de alta dureza, corte interrumpido	Cuchillas de corte intermitentes, matrices de embutición
YW5	WC 75%, TiC 15%, TaC 2%, Co 8%	1650-1750	16-18	12.5	60	Corte y punzonado de alta resistencia de materiales de alta dureza.	Matrices de punzonado pesadas, cuchillas de corte
Año nuevo 10	WC 80%, TiC 5%, TaC 3%, Co 12%	1700-1800	16-18	13.0	67	Corte general, carga de impacto	Herramientas de torneado universales,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Marca	Composición (% en peso)	dureza (Alto voltaje)	Tenacidad a la fractura (MPa·m¹ / ²)	densidad (g/cm³)	Conductividad térmica (W/ m·K)	Escenarios aplicables	Usos típicos
							brocas
Año nuevo 15	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	1650-1750	17-19	12.8	65	Condiciones de alto impacto, piezas resistentes al desgaste.	Excavadora, rompedora
Año nuevo 2020	WC 75%, TiC 12%, TaC 3%, Co 10%	1600-1700	18-20	12.5	63	Resistente a grandes impactos y medios que contienen partículas.	Broca, boquilla
YW25	WC 73%, TiC 15%, TaC 2%, Co 10%	1600-1700	18-20	12.4	60	Procesamiento a temperaturas extremadamente altas, entorno resistente a la corrosión.	Válvulas y sellos de alta presión
YW30	WC 70%, TiC 10%, TaC 5%, Co 15%	1550-1650	19-21	12.2	58	Resistente al desgaste y a condiciones de trabajo complejas.	Revestimiento resistente al desgaste, herramientas de minería.

El YW1 contiene 10 % de Co, 10 % de TiC y 2 % de TaC , con una dureza de HV de 1700-1800 y una tenacidad de 15-17 MPa·m¹ / ². Presenta una alta resistencia a la corrosión y es especialmente adecuado para entornos altamente corrosivos y procesos de alta presión, como anillos de sellado y boquillas químicas.

El YW2 contiene 8 % de Co, 12 % de TiC y 3 % de TaC , con una dureza de HV de 1750-1850 y una tenacidad de 14-16 MPa·m¹ / ². Presenta una excelente resistencia térmica y es adecuado para el corte a alta temperatura y el procesamiento de aleaciones resistentes al calor, como herramientas de torneado y moldes de alta temperatura.

El YW3 contiene 10 % de Co, 10 % de TiC y 4 % de TaC , con una dureza de HV de 1700-1800 y una tenacidad de 15-17 MPa·m¹ / ². Es adecuado para el corte de acero de alta dureza y para cortes intermitentes, como cuchillas de corte intermitente y matrices de embutición.

El YW5 contiene 8 % de Co, 15 % de TiC y 2 % de TaC , con una dureza de HV de 1650-1750 y una tenacidad de 16-18 MPa·m¹ / ². Está diseñado para corte y estampado intensivos de materiales de alta dureza, como matrices de estampado pesadas y cuchillas de corte.

El YW10 contiene 12 % de Co, 5 % de TiC y 3 % de TaC , con una dureza de HV 1700-1800 y una tenacidad de 16-18 MPa·m¹ / ². Es un grado de uso general, adecuado para cargas de corte e impacto generales, como herramientas de torneado y brocas.

El YW15 contiene 10 % de Co, 10 % de TiC y 2 % de TaC , con una dureza de HV 1650-1750 y una tenacidad de 17-19 MPa·m¹ / ². Es adecuado para condiciones de trabajo de alto impacto y para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la fabricación de piezas resistentes al desgaste, como cortadoras y rompedoras de túneles.
El YW20 contiene 10 % de Co, 12 % de TiC y 3 % de TaC , con una dureza de HV 1600-1700 y una tenacidad de 18-20 MPa·m¹ / ². Presenta una resistencia al impacto extremadamente alta y es adecuado para medios con partículas y entornos complejos, como brocas y boquillas.
El YW25 contiene 10 % de Co, 15 % de TiC y 2 % de TaC , con una dureza de HV 1600-1700 y una tenacidad de 18-20 MPa·m¹ / ². Está diseñado para entornos de procesamiento a temperaturas extremadamente altas y resistencia a la corrosión, como válvulas y sellos de alta presión .
El YW30 contiene 15 % de Co, 10 % de TiC y 5 % de TaC , con una dureza de HV 1550-1650 y una tenacidad de 19-21 MPa·m¹ / ². Es adecuado para condiciones de trabajo complejas y de alto desgaste, como revestimientos resistentes al desgaste y herramientas de minería.

