

Carburo cementado de tungsteno
Exploración integral de propiedades físicas y químicas,
procesos y aplicaciones (XII)

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
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

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
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

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
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

Parte 4: Clasificación y campos de aplicación del carburo cementado

Capítulo 12 Piezas resistentes al desgaste de carburo cementado e ingeniería de superficies

12.0 Descripción general de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado e ingeniería de superficies

Las piezas de carburo resistentes al desgaste desempeñan un papel importante en la industria moderna gracias a sus excelentes propiedades mecánicas y durabilidad. Su alta dureza ($HV\ 1600-2500 \pm 30$), excelente resistencia al desgaste (velocidad de desgaste $<0,05\ mm^3 / N \cdot m \pm 0,01\ mm^3 / N \cdot m$) y excelente resistencia al impacto (energía de impacto $>50\ J \pm 5\ J$) las convierten en los materiales predilectos para aplicaciones como moldes, sellos, boquillas, taladros de minería y recubrimientos de superficies. Los parámetros de rendimiento de estas piezas muestran ventajas significativas en aplicaciones prácticas, como la vida útil del molde de $>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, la tasa de fuga del sello tan baja como $<0,01\ mL/min \pm 0,001\ mL/min$, la desviación del flujo de la boquilla controlada a $<1\% \pm 0,1\%$, la vida útil del taladro minero de más de 100 horas ± 10 horas y el rango de espesor del recubrimiento de la superficie de $50-500\ \mu m \pm 1\ \mu m$. A través de la optimización geométrica (como el coeficiente de concentración de tensión $K_t < 1,3 \pm 0,05$), la tecnología de pulverización térmica (como WC-Co, resistencia de unión $>70\ MPa \pm 1\ MPa$) y la tecnología de refuerzo de la superficie (como el revestimiento láser, dureza $HV\ 2000-3000 \pm 50$), el rendimiento de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado se ha mejorado significativamente y la resistencia al desgaste se puede reducir en un $30\% \pm 5\%$, lo que extiende efectivamente la vida útil y mejora la eficiencia del trabajo.

12.0.1 Concepto de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado se refieren a piezas resistentes al desgaste de alto rendimiento fabricadas mediante un proceso de pulvimetalurgia con fases duras como carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC) o carburo de niobio (NbC) como matriz, complementadas con fases de unión de metales como cobalto (Co) y níquel (Ni). Estas piezas tienen una resistencia al desgaste ultraalta porque su tamaño de grano suele estar en el rango de 0,2 a 2 micras, y son particularmente adecuadas para aplicaciones industriales bajo cargas elevadas, fricción frecuente o entornos extremos. La resistencia al desgaste del carburo cementado proviene del equilibrio entre su alta dureza y tenacidad apropiada. El valor de dureza suele estar entre la dureza Vickers (HV) 1600-2500, que es mucho más alto que el acero tradicional (HV 200-600), y al agregar oligoelementos o materiales compuestos (como el sistema WC-Co), su resistencia al impacto puede alcanzar más de 50 J, lo que es suficiente para hacer frente a choques mecánicos y estrés térmico. El objetivo del diseño de piezas resistentes al desgaste no es solo prolongar su vida útil (por ejemplo, el molde puede soportar millones de ciclos de estampación), sino también garantizar su estabilidad en condiciones de trabajo complejas. Por ejemplo, los sellos deben mantener una tasa de fuga baja y las boquillas deben garantizar un flujo preciso. Estas características

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

las hacen indispensables en las industrias manufactureras, mineras y energéticas.

12.0.2 Definición y significado de la ingeniería de superficies

La ingeniería de superficies es una tecnología que modifica o recubre la superficie de los materiales mediante métodos físicos, químicos o mecánicos, con el objetivo de mejorar la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión, la resistencia a altas temperaturas o la biocompatibilidad de las piezas. En piezas resistentes al desgaste de carburo cementado, la ingeniería de superficies mejora significativamente el rendimiento de la superficie mediante procesos como la pulverización térmica, el revestimiento láser y la implantación de iones. Por ejemplo, la tecnología de pulverización térmica puede depositar un revestimiento de WC-Co sobre el sustrato, con una fuerza de adhesión de más de 70 MPa y un espesor controlable dentro del rango de 50-500 micras, mejorando significativamente la resistencia al desgaste; el revestimiento láser forma una capa de refuerzo de unión metalúrgica mediante fusión local y solidificación rápida, con una dureza de hasta HV 2000-3000, y una tasa de resistencia al desgaste reducida en aproximadamente un 30%, lo que extiende efectivamente la vida útil de las piezas. El núcleo de la ingeniería de superficies es optimizar la microestructura de la superficie, reducir la concentración de tensiones ($K_t < 1.3$), mejorar la resistencia a la fatiga y mantener las propiedades mecánicas generales del material base. Esta tecnología es particularmente importante en aplicaciones de carburo cementado, porque la superficie es el área donde la pieza está en contacto directo con el ambiente externo y su desempeño afecta directamente la confiabilidad y la vida útil de todo el componente.

12.0.3 Antecedentes de la aplicación y desarrollo de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado y tecnología de ingeniería de superficies

La combinación de piezas de carburo cementado resistentes al desgaste y la tecnología de ingeniería de superficies se beneficia de la demanda de la industria moderna de equipos eficientes y duraderos. Con el desarrollo de la fabricación inteligente, las energías renovables y la minería en entornos extremos, los escenarios de aplicación del carburo cementado siguen expandiéndose. Por ejemplo, en la fabricación de moldes, las piezas de carburo cementado satisfacen las necesidades de estampado de alta precisión y conformado complejo mediante la optimización geométrica y el refuerzo de superficies; en la perforación minera, el aumento de la vida útil de las brocas resistentes al desgaste reduce directamente la frecuencia de reemplazo y los costos operativos. Los avances en tecnologías de ingeniería de superficies, como los nanorrecubrimientos y los recubrimientos compuestos multicapa, han impulsado aún más la aplicación del carburo cementado en campos de alta tecnología, como componentes aeroespaciales y dispositivos médicos. Además, en combinación con la tecnología de gemelos digitales y la monitorización en tiempo real, la ingeniería de superficies puede lograr una optimización dinámica del rendimiento y adaptarse a diversas condiciones de trabajo.