La diversidad de estos grados refleja la flexibilidad de los carburos cementados de tungsteno-titanio-tántalo. Los usuarios pueden elegir el grado adecuado según la dureza del procesamiento, las condiciones de temperatura y la corrosividad ambiental, y encontrar productos compatibles, desde corte de precisión hasta resistencia extrema al desgaste.

Proceso de fabricación de productos de carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW)

El proceso de fabricación del carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo encarna la esencia de la ciencia de los materiales modernos. Desde la preparación de la materia prima hasta el producto final, cada paso se controla estrictamente. Primero, se seleccionan polvos de carburo de tungsteno, carburo de titanio, carburo de tántalo y cobalto de alta pureza con un tamaño de partícula de 0,5-2 µm y se mezclan con un dispersante mediante molienda de bolas húmeda durante 24-48 horas para garantizar una composición uniforme. Posteriormente, la mezcla se seca y se granula mediante secado por aspersión, obteniendo una distribución del tamaño de partícula inferior a 5 µm , lo que sienta las bases para el moldeo posterior. El proceso de moldeo incluye prensado isostático en frío (CIP, presión 200-300 MPa) o prensado isostático en caliente (HIP, 1300-1500 °C, presión 100-200 MPa), de modo que la densidad del cuerpo verde alcanza el 60-70%, y la densidad se incrementa a más del 98% a través del proceso HIP. Para geometrías complejas, se puede utilizar el moldeo por inyección de metal (MIM) o la tecnología de impresión 3D con una precisión de hasta ±0,05 mm. El proceso de sinterización utiliza sinterización al vacío (1400-1600 °C, 1-2 horas) o sinterización en fase líquida, y el cobalto se funde a alta temperatura para llenar los poros y controlar el tamaño de grano dentro del rango de 1-5 µm . Después de la sinterización, se utiliza limpieza y recocido con plasma (800-1000 °C) para eliminar la capa de óxido superficial y liberar la tensión interna. Finalmente, el producto se procesa mediante rectificado de precisión CNC (precisión ±0,01 mm), revestimiento PVD (como TiN , espesor 2-10 µm) o pulido químico mecánico (rugosidad superficial Ra <0,1 µm), mostrando un acabado superficial de alta calidad y características funcionales.

Áreas de aplicación del producto de carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio (YW)

El carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo posee una amplia gama de aplicaciones en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

numerosos campos industriales gracias a sus diversas ventajas de rendimiento. Su excelente resistencia al calor, a la corrosión y al desgaste lo hacen especialmente excepcional en entornos extremos de procesamiento y sellado. A continuación, se detallan sus principales áreas de aplicación, con ejemplos y escenarios de aplicación específicos en forma de lista:

Campo de herramientas de corte

Descripción: Los grados YW2, YW3 y YW10 se utilizan ampliamente en la fabricación de herramientas de torneado, fresas y brocas gracias a su alta dureza y resistencia al calor. Además, son eficientes en el procesamiento de acero de alta dureza, aleaciones de titanio y aleaciones a base de níquel. La velocidad de corte puede alcanzar los 150-250 m/min y la vida útil de la herramienta puede alcanzar las 1000-1500 horas, lo que mejora significativamente la eficiencia de procesamiento. El grado YW18 es especialmente adecuado para el corte de acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor, reduciendo la deformación térmica y el recrecimiento del filo.

Aplicaciones específicas:

Aeroespacial: Procesamiento de álabes de turbinas y piezas estructurales aeroespaciales.

Fabricación mecánica: producción de engranajes y cojinetes de alta resistencia.

Ejemplo: Una empresa de aviación utilizó herramientas de torneado YW2 para procesar piezas de aleación de titanio, aumentando su vida útil en un 35%.

Campo de troqueles de estampación

Descripción: Los grados YW5 y YW25 se utilizan ampliamente en el estampado de acero de alta dureza y aleaciones resistentes al calor, como paneles de carrocería, piezas estructurales aeroespaciales y carcasas de componentes electrónicos, gracias a su resistencia al calor y alta tenacidad. El número de estampaciones puede superar el millón de veces, y la superficie del molde posee excelentes propiedades anticorrosivas y antiadherentes, lo que garantiza una alta precisión y calidad superficial de la pieza. El grado YW3 también es adecuado para el estampado intermitente, reduciendo el agrietamiento del molde.

Aplicaciones específicas:

Fabricación de automóviles: estampación de puertas y capós.

Industria electrónica: producción de conectores y carcasas de precisión.

Ejemplo: Una fábrica de automóviles utilizó un molde YW5 para estampar acero de alta resistencia y funcionó de forma continua 800.000 veces sin desgaste evidente.

Campo de procesamiento de alta temperatura

Descripción: Los grados YW2 y YW25 se utilizan ampliamente para el corte y estampado a alta temperatura de aleaciones resistentes al calor, como Inconel 718 y aleaciones de tungsteno, gracias a su excelente resistencia al calor (hasta 1000 °C) y a la oxidación. Destacan en las industrias aeroespacial, energética y de defensa, manteniendo un rendimiento de corte estable y una larga vida útil de la matriz en entornos de alta temperatura. El YW15 también es adecuado para el acabado de piezas tras el tratamiento térmico.

Aplicaciones específicas:

Aeroespacial: Mecanizado de componentes de motores de cohetes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Industria energética: corte de tuberías de calderas de alta temperatura.
Ejemplo: Una empresa de energía utilizó YW25 para cortar válvulas de alta temperatura, aumentando la eficiencia del procesamiento en un 20%.

Campo de piezas resistentes al desgaste

Descripción: Los grados YW15, YW20 y YW30 se utilizan para fabricar matrices de embutición, matrices de estampación en caliente, revestimientos resistentes al desgaste y rieles guía gracias a su excelente resistencia al calor y al desgaste. Se utilizan ampliamente en la industria automotriz, de maquinaria pesada y minera. Estas piezas resisten el desgaste por alta temperatura, la adhesión y la erosión por partículas, prolongan su vida útil y ofrecen un excelente rendimiento, especialmente en producción continua. El grado YW25 también se puede utilizar para recubrimientos resistentes a la corrosión.
Aplicaciones específicas:
moldes de chapa de acero para conformación en caliente .
Maquinaria pesada: fabricación de revestimientos y rodillos resistentes al desgaste.
Ejemplo: Una fábrica de maquinaria utiliza matrices de estiramiento YW20 para producir piezas de automóviles con una vida útil de 120.000 veces.

Industria energética y química

Descripción: Los grados YW1 y YW25 se utilizan ampliamente en sellos de válvulas, boquillas de alta presión, revestimientos de reactores y accesorios de tuberías en equipos de energía y química gracias a su resistencia a la corrosión y estabilidad a altas temperaturas. Estas piezas pueden funcionar durante largos periodos en medios ácido-base, gas a alta temperatura o H_2S, lo que reduce las fugas y el desgaste. El grado YW30 también es adecuado para revestimientos resistentes al desgaste en condiciones extremas.
Aplicaciones específicas:
Industria petroquímica: procesamiento de reactores de alta presión y tuberías.
Equipos energéticos: fabricación de válvulas y componentes de bombas para centrales nucleares.
Ejemplo: Una refinería utilizó sellos YW1 durante 6.000 horas sin signos de corrosión.

Fabricación médica y de precisión

Descripción: Los grados YW10 y YW15 se utilizan para fabricar fresas dentales, herramientas de microcorte y moldes de precisión gracias a su alta precisión y resistencia al desgaste. Estas herramientas son excelentes en cirugía médica, producción de componentes electrónicos e instrumentos ópticos, y alcanzan una precisión de procesamiento micrométrica. El grado YW5 también es adecuado para el procesamiento de materiales mixtos.
Aplicaciones específicas:
Industria médica: producción de herramientas quirúrgicas ortopédicas y fresas dentales.
Fabricación de productos electrónicos: procesamiento de microsensores y conectores.
Ejemplo: Una empresa médica utiliza una broca YW10 para procesar articulaciones artificiales con una precisión de ±0,01 mm.

Defensa e industrias especiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Descripción: Los grados YW30 y YW25 se utilizan en la industria de defensa para el corte de acero para blindaje, el procesamiento de componentes de misiles y el conformado de aleaciones especiales gracias a su alta tenacidad y resistencia al calor. Estas aplicaciones requieren materiales que mantengan su rendimiento en condiciones extremas de temperatura e impacto. El YW15 también se puede utilizar para fabricar moldes militares de alta precisión y revestimientos de blindaje.
Aplicaciones específicas:
Fabricación de material de defensa: corte de blindaje de tanques y proyectiles de artillería.
Industria aeroespacial: procesamiento de piezas estructurales de satélites.
Ejemplo: Una unidad de defensa utilizó YW30 para cortar acero de armadura y su vida útil aumentó en un 45%.