Se abordan diversos aspectos, como piezas resistentes al desgaste, aplicaciones de pulverización térmica, minería y perforación, y tecnología de refuerzo de superficies. Mediante un profundo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

análisis de las propiedades de los materiales, la tecnología de procesamiento y los escenarios de aplicación, se busca brindar apoyo teórico y orientación práctica a las industrias relacionadas, especialmente en la optimización del rendimiento y aplicaciones innovadoras en entornos de alta carga y alto desgaste.

12.1 Piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Las piezas de carburo cementado resistentes al desgaste alcanzan una alta resistencia al desgaste (índice de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) y una larga vida útil ($>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces) gracias a un diseño geométrico optimizado (radio de curvatura $>0,5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), una relación de material (WC $>90\% \pm 1\%$, Co $6\%-12\% \pm 1\%$) y un procesamiento de precisión (temperatura de sinterización $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$). Estas piezas ofrecen un excelente rendimiento en entornos industriales con altas cargas y fricción frecuente. Su rendimiento se debe al equilibrio entre la alta dureza (HV $1600-2200 \pm 30$) y la tenacidad adecuada (tenacidad a la fractura K_{IC} $10-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) de los materiales de carburo cementado. Las piezas de carburo resistentes al desgaste se utilizan ampliamente en diversos campos, como matrices de carburo (para estampado y conformado), sellos de carburo (para evitar fugas de fluidos) y boquillas de carburo (para inyección precisa). Su diseño debe considerar tanto la resistencia al desgaste como la resistencia al impacto para satisfacer las necesidades de diversas condiciones de trabajo.

12.1.1 Concepto de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado son materiales compuestos sinterizados mediante un proceso de pulvimetalurgia con carburo de tungsteno (WC) como fase dura principal y cobalto (Co) como fase aglutinante. El contenido de WC suele ser superior al $90\% \pm 1\%$, lo que proporciona una alta dureza como esqueleto duro, mientras que el contenido de Co está entre el 6% y el $12\% \pm 1\%$, que actúa como fase aglutinante para mejorar la tenacidad y la resistencia al impacto. El mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se puede lograr ajustando la relación. El proceso de sinterización se lleva a cabo a una temperatura alta de $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, utilizando vacío o argón para proteger el medio ambiente, asegurando que el tamaño de grano se controle dentro del rango de $0,5$ a 2 micras, obteniendo así una excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$). Esta baja tasa de desgaste le permite mantener la estabilidad dimensional en el uso a largo plazo. Por ejemplo, el molde puede soportar más de un millón de estampados, mientras que los sellos y boquillas deben mantener una tasa de fugas baja ($<0,01 \text{ mL/min}$) y una desviación de flujo baja ($<1\%$). El diseño con un radio de curvatura geoméricamente optimizado ($>0,5 \text{ mm}$) reduce eficazmente la concentración de tensiones y prolonga la vida útil de las piezas, mientras que su resistencia al impacto (energía de impacto $>50 \text{ J}$) garantiza la fiabilidad bajo carga dinámica. Además, las piezas de carburo cementado resistentes al desgaste pueden mejorar aún más su rendimiento a altas temperaturas y su resistencia a la oxidación añadiendo oligoelementos (como el carburo de tantalio (TaC) o el carburo de niobio (NbC)) para adaptarse a entornos industriales más exigentes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12.1.2 Características de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Las características de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado se reflejan en su microestructura y propiedades físicas únicas. Su alta dureza (HV 1600-2200 ± 30) lo hace resistente al desgaste superficial y es particularmente adecuado para el mecanizado de materiales de alta dureza (como acero endurecido HRC 50-60 o aleación de titanio HRC 30-35), mientras que su tenacidad a la fractura $K_{Ic} 10-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ garantiza la integridad estructural de las piezas en condiciones de impacto o vibración. Además, el carburo cementado también tiene una excelente resistencia a la corrosión (durabilidad >1000 horas en entornos ácidos o alcalinos) y una alta estabilidad térmica (la temperatura de funcionamiento puede alcanzar los $800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$), lo que lo hace excepcional en los campos químico, energético y metalúrgico. Su conductividad térmica (aproximadamente $80-120 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) también ayuda a disipar el calor y reducir el daño térmico durante el corte o la fricción. La rugosidad superficial ($R_a 0,1-0,5$ micras) tras el pulido de precisión mejora aún más el rendimiento de contacto y la vida útil de las piezas. Estas propiedades, en conjunto, constituyen la ventaja competitiva de las piezas de carburo cementado resistentes al desgaste en condiciones de trabajo de alta intensidad.

12.1.3 Balance de rendimiento de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

La optimización del rendimiento de las piezas de carburo cementado resistentes al desgaste es inseparable de la coordinación entre dureza y tenacidad. El rango de dureza HV 1600-2200 ± 30 proporciona una excelente resistencia al desgaste superficial y es especialmente adecuado para el procesamiento de piezas de alta dureza (como acero endurecido HRC 50-60); al mismo tiempo, la tenacidad a la fractura $K_{Ic} 10-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ garantiza que las piezas no se agrieten fácilmente al exponerse a impactos mecánicos o tensiones térmicas. Esta característica equilibrada permite que las piezas de carburo cementado resistentes al desgaste tengan un buen rendimiento en aplicaciones como el conformado de moldes, el sellado y la prevención de fugas, y el control de la inyección. Por ejemplo, el molde debe soportar impactos de alta frecuencia (cientos de veces por minuto), el sello debe resistir medios corrosivos (como ácido sulfúrico o agua salada) y la boquilla debe controlar con precisión la dinámica de fluidos (desviación de flujo <1%). Estos requisitos se logran mediante una regulación precisa de los materiales y los procesos. Además, a través del tratamiento térmico (como el revenido a baja temperatura de $500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) o el recubrimiento de la superficie (como TiN o CrN), se puede mejorar aún más la dureza (aumento del 10 % - 20 %) o se puede reducir el coeficiente de fricción (<0,3), optimizando así el rendimiento en escenarios de aplicación específicos.

12.1.4 Aplicación de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Han demostrado un amplio y diverso valor de aplicación en el ámbito industrial gracias a su alta dureza (HV 1600-2500), excelente resistencia al desgaste (velocidad de desgaste <0,05 mm³/N·m) y resistencia al impacto (energía de impacto >50 J). A continuación, se organizan y optimizan sistemáticamente sus aplicaciones según los campos de aplicación y la lógica funcional, abarcando

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la fabricación tradicional, las industrias emergentes de alta tecnología y los escenarios de uso en entornos especiales.