Ingeniería marina y aplicaciones anticorrosivas
Descripción: Los grados YW1 y YW25 se utilizan en herramientas de perforación, sellos de bombas sumergibles y componentes de plataformas marinas en ingeniería marina gracias a su excelente resistencia a la corrosión y al agua de mar. Estos componentes pueden funcionar durante mucho tiempo en entornos de niebla salina, alta presión y agua de mar corrosiva, lo que reduce los costos de mantenimiento.
Aplicaciones específicas:
Perforación marina: fabricación de brocas para perforación en aguas profundas y sellos de bombas.
Plataformas offshore: procesamiento de tuberías resistentes a la corrosión.
Ejemplo: Una empresa marina utilizó la broca YW1 en operaciones en aguas profundas durante 5.000 horas con un rendimiento estable.
La amplia aplicación del carburo cementado de tungsteno-titanio-tantalio en estos campos demuestra plenamente su excelente rendimiento en temperaturas extremadamente altas, alta presión, fuerte corrosión y entornos de procesamiento complejos, proporcionando soluciones de procesamiento y sellado eficientes y duraderas para diversas industrias.

El carburo cementado de tungsteno-titanio-tántalo (YW) se ha convertido en el material clave para el corte industrial, el procesamiento a alta temperatura y las aplicaciones en entornos extremos gracias a su excelente dureza, resistencia al calor, al desgaste y a la corrosión. Su diseño de composición científica, su preciso proceso de fabricación y su diversificada selección de grados le permiten satisfacer una amplia gama de necesidades, desde el corte de precisión hasta la resistencia al desgaste de alta resistencia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn
电话/TEL：0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

GB/T 2076-2015
carburo cementado
Descripción general

Número estándar: GB/T 2076-2015
Nombre chino: carburo cementado
Nombre en inglés: Aleaciones de carburo
Fecha de lanzamiento: 9 de octubre de 2015
Fecha de entrada en vigor: 1 de mayo de 2016
Versión de reemplazo: Reemplaza GB/T 2076-2003
Unidad de formulación: lo emite la Administración de Normalización de China (SAC), y las unidades de redacción específicas incluyen asociaciones de la industria del carburo cementado, instituciones de investigación científica y empresas.
Ámbito de aplicación: Adecuado para productos de carburo cementado preparados mediante un proceso de pulvimetalurgia con carburo (como WC, TiC , TaC , etc.) como fase dura y metal (como Co, Ni) como fase de unión, incluidas herramientas de corte, moldes, piezas resistentes al desgaste, etc.

---

1. Alcance

Los objetos aplicables de la norma se definen como: todos los carburos cementados con carburo como fase dura y metal como fase de unión, incluidos, entre otros, tungsteno-cobalto (YG), tungsteno-titanio-cobalto (YT), tungsteno-titanio-tantalio (YW), etc.
Se aclaran los escenarios aplicables: corte, estampación, herramientas de minería, piezas resistentes al desgaste, etc.
Tenga en cuenta que no es aplicable a materiales duros ni a productos de revestimiento que no se produzcan mediante pulvimetalurgia.

2. Referencias normativas

Se enumeran otras normas nacionales relacionadas con esta norma para pruebas y evaluación del desempeño, incluidas, entre otras:
GB/T 3850: Método de prueba para la dureza del carburo cementado
GB/T 3851: Método de ensayo para la resistencia a la flexión del carburo cementado
GB/T 5242: Método para la determinación de la densidad del carburo cementado
GB/T 5243: Método para la determinación de la microestructura del carburo cementado
GB/T 5244: Métodos de análisis químico para carburo cementado
Estas normas proporcionan una base técnica para las pruebas de rendimiento y garantizan la coherencia.

3. Términos y definiciones

Define términos relacionados con el carburo como:
Fase dura: término general para carburos (como WC, TiC , TaC).
Fase de enlace: el papel del metal (como Co, Ni).
Grado: Marca de clasificación de carburo cementado (como YG6, YT5).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Microestructura: características como el tamaño de grano y la distribución de fases.
Garantizar el uso coherente de la terminología dentro del estándar.

4. Grados y clasificación

Reglas de denominación de marca:
Serie YG: tipo tungsteno-cobalto. La letra "YG" se compone de las iniciales en pinyin de "tungsteno" (Wǔ) y "cobalto" (Gǔ) , y el número representa el contenido de cobalto (por ejemplo, YG6 significa Co 6%).
Serie YT: tungsteno-titanio-cobalto. La serie "YT" está compuesta de tungsteno (Wǔ) y titanio (Tài). El número refleja el rendimiento o el contenido de cobalto (como YT 5) .
Serie YW: tungsteno-titanio-tantalio. «YW» se deriva de las primeras letras de «tungsteno» (W ǔ) , «titanio» (Tài) y «tantalio» (Tàn). Los números indican el nivel de rendimiento (como YW1).
Clasificación por:
Según componentes principales: WC-Co (YG), WC- TiC -Co (YT), WC- TiC-TaC -Co (YW).
Por rendimiento: alta dureza, resistencia al desgaste, alta tenacidad, etc.
Por finalidad: corte, estampación, resistencia al desgaste, etc.

5. Requisitos técnicos

Ingredientes necesarios:
Se especifica la proporción de carburo y fase aglutinante para cada grado. Por ejemplo, el contenido de Co del YG6 es del 5,5 % al 6,5 %, y el de WC representa el 93 % al 94 %.
en el contenido de impurezas permitido (como Fe, O_2) .
Propiedades físicas:
Dureza: Expresada en HV o HRA, oscilando entre 1500-2000 HV, dependiendo de la marca.
Resistencia a la flexión: 1500-2500 MPa, refleja la capacidad del material para resistir la fractura.
Densidad: 11,2-15,0 g/cm³ , dependiendo de la relación de composición.
Tenacidad a la fractura: 12-25 MPa·m $^{1/2}$ (disponible para algunos grados).
Microestructura: El tamaño de grano normalmente se controla entre 0,5 y 5 μm .
Calidad de la superficie: sin defectos como grietas y poros, rugosidad de la superficie Ra ≤ 0,8 μm (puede alcanzar 0,1 μm después del procesamiento).

6. Métodos de prueba

Prueba de dureza: según GB/T 3850, utilice un probador de dureza Vickers o Rockwell.
Prueba de resistencia a la flexión: según GB/T 3851, método de flexión de tres o cuatro puntos.
Prueba de densidad: Según GB/T 5242, método de drenaje o método de Arquímedes.
Análisis químico: De acuerdo con GB/T 5244, se determinaron los contenidos de WC, Co, TiC , TaC , etc.
Análisis de microestructura: De acuerdo con GB/T 5243, utilice un microscopio metalográfico o un microscopio electrónico de barrido para evaluar el tamaño del grano y la distribución de fases.

7. Reglas de inspección

Muestreo: El muestreo se realiza por lotes y el número de muestras se especifica en la tabla estándar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(por ejemplo, 5-10 piezas por lote).
Elementos de inspección: composición, dureza, resistencia a la flexión, densidad y microestructura.
Evaluación: Todos los indicadores deben cumplir con los requisitos técnicos. Si un solo elemento falla, se considerará producto defectuoso.

8. Embalaje, marcado, transporte y almacenamiento

Embalaje: Utilice cajas de madera o embalajes de plástico resistentes a la humedad y a los impactos, revestidos con materiales protectores.
Marcado: Número de marca (como YG6), número de lote de producción, fecha de producción e información del fabricante.
Transporte: Evite vibraciones severas y ambientes con alta humedad.
Almacenamiento: Almacenar en un lugar seco y ventilado, lejos de sustancias corrosivas.

9. Certificado de calidad

Proporcionar informe de prueba, incluyendo marca, número de lote, datos de rendimiento (dureza, resistencia, etc.) y conclusión de la prueba.
El certificado debe ser emitido por el fabricante y cumplir con los requisitos de GB/T 2076.

10. Apéndice

Apéndice A: Tabla de comparación de marca y rendimiento, enumera los parámetros de rendimiento típicos de las series YG, YT e YW.
Apéndice B: Explicación detallada del método de prueba, que complementa los pasos operativos de GB/T 3850 y otras normas.
Apéndice C (Informativo): Comparación de normas internacionales (como ISO 513), de referencia pero no obligatoria.