(1) Procesamiento y conformación de metales

molde de carburo

Ampliamente utilizado en estampación de metal, moldeo por inyección de plástico y moldes de pulvimetalurgia, presenta alta resistencia al desgaste y estabilidad dimensional, con una vida útil típica de más de 10^6 veces. Especialmente en la industria automotriz (como bloques de motor y piezas de transmisión) y la producción de componentes electrónicos (como carcasas de teléfonos móviles y conectores de placas de circuito), su alta dureza (HV 1600-2200) garantiza precisión y durabilidad bajo un uso prolongado y frecuente, especialmente en la fabricación inteligente para facilitar el moldeo de precisión de geometrías complejas.

herramientas de corte de carburo

Se utiliza para cortes de alta velocidad (como torneado, fresado y taladrado) en el procesamiento de metales y madera. Gracias a su alta dureza (HV 1800-2500) y resistencia a la oxidación a altas temperaturas (hasta 900 °C), ofrece un excelente rendimiento en la industria aeroespacial (como piezas de aleación de titanio) y la fabricación de automóviles (como cigüeñales de motores). La velocidad de corte puede alcanzar los 200-300 m/min y su vida útil es de 200-300 horas.

matriz de extrusión de carburo

Para perfiles de aluminio y extrusión de plástico, con una resistencia a la temperatura de hasta 600 °C, una dureza de HV 1700-2100 y una precisión dimensional de $\pm 0,01$ mm, se utiliza ampliamente en la industria de la construcción (como puertas y ventanas de aleación de aluminio) y la producción de material de embalaje para garantizar un moldeo eficiente y una calidad de superficie.

(2) Control de fluidos y sellado

sellos de carburo

Se utiliza en bombas, válvulas y compresores para prevenir fugas de fluidos o gases, con una tasa de fuga $< 0,01$ mL/min. Su excelente resistencia a la corrosión y sus propiedades de baja fricción lo hacen excepcional en la industria petroquímica (como equipos de refinación y sistemas de tuberías) y en la industria del tratamiento de aguas (como bombas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de filtración), especialmente al trabajar con medios ácidos o alcalinos, ya que prolonga el ciclo de mantenimiento de los equipos.

Núcleo y asiento de válvula de carburo

Se utiliza para válvulas de alta presión en equipos de petróleo y gas y químicos, con una resistencia a la presión de > 50 MPa, excelente resistencia a la corrosión (resistencia a la corrosión por H_2S y CO_2 > 2000 horas) y una tasa de fuga de $< 0,005$ mL/min, lo que garantiza un rendimiento de sellado confiable en entornos extremos.

Boquilla de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicado al arenado, la pulverización y la impresión 3D, con una desviación de flujo inferior al 1%, ofrece un excelente rendimiento en la industria aeroespacial (como componentes de motores a reacción), la fabricación aditiva (como la impresión 3D de metales de alta precisión), la fabricación de semiconductores (como equipos de deposición química de vapor) y la industria energética (como toberas de turbinas de gas). Su alta resistencia al desgaste y su preciso control de fluidos mejoran significativamente la eficiencia de la producción y la calidad del producto final.

(3) Minería y procesamiento de abrasivos

Brocas de carburo para minería

Presenta una vida útil ultralarga (más de 100 horas) en condiciones extremas, como la minería a gran profundidad. Su alta dureza y resistencia al impacto facilitan una perforación eficiente. Se utiliza ampliamente en las industrias de minería de carbón, metales y petróleo, lo que reduce la frecuencia de reemplazo y los costos operativos.

Bolas de molienda de carburo y medios de molienda

Utilizado para el procesamiento de minerales, producción de cerámica y molienda de revestimiento, con un rango de diámetro de bola de 5 a 50 mm, dureza HV 1600-2000 y tasa de desgaste $<0,01$ %/hora, mejora significativamente la eficiencia de molienda y la uniformidad del producto, especialmente en la preparación de materiales de baterías de litio y producción de cerámica de alta gama.

(4) Transmisión y partes mecánicas

Rodillos de carburo

En los procesos de laminación en caliente y en frío de la industria siderúrgica, el espesor de la capa resistente al desgaste alcanza los 5-10 mm y la dureza HV 1500-2000, lo que garantiza la calidad superficial del acero laminado ($R_a < 0,8$ micras) y una vida útil de más de 5000 toneladas. Su estabilidad bajo altas cargas (presión > 200 MPa) y altas temperaturas (600-1000 °C) lo hace indispensable en equipos metalúrgicos pesados.

Engranajes de carburo y piezas de transmisión

Se utiliza en maquinaria pesada, equipos de energía eólica y sistemas de propulsión de barcos, la dureza de la superficie del diente es HV 1800-2200, la resistencia a la fatiga es >1000 MPa, reduce el desgaste y el ruido, funciona bien en condiciones de alto torque (>500 Nm) y tiene una vida útil de hasta 10 años.

Bujes de cojinetes de carburo

Proporciona bajo desgaste y alto soporte de carga en maquinaria pesada y equipos de generación de energía eólica, tiene excelente resistencia al desgaste y rendimiento antifatiga, y se usa ampliamente en entornos de alta velocidad (>3000 RPM) y alta carga (>10 kN).

(5) Fabricación de alambre y precisión

Matrices de trefilado de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicado a la fabricación de cables y alambres de metal, con una tolerancia de diámetro de orificio de $\pm 0,001$ mm y una rugosidad de superficie de $Ra < 0,1$ micrón, es adecuado para trefilar alambres de cobre, alambres de acero y preformas de fibra óptica, con una vida útil de $> 10^4$ ciclos de trefilado, especialmente en las industrias de la electrónica y las comunicaciones (como la infraestructura 5G).

(6) Industrias médicas y especiales

Componentes de dispositivos médicos de carburo cementado

Como hojas de sierra para cirugía ortopédica y fresas dentales, con un diámetro de 0,5 a 6 mm, una dureza de HV 1800-2200, biocompatibilidad según la norma ISO 10993 y una vida útil de más de 50 cirugías. En 2025, con el desarrollo de la tecnología robótica médica, su aplicación en cirugía mínimamente invasiva y procesamiento de implantes aumentará.

(7) Campos emergentes y potencial futuro

Con el avance de la tecnología industrial, las piezas de carburo resistentes al desgaste han mostrado un amplio potencial en equipos de producción de baterías para vehículos eléctricos (mejorando la precisión del procesamiento del material de los electrodos), componentes de articulaciones robóticas (mejorando la durabilidad del movimiento) y el procesamiento de equipos de exploración espacial (como componentes de naves espaciales resistentes a altas temperaturas). Además, su alta resistencia al desgaste y estabilidad se han convertido en un componente clave en la fabricación de equipos de computación cuántica y equipos de energías renovables (como equipos de producción de hidrógeno). En el futuro, en combinación con el diseño optimizado con inteligencia artificial y la tecnología de fabricación sostenible, sus límites de aplicación se ampliarán aún más.

Estas aplicaciones se benefician del excelente rendimiento del carburo cementado, y su desempeño en diversos escenarios industriales ha promovido una actualización integral de la fabricación tradicional a la tecnología de vanguardia.

12.1.5 Desarrollo tecnológico y desafíos de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Con la diversificación de las necesidades industriales, la tecnología de fabricación de piezas de carburo cementado resistentes al desgaste continúa mejorando. El desarrollo de carburo cementado de grano nanométrico y fases compuestas (como WC-TiC-Co) ha mejorado aún más la resistencia al desgaste y la vida útil. El refinamiento del grano a 100-300 nanómetros puede aumentar la dureza entre un 15 % y un 25 % y prolongar la vida útil entre un 20 % y un 30 %.

Además, los recubrimientos compuestos (como WC-Co-Cr) y el diseño de materiales con gradientes (como el cambio gradual en la dureza de la superficie) también se han convertido en áreas de investigación clave. Sin embargo, el desafío radica en el alto costo del proceso de sinterización (costo de aproximadamente \$200-500 por kilogramo) y los requisitos de precisión de procesamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de geometrías complejas (tolerancia $\pm 0,005$ mm). En el futuro, se espera que la combinación de fabricación aditiva (como la impresión 3D, que puede realizar estructuras internas complejas) y tecnología de monitoreo inteligente (como sensores que informan el estado de desgaste en tiempo real) logre una producción más eficiente y personalizada de piezas resistentes al desgaste. Al mismo tiempo, el desarrollo de procesos de sinterización respetuosos con el medio ambiente (como hornos de sinterización con bajas emisiones de carbono) también promoverá el desarrollo sostenible de la industria.

Esta sección analiza en detalle el diseño estructural, las características de rendimiento y las aplicaciones de ingeniería de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado desde tres aspectos: moldes, sellos y boquillas de carburo cementado, y optimización de la geometría y la distribución de tensiones.

1 2. 2 .1 Piezas resistentes al desgaste de carburo cementado - Moldes de carburo cementado

(1) Principios básicos y descripción técnica

de la resistencia al desgaste de los moldes de carburo cementado Los moldes de carburo cementado se utilizan principalmente en procesos de conformado de alta carga, como estampación, trefilado y extrusión en frío. Necesitan tener alta dureza ($HV 1800-2200 \pm 30$) y bajo coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) para garantizar la precisión dimensional y el acabado superficial en un uso de alta frecuencia. Estos moldes juegan un papel clave en el procesamiento de metales (como el estampado de placas de acero) y el conformado de no metales (como la inyección de plástico), y su rendimiento afecta directamente la consistencia del producto y la eficiencia de la producción. El material se basa principalmente en el sistema WC-Co, con un contenido de WC de $>90\% \pm 1\%$ como esqueleto duro y un contenido de Co de $6\% - 12\% \pm 1\%$ como fase aglutinante para ajustar la tenacidad. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2 \mu m \pm 0,01 \mu m$, y se logra una alta densidad y microuniformidad mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) ($1400^\circ C \pm 10^\circ C$, $50 MPa \pm 1 MPa$). El rápido calentamiento y la presión de la tecnología SPS reducen eficazmente el crecimiento del grano y los defectos de poros, y mejoran la resistencia a la fatiga del material.

(2) Aplicación

de moldes de carburo cementado Los moldes de carburo cementado han demostrado un amplio valor de aplicación en muchos campos:

Fabricación de automóviles

Se utiliza para estampar bloques de motor, engranajes de transmisión y paneles de carrocería, la vida útil de la matriz es $>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, lo que admite una producción de alta precisión (tolerancia $\pm 0,01$ mm) y alta eficiencia para satisfacer la demanda de una producción anual de un millón de vehículos.

Fabricación de componentes electrónicos

Utilizado para producir carcasas de teléfonos móviles, conectores de placas de circuitos y marcos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de conductores de chips, la dureza del molde (HV 1800-2200) garantiza la estabilidad a largo plazo de la precisión a nivel de micrones y es adecuada para la producción en masa de dispositivos 5G y dispositivos portátiles inteligentes.

Industria de electrodomésticos

Se utiliza para estampar carcasas de compresores de refrigeradores y piezas de tambor de lavadoras. Su resistencia al desgaste (índice de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) permite estampaciones de alta frecuencia (>500 veces/min), lo que mejora la eficiencia de producción en un $20 \% \pm 3 \%$.

Aeroespacial

Se utiliza para la extrusión en frío de aleaciones de titanio y aluminio, como revestimientos de alas de aeronaves y álabes de motores. La resistencia a la fatiga del molde (vida útil $> 8 \times 10^5$ veces) cumple con los requisitos del procesamiento de materiales de alta resistencia.

Dispositivos médicos

Se utiliza para estampar implantes ortopédicos (como prótesis de cadera) y carcasas de instrumental quirúrgico. La rugosidad superficial $Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ garantiza la biocompatibilidad y la precisión del procesamiento, conforme a la norma ISO 13485.

(3) Mecanismo de resistencia al desgaste y análisis del rendimiento

de moldes de carburo cementado. El excelente rendimiento de los moldes se deriva de su microestructura y diseño del material. El WC como fase dura proporciona alta dureza (HV 1800 $\pm$ 30), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste; el Co como fase de unión metálica ($6 \% - 12 \% \pm 1 \%$) absorbe energía mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, lo que mejora la capacidad de resistir el crecimiento de grietas. Los granos finos ($0,5 - 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejoran significativamente la resistencia y la resistencia al desgaste a través de la ecuación de Hall-Petch (ecuación de Hall-Petch, $\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la tasa de desgaste se controla a $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$. El pulido de la superficie ($Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) reduce la fricción y la adhesión al reducir la rugosidad de la superficie, y la densidad medida según el principio de Arquímedes ($14,8 - 15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) refleja su alta densidad. El análisis SEM muestra que la matriz YG8 se desgasta de manera uniforme (profundidad $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) sin microfisuras, y la difracción de rayos X (DRX) confirma que el grado de coincidencia reticular de las fases WC y Co es alto. Las pruebas de rendimiento muestran que la matriz YG8 tiene una vida útil de estampado de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces, lo cual es mejor que YG6 (8×10^5 veces $\pm 10^5$ veces), gracias a un mejor refinamiento de grano y tratamiento de superficie.

(4) Análisis de los factores que afectan la resistencia al desgaste de los moldes de carburo cementado

Contenido conjunto

$6\% - 12\% \pm 1\%$ optimiza la tenacidad y $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del $10\% \pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento debido a una fase de unión insuficiente.

Tamaño del grano

$0,5 - 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ proporciona la mejor resistencia al desgaste y $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $10 \% \pm 2 \%$ debido a la reducción de los límites de grano.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rugosidad de la superficie

Un valor de $Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el coeficiente de fricción en un $10 \% \pm 2 \%$, y un valor de $> 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$, lo cual concuerda con la teoría de la curva de Stribeck.

Por ejemplo, la tasa de desgaste del molde YG6 (grano de $2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) asciende a $0,06 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, lo que pone de manifiesto la influencia del tamaño de grano.

(5) La estrategia de optimización

para la resistencia al desgaste de los moldes de carburo cementado consiste en lograr una tasa de desgaste de $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y una vida útil de $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces. Se recomienda:

Optimización de materiales

Co 6%-12% $\pm 1\%$, tamaño de grano $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, se agrega TaC ($< 1\%$) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas.

Optimización de procesos

La porosidad después del SPS ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) y prensado isostático en caliente (HIP, 150 MPa) es $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$.

Optimización de superficies

Pulido de diamante a $Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, recubrimiento de TiN (espesor $2 \mu\text{m}$) para reducir la fricción.

Especificaciones de prueba

ASTM G65 (desgaste), ASTM E92 (dureza).

Tras la verificación y optimización, la tasa de desgaste del molde YG8 (grano de $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Ra de $0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) es de $0,04 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, y su vida útil es de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces, lo que cumple con los estándares de la industria automotriz.

1 2. 2 . 2 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Sellos de aleación dura

(1) Principios básicos y descripción técnica de los sellos de carburo cementado

Los sellos de carburo cementado se usan ampliamente en sellos mecánicos (como bombas y válvulas), que requieren una excelente resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$) y una baja tasa de fuga ($< 0,01 \text{ mL/min}$) para hacer frente a fluidos corrosivos (como soluciones de H_2SO_4 y NaCl) en la industria petroquímica y de tratamiento de agua. El material se basa en WC-Co (Co 6%-12% $\pm 1\%$), con Cr_3C_2 (2%-5% $\pm 0,5\%$) añadido para formar una capa protectora de Cr_2O_3 con un tamaño de grano de $0,5-2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$. La sinterización SPS ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) logra alta densidad y resistencia a la corrosión. Las propiedades autorreparadoras de la capa de Cr_2O_3 se basan en la ley de Pascal, que mejora la estabilidad del sello en entornos de alta presión.

(2) Aplicación

de sellos de carburo cementado Los sellos de carburo cementado funcionan bien en una variedad de condiciones de trabajo adversas:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Petroquímico

Se utiliza para sellos de bombas de alta presión en equipos de refinación de petróleo y sistemas de tuberías, con una resistencia a la presión de >50 MPa y una tasa de corrosión de $<0,01$ mm/año. Es adecuado para medios que contienen sulfuro de hidrógeno (H_2S) y puede extender el ciclo de mantenimiento del equipo a más de 5000 horas.

Industria de tratamiento de agua

Utilizados en bombas de tratamiento de aguas residuales y plantas de desalinización de agua de mar, los sellos son resistentes a la corrosión de iones de cloruro (resistentes a solución de $NaCl >2000$ horas), con una tasa de fuga de $<0,01$ mL/min, lo que respalda el funcionamiento de sistemas eficientes de circulación de agua.

Industria energética

Se aplica a bombas de agua de refrigeración y sistemas de lubricación de turbinas de gas en plantas de energía nuclear, tiene una resistencia a la temperatura de $300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, una resistencia a la corrosión que cumple con los estándares de seguridad del OIEA y una tasa de fuga tan baja como $0,005\text{ mL/min} \pm 0,001\text{ mL/min}$.

Industria farmacéutica

Utilizados en autoclaves y reactores químicos, los sellos son resistentes a agentes de limpieza ácidos (pH 2-12), lo que garantiza un entorno de producción estéril y cumple con los requisitos de certificación GMP.

Ingeniería naval

Utilizado en bombas de agua de mar y sistemas de propulsión, es resistente a la corrosión por niebla salina (>3000 horas) y admite el funcionamiento a largo plazo de equipos de aguas profundas (como ROV) en entornos de alta presión (>30 MPa).

(3) Mecanismo de resistencia al desgaste y análisis del rendimiento de los sellos de carburo cementado

El WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona dureza básica (HV 1700 ± 30), el Co ($6\%-12\% \pm 1\%$) mejora la tenacidad ($K_{Ic} 14\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y el Cr_3C_2 ($2\%-5\% \pm 0,5\%$) genera una capa de Cr_2O_3 con un espesor de $<0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ mediante oxidación a alta temperatura, lo que mejora significativamente la resistencia a la corrosión. Su mecanismo de pasivación sigue la ecuación de Nernst. El análisis SEM muestra que no hay picaduras en la superficie del sello (desviación $<0,1\% \pm 0,02\%$) y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) confirma que el Cr_2O_3 se distribuye uniformemente. Las pruebas de rendimiento muestran que el sello de fórmula optimizado tiene una vida útil extendida en un $20\% \pm 3\%$ en una solución de H_2SO_4 al 5% y la tasa de fuga se estabiliza en $0,008\text{ mL/min} \pm 0,001\text{ mL/min}$.

(4) Análisis de los factores que afectan la resistencia al desgaste de los sellos de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cementado

Contenido conjunto

6%-12%±1% equilibra dureza y tenacidad, <6%±1% aumenta la tasa de grietas en un 10%±2% debido a una fase de unión insuficiente.

Contenido de Cr₃C₂

2%-5%±0,5% mejora la resistencia a la corrosión en un 20%±3%, >10%±0,5% reduce la dureza en un 10%±2% debido al exceso de precipitación de fase.

Tamaño del grano

0,5-1 μm ± 0,01 μm reduce el desgaste, >2 μm ± 0,01 μm lo aumenta en un 10 % ± 2 %. Por ejemplo, la tasa de corrosión de los sellos

con bajo contenido de Cr₃C₂ (< 2 % ± 0,5 %) aumenta a 0,015 mm/año ± 0,001 mm/año.

(5) Estrategia de optimización para la resistencia al desgaste de los sellos de carburo cementado

Para lograr una tasa de corrosión de <0,01 mm/año ± 0,001 mm/año y una tasa de fuga de <0,01 mL/min, se recomienda que:

Optimización de materiales

Co 6%-12%±1%, Cr₃C₂ 2%-5%±0,5%, tamaño de grano 0,5-1 μm±0,01 μm.

Optimización de procesos

SPS (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa), porosidad <0,1%±0,01% después del HIP.

Optimización de superficies

Pulido electrolítico hasta Ra<0,1 μm±0,01 μm.

1 2. 2 . 3 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Boquilla de aleación dura

(1) Principios básicos de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: boquillas de carburo cementado

Inyección, que requiere resistencia a la erosión (tasa de erosión <0,05 mm³/g ± 0,01 mm³/g) y una abertura precisa (0,5-2 mm ± 0,01 mm) para garantizar la inyección uniforme de fluidos o partículas. El material es principalmente WC-Co (Co 6%-12% ± 1%), con un tamaño de grano de 0,5-2 μm ± 0,01 μm, y se prepara mediante sinterización SPS (1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa) para optimizar la resistencia a la erosión. El diseño de la abertura se basa en el principio de Bernoulli para garantizar la estabilidad fluidodinámica y se utiliza ampliamente en la industria aeroespacial y la fabricación aditiva.

(2) Aplicación

de boquillas de carburo resistentes al desgaste

Las boquillas de carburo funcionan bien en una variedad de escenarios de inyección de alta precisión:

Aeroespacial

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se utiliza para boquillas de combustible de motores a reacción y chorro de arena de superficies, con una precisión de apertura de $\pm 0,01$ mm y una tasa de erosión de $< 0,05$ mm³/g, lo que garantiza una atomización uniforme del combustible (diámetro de partícula < 50 μ m), mejorando la eficiencia de la combustión en un $10\% \pm 2\%$.

Fabricación aditiva

Se utiliza para boquillas de impresión 3D de metal de alta precisión (como equipos SLM), con una desviación de flujo de $< 1\%$, lo que admite la impresión de aleaciones de titanio y aleaciones a base de níquel, y una precisión de producto terminado de $\pm 0,02$ mm, lo que cumple con los requisitos de los componentes de las naves espaciales.

Fabricación de semiconductores

Las boquillas de gas para equipos de deposición química de vapor (CVD), resistencia a la erosión y a la corrosión (resistencia al gas HF > 1000 horas) admiten una alta uniformidad en la producción de obleas (desviación del espesor de la película $< 1\%$).

Industria energética

Se utiliza para pulverizar sobre toberas de turbinas de gas y palas de aerogeneradores. Su alta resistencia a la temperatura (> 800 °C) y a la erosión prolonga la vida útil del equipo a más de 3000 horas, de acuerdo con la norma IEC 61400.

pulverización de coches

Utilizada para pulverización de pintura de carrocerías de automóviles y pretratamiento de galvanoplastia, la estabilidad del flujo de la boquilla (desviación $< 1\%$) garantiza un espesor de recubrimiento uniforme (± 5 μ m), mejorando la estética y la durabilidad del producto.

Maquinaria agrícola

Utilizado para la pulverización de pesticidas y la inyección de fertilizantes, la resistencia a la erosión (tasa de erosión $< 0,05$ mm³/g) admite una inyección de alto caudal (> 5 L/min) y el área de cobertura aumenta en un $15\% \pm 3\%$, mejorando la eficiencia de la producción agrícola.

(3) Mecanismo de resistencia al desgaste y análisis del rendimiento de las boquillas de carburo cementado

El WC ($> 90\% \pm 1\%$) proporciona una dureza alta (HV 1800 ± 30), el Co ($6\% - 12\% \pm 1\%$) mejora la tenacidad (K_{IC} 14 MPa $\cdot m^{1/2} \pm 0,5$) y la apertura optimizada ($0,5 - 2$ mm $\pm 0,01$ mm) reduce la concentración de erosión mediante simulación de mecánica de fluidos. El SEM muestra que la boquilla YG8 se erosiona uniformemente (profundidad $< 0,05$ mm $\pm 0,01$ mm) sin descamación, y el XRD confirma la alta cristalinidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que la tasa de erosión de la boquilla con apertura optimizada se reduce a $0,04$ mm³/g $\pm 0,01$ mm³/g, y la estabilidad del flujo es mejor que la de la boquilla no optimizada (desviación $< 1\%$), lo que cumple con los altos requisitos de precisión de la industria de la pulverización.

(4) Análisis de los factores que afectan la resistencia al desgaste de las boquillas de carburo cementado

Contenido conjunto

$6\% - 12\% \pm 1\%$ mejora la tenacidad, $< 6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de agrietamiento en un $10\% \pm 2\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tamaño del grano

0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce la erosión, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la erosión en un $15\% \pm 3\%$.

Abertura

Para $0,5-2 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, aumenta un $15\% \pm 3\%$ para $> 5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ debido al efecto de la turbulencia. Por ejemplo, la tasa de erosión de una boquilla con una apertura de $5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ aumenta a $0,07 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$.

(5) La estrategia de optimización

para boquillas de carburo cementado consiste en lograr una tasa de erosión de $<0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$ y una desviación del caudal de $<1\%$. Se recomienda lo siguiente:

Optimización de materiales

Se añade Co $6\%-12\% \pm 1\%$, tamaño de grano $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, VC ($<1\%$) para mejorar la resistencia a la erosión.

Optimización de procesos

SPS ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$), porosidad $<0,1\% \pm 0,01\%$ después del HIP.

Optimización de superficies

Apertura: $0,5-2 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, pulido a $Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Después de la optimización, la tasa de erosión de la boquilla YG8 es de $0,04 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$ y la desviación del flujo es $<1\%$.

1 2 . 2 . 4 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Núcleo de válvula y asiento de válvula de aleación dura resistentes al desgaste

(1) Piezas resistentes al desgaste de aleación dura: tecnología de principio básico del núcleo de válvula y asiento de válvula de aleación dura

Los núcleos y asientos de válvula de carburo se utilizan principalmente en válvulas de alta presión (como válvulas de mariposa y válvulas de cierre en equipos de petróleo y gas y químicos), que requieren alta resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$), resistencia a la erosión (tasa de erosión $<0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$) y baja tasa de fugas ($<0,005 \text{ mL/min} \pm 0,001 \text{ mL/min}$) para garantizar el rendimiento de sellado y la precisión del control de flujo en entornos extremos. El material se basa en el sistema WC-Co (Co $6\%-12\% \pm 1\%$), con Cr_3C_2 ($2\%-5\% \pm 0,5\%$) añadido para formar una capa protectora de Cr_2O_3 . El tamaño de grano se controla entre $0,5$ y $2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ y se prepara mediante sinterización por plasma con chispa (SPS) ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) para lograr una alta densidad y una excelente resistencia al desgaste y la corrosión. El diseño geométrico del núcleo y del asiento de la válvula (como la superficie de contacto esférica o cónica) se basa en la optimización de la mecánica de fluidos para garantizar un sellado estable bajo altas diferencias de presión ($> 50 \text{ MPa}$).

(2) Análisis del mecanismo y el rendimiento del núcleo de válvula y del asiento de válvula de aleación dura resistentes al desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona una alta dureza ($HV 1750 \pm 30$), el Co ($6\%-12\% \pm 1\%$) mejora la tenacidad ($K_{IC} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y el Cr_3C_2 ($2\%-5\% \pm 0,5\%$) genera una capa protectora de Cr_2O_3 con un espesor de $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ mediante oxidación a alta temperatura, lo que mejora significativamente la resistencia a la corrosión. Su mecanismo de pasivación sigue la ecuación de Nernst. Los granos finos ($0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejoran la resistencia y reducen la tasa de erosión ($<0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$) a través de la ecuación de Hall-Petch (ecuación de Hall-Petch, $\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La superficie de contacto del núcleo de la válvula y el asiento de la válvula está pulida ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para reducir la fricción y el desgaste. El análisis SEM muestra que la profundidad de erosión del núcleo de la válvula YG8 es $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ y no hay picaduras en la superficie (desviación $<0,1\% \pm 0,02\%$). La espectroscopia de energía dispersiva (EDS) confirma que Cr_2O_3 se distribuye uniformemente, y el análisis XRD muestra una alta cristalinidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que la tasa de erosión del núcleo de la válvula optimizado y del asiento de la válvula en fluidos que contienen arena (caudal $> 10 \text{ m/s}$) es de solo $0,04 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$, y la tasa de fuga es estable en $0,004 \text{ mL/min} \pm 0,001 \text{ mL/min}$.

(3) Análisis de los factores que afectan el rendimiento del núcleo de válvula y del asiento de válvula de carburo resistentes al desgaste

Contenido de Co: $6\%-12\% \pm 1\%$ equilibra dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de agrietamiento en un $10\% \pm 2\%$ debido a una fase de unión insuficiente.

Contenido de Cr_3C_2 : $2\%-5\% \pm 0,5\%$ mejora la resistencia a la corrosión en un $20\% \pm 3\%$, $>10\% \pm 0,5\%$ reduce la dureza en un $10\% \pm 2\%$ debido al exceso de precipitación de fase.

Tamaño de grano: $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce la erosión y el desgaste, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la erosión en un $15\% \pm 3\%$.

Rugosidad superficial: $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce la tasa de fugas en un $10\% \pm 2\%$, y $>0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ la aumenta en un $15\% \pm 3\%$ debido a la disminución del sellado de la superficie de contacto.

Por ejemplo, la tasa de corrosión del obús de válvula sin adición de Cr_3C_2 aumenta a $0,02 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, y la tasa de erosión a $0,07 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$.

(4) Aplicación de núcleo de válvula y asiento de válvula de aleación dura resistentes al desgaste

Los núcleos de válvulas y asientos de válvulas de carburo se utilizan ampliamente en una variedad de condiciones de trabajo adversas:

Petróleo y gas

Se utiliza para válvulas de perforación de pozos profundos y tuberías de gas de alta presión, con una resistencia a la presión de $>50 \text{ MPa}$, resistencia a la corrosión por H_2S y CO_2 (>2000 horas) y una tasa de fuga de $<0,005 \text{ mL/min}$, lo que respalda el funcionamiento confiable de equipos de extracción de petróleo y gas en aguas profundas (como FPSO).

Equipo químico

El sistema de válvulas se utiliza en reactores con medios ácidos (como ácido sulfúrico y ácido clorhídrico). Su resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año}$) garantiza un funcionamiento sin fugas a largo plazo y cumple con la norma ASME B16.34.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Industria energética

Se utiliza en válvulas de alimentación de calderas en centrales térmicas y válvulas de alta presión en centrales nucleares. Su resistencia a la temperatura alcanza los $400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su resistencia a la erosión (tasa de erosión $<0,05\text{ mm}^3/\text{g}$) facilita el control preciso del flujo de vapor a alta temperatura y presión.

Aeroespacial

Utilizado en válvulas de combustible de motores de cohetes, la resistencia a la erosión del núcleo de la válvula (tasa de erosión $<0,04\text{ mm}^3/\text{g}$) garantiza la estabilidad de la inyección de combustible líquido (como oxígeno líquido e hidrógeno líquido) y cumple con los estándares de seguridad de la NASA.

Industria farmacéutica

Se utiliza para válvulas de bombas de jeringa de alta presión, la resistencia a la corrosión y la baja tasa de fugas ($<0,005\text{ ml/min}$) garantizan que no haya contaminación en la producción de medicamentos y cumplen con los requisitos de certificación de la FDA.

1 2. 2 . 5 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Brocas de minería resistentes al desgaste de aleación dura

(1) Principio técnico básico

de las brocas de minería resistentes al desgaste de carburo cementado Las brocas de minería de carburo cementado se utilizan principalmente para la minería de minas profundas (como minas de carbón, minas de metal y perforación de petróleo), que requieren alta dureza ($\text{HV } 1800\text{-}2200 \pm 30$), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,05\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) y resistencia al impacto (energía de impacto $> 50\text{ J} \pm 5\text{ J}$) para hacer frente a formaciones rocosas de alta dureza y condiciones geológicas complejas. El material es principalmente el sistema WC-Co (Co $6\%\text{-}12\% \pm 1\%$), con un contenido de WC $> 90\% \pm 1\%$ para proporcionar un esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a $0,5\text{-}2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$. Se prepara mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$) para garantizar una alta densidad y resistencia a la fatiga. El diseño de la broca combina la mecánica de corte y la optimización de la conducción térmica. El ángulo del cabezal de corte (generalmente de $120^{\circ} \pm 5^{\circ}$) y la estructura de ranuras en espiral mejoran la eficiencia de perforación y la capacidad de remoción de escoria, lo que la hace ideal para operaciones de alta intensidad en pozos ultraprofundos ($>5000\text{ m}$).

(2) Mecanismo y análisis de desempeño

de brocas de minería resistentes al desgaste de carburo cementado WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona alta dureza ($\text{HV } 1800\text{-}2200 \pm 30$), y su estructura cristalina hexagonal da excelente resistencia al desgaste y la erosión; Co ($6\%\text{-}12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante absorbe la energía del impacto a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{\text{IC}} \geq 14\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, mejorando la capacidad de resistir el crecimiento de grietas. Los granos finos ($0,5\text{-}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste a través de la ecuación de Hall-Petch (ecuación de Hall-Petch, $\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la tasa de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desgaste se controla a $<0.05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$. El tratamiento térmico de la superficie de la broca (espesor de la capa de endurecimiento $<0.5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$) mejora la resistencia a altas temperaturas ($>600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$). El análisis SEM muestra que la profundidad de desgaste de la broca YG8 es $<0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ y no hay grietas obvias en la hoja. La difracción de rayos X (DRX) confirma la alta cristalinidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que la broca optimizada tiene una vida útil de perforación de más de 100 horas ± 10 horas en granito (dureza 7 Mohs), una velocidad de perforación de $10\text{-}15 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$ y una resistencia al impacto que soporta una carga instantánea de $5000 \text{ J} \pm 500 \text{ J}$.

(3) Análisis de los factores que afectan el rendimiento de las brocas mineras resistentes al desgaste de carburo cementado

Contenido conjunto

$6\%\text{-}12\% \pm 1\%$ optimiza la tenacidad y la resistencia al impacto, $<6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de grietas en un $10\% \pm 2\%$ debido a una fase de unión insuficiente.

Tamaño del grano

$0.5\text{-}1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$ reduce el desgaste y el astillado del borde, $>2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $15\% \pm 3\%$ debido a la reducción de los límites de grano.

Capa de endurecimiento superficial

Un espesor $<0.5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste, mientras que un espesor $>1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ reduce la tenacidad en un $10\% \pm 2\%$, lo que genera un mayor riesgo de astillamiento.

Ángulo de la hoja

$120^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de corte, mientras que $>130^\circ \pm 5^\circ$ reduce la velocidad de perforación en un $10\% \pm 2\%$ gracias al aumento del área de contacto.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de una broca con un tamaño de grano de $2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$ aumenta a $0.07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, y la vida útil se reduce a 80 ± 10 horas.

(4) Principales aplicaciones de

las brocas mineras resistentes al desgaste de carburo cementado

Las brocas de carburo para minería se destacan en una variedad de escenarios de minería:

Minería de carbón

Se utiliza para la perforación profunda de minas de carbón. Su resistencia al desgaste permite una perforación continua de más de 100 horas, la velocidad de perforación es de 10 a 15 m/h y la frecuencia de reemplazo se reduce en un $20\% \pm 3\%$. Es adecuado para vetas de carbón duro en el norte de China.

Minería de metales

Utilizado para perforación profunda en minerales de cobre y hierro, resistencia al impacto ($>50 \text{ J}$) para granito y basalto, vida útil >120 horas, soporte de grandes minas a cielo abierto en Chile y Australia.

Perforación petrolera

Aplicado en plataformas de perforación offshore, su resistencia a la corrosión (resistencia al agua de mar > 2000 horas) asegura una perforación eficiente de pozos de petróleo y gas en aguas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

profundas (> 3000 m), cumpliendo con los estándares API Spec 7-1.

Exploración geológica

Se utiliza para la perforación de núcleos en rocas duras (como la cuarcita). La precisión de la broca (desviación de apertura <0,1 mm) facilita la recolección precisa de muestras y se utiliza ampliamente en la investigación geológica.

Ingeniería de túneles

Utilizado en la construcción de túneles ferroviarios de alta velocidad y subterráneos, su resistencia al impacto y al desgaste favorece la excavación de roca dura (>8 Mohs) y la longitud de perforación por turno aumenta en un 15 % ± 2 %.

1 2. 2 . 6 Piezas resistentes al desgaste de carburo cementado - Bolas de molienda y medios de molienda de carburo cementado

(1) Principios técnicos básicos

de las bolas de molienda de carburo cementado y los medios de molienda

Las bolas de molienda de carburo y los medios de molienda se utilizan principalmente en equipos de procesamiento de polvo ultrafino, como molinos de bolas, molinos de vibración y molinos agitadores, que requieren alta dureza (HV 1800-2200 ± 30), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,04 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m) y resistencia a la fatiga (ciclo de vida > 10⁶ veces ± 10⁵ veces) para adaptarse a entornos de molienda de alta energía y operación a largo plazo. El material es principalmente sistema WC-Co (Co 6%-12% ± 1%), con un contenido de WC > 90% ± 1% como esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a 0,5-2 μm ± 0,01 μm. Se prepara mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) (1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa) para garantizar una alta densidad y una microestructura uniforme. La forma de las bolas de molienda (generalmente esféricas o cilíndricas, con un diámetro de 5-20 mm ± 0,1 mm) y el diseño de la superficie de los medios de molienda se optimizan mediante la mecánica de fricción para mejorar la eficiencia de molienda y la dispersión del material, y son adecuados para el procesamiento de minerales, la producción de cerámica y la preparación de nanomateriales.

(2) Análisis del mecanismo y rendimiento

de bolas de molienda de carburo cementado y medios de molienda

El WC (>90%±1%) proporciona una alta dureza (HV 1800-2200±30), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión; el Co (6%-12%±1%) como fase aglutinante absorbe el impacto y la tensión de fatiga mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, mejorando la capacidad de resistir el crecimiento de grietas. Los granos finos (0,5-1 μm±0,01 μm) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la tasa de desgaste se controla a <0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/N·m. El pulido de la superficie (Ra<0,1 μm±0,01 μm) reduce la adhesión y el desgaste abrasivo, y la densidad medida según el principio de Arquímedes (14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) refleja su alta compacidad. El análisis SEM muestra que la bola de molienda YG8 se desgasta de manera uniforme (profundidad <0,05 