11. Actualizaciones clave de GB/T 2076-2003

Nuevos grados: se agregaron requisitos relevantes para el carburo cementado nanocristalino (como YG6X) y el carburo cementado recubierto.
Mejora del rendimiento: se han mejorado la resistencia a la flexión y la tenacidad de algunos grados.
Optimización del método de prueba: se introdujo un método de análisis de microestructura más preciso.
Requisitos de protección del medio ambiente: mayor control sobre sustancias nocivas (como metales pesados) en el proceso de producción.

Características estándar y significado

Estandarización: Se unificaron los requisitos de denominación y rendimiento del carburo cementado para facilitar la producción nacional y el comercio internacional.
Progreso tecnológico: La edición de 2015 refleja el desarrollo de la nanotecnología y la tecnología de recubrimiento para adaptarse a las necesidades industriales modernas.
Practicidad: Cubre el proceso completo desde las materias primas hasta los productos terminados para garantizar la calidad del producto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Obtenga el texto completo

Canales oficiales: se puede adquirir a través de la plataforma de servicio de información de normalización nacional, China Standards Press.

Costo: El texto completo de las publicaciones estándar generalmente está disponible a cambio de una tarifa, cuyo precio varía según la edición y el idioma.

Recursos alternativos: Algunos resúmenes o interpretaciones pueden encontrarse en sitios web de asociaciones industriales o en literatura académica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tabla comparativa de grados de carburo cementado chinos e internacionales

Porcelana Marca	Composición (% en peso)	dureza (Alto voltaje)	Tenacidad a la fractura (MPa·m¹ / ²)	densidad (g/cm³)	ISO Rango de calificaciones	Escenarios aplicables
YG6	WC 94%, Co 6%	1800-1900	14-16	14.9	K10-K20	Corte de precisión de hierro fundido y metales no ferrosos
YG6X	WC 94%, Co 6% (Grano ultrafino)	1900-2000	13-15	14.9	K05-K10	Corte de ultraprecisión, microherramientas
YG8	WC 92%, Co 8%	1700-1800	16-18	14.7	K20-K30	Matrices de estampación, corte de carga media
YG10	WC 90%, Co 10%	1650-1750	17-19	14.5	K30-K40	Corte general, carga de impacto
YG15	WC 85%, Co 15%	1500-1600	18-20	14.0	K40	Condiciones de alto impacto, herramientas de tunelaje
YG20	WC 80%, Co 20%	1500-1600	20-25	13.8	K40-K50	Resistente a grandes impactos y medios que contienen partículas.
YT5	WC 81%, TiC 15%, Co 4%	1750-1850	12-14	11.8	P10-P20	Corte de alta velocidad de acero y materiales duros.
YT14	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	1700-1800	12-14	11.6	P20-P30	Corte de acero a velocidad media, semiacabado.
YT15	WC 79%, TiC 15%, Co 6%	1700-1800	12-14	11.5	P30	Materiales de corte y estampación resistentes al calor
YT30	WC 70%, TiC 20%, Co 10%	1600-1700	14-16	11.2	P40	Corte y estampación de alta resistencia de acero de alta dureza
YW1	WC 78%, TiC 10%, TaC 2%, Co 10%	1700-1800	15-17	12.8	P10-P20/M10-M20	Entorno corrosivo fuerte, procesamiento a alta presión.
YW2	WC 77%, TiC 12%, TaC 3%, Co 8%	1750-1850	14-16	12.7	P20-P30	Corte de alta temperatura, aleación resistente al calor.
YW5	WC 75%, TiC 15%, TaC 2%, Co 8%	1650-1750	16-18	12.5	P30-P40	Corte y punzonado de alta resistencia de materiales de alta dureza.

ilustrar

Marca china : Según la norma GB/T 2076, YG significa sistema de tungsteno-cobalto, YT significa sistema de tungsteno-titanio-cobalto y YW significa sistema de tungsteno-titanio-tantalio. Los números suelen indicar el contenido de cobalto o el grado de rendimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Grado ISO :

Categoría K : adecuado para hierro fundido y metales no ferrosos, K10-K20 representa un corte de precisión de alta dureza, K40-K50 representa una carga pesada de alta tenacidad.

Categoría P : adecuado para corte de acero, P10-P20 indican corte de alta velocidad y P30-P40 indican corte resistente al calor o carga pesada.

Clase M : aplicable a una variedad de materiales, YW1 puede involucrar M10-M20 debido a la resistencia a la corrosión.

Rango de propiedades : Los datos de dureza, tenacidad y densidad son valores típicos. Los parámetros específicos pueden variar debido a los procesos de producción (como granos ultrafinos o recubrimientos).

Escenarios aplicables : según la clasificación ISO y la experiencia de aplicación real, la serie YG tiende a ser de tipo K, la serie YT tiende a ser de tipo P y la serie YW puede tener en cuenta los tipos P y M debido a la adición de TaC .

Precauciones

Los grados ISO son rangos generales y su correspondencia no es unívoca. La selección real debe basarse en el material de la pieza, las condiciones de corte y el diseño de la herramienta.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tabla comparativa de grados de aleación dura de China e internacionales

Grado de China	Composición (% en peso)	Dureza (HV)	Fractura Tenacidad (MPa·m¹ / ²)	Densidad (g/cm³)	Grado ISO Rango	Escenarios de aplicación
YG6	WC 94, Compañía 6	1800-1900	14-16	14.9	K10-K20	Corte de precisión de hierro fundido y metales no ferrosos.
YG6X	WC 94, Co (ultrafino)	1900-2000	13-15	14.9	K05-K10	Corte de ultraprecisión, microherramientas
YG8	WC 92, Compañía 8	1700-1800	16-18	14.7	K20-K30	Moldes de estampación, corte de carga media
YG10	WC 90, Compañía 10	1650-1750	17-19	14.5	K30-K40	Corte general, carga de impacto
YG15	WC 85, Compañía 15	1500-1600	18-20	14.0	K40	Condiciones de alto impacto, herramientas de tunelaje
YG20	WC 80, Co 20	1500-1600	20-25	13.8	K40-K50	Medios cargados de partículas y de alta resistencia al impacto
YT5	WC 81, TiC 15, Compañía 4	1750-1850	12-14	11.8	P10-P20	Corte de alta velocidad de acero y materiales duros.
YT14	WC 79, TiC 15, Compañía 6	1700-1800	12-14	11.6	P20-P30	Corte de acero a velocidad media, semiacabado
YT15	WC 79, TiC 15, Compañía 6	1700-1800	12-14	11.5	P30	Corte resistente al calor, estampación de materiales resistentes al calor
YT30	WC 70, TiC 20, Co 10	1600-1700	14-16	11.2	P40	Corte de alta resistencia, estampación de acero de alta dureza.
YW1	WC 78, TiC 10, TaC2 , Compañía 10	1700-1800	15-17	12.8	P10-P20/M10-M20	Entornos corrosivos fuertes, procesamiento a alta presión.
YW2	WC 77, TiC 12, TaC 3, Compañía 8	1750-1850	14-16	12.7	P20-P30	Corte de alta temperatura, aleaciones resistentes al calor
YW5	WC 75, TiC 15, TaC2 , Co8	1650-1750	16-18	12.5	P30-P40	Corte de alta resistencia, estampación de materiales de alta dureza.

Notas

Grados de China : Según la norma GB/T 2076, YG corresponde a la serie tungsteno-cobalto, YT a la serie tungsteno-titanio-cobalto y YW a la serie tungsteno-titanio-tantalio. Los números suelen indicar el contenido de cobalto o el nivel de rendimiento.

Grados ISO :

Clase K : Adecuado para hierro fundido y metales no ferrosos, K10-K20 para corte de precisión de alta dureza, K40-K50 para cargas pesadas de alta tenacidad.

Clase P : Adecuado para corte de acero, P10-P20 para corte de alta velocidad, P30-P40 para corte resistente al calor o de alta resistencia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Clase M : Adecuado para múltiples materiales, la resistencia a la corrosión de YW1 puede involucrar M10-M20.

Rango de rendimiento : Los datos de dureza, tenacidad y densidad son valores típicos y pueden variar debido a los procesos de producción (por ejemplo , grano ultrafino o recubrimiento).

Escenarios de aplicación : enumerados según las clasificaciones ISO y la experiencia práctica, con la serie YG tendiendo hacia la clase K, la serie YT hacia la clase P y la serie YW abarcando potencialmente las clases P y M debido a la adición de TaC .

Consideraciones

Los grados ISO representan una gama general, y la correspondencia no siempre es exacta. La selección real debe considerar el material de la pieza, las condiciones de corte y el diseño de la herramienta.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI , ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn









COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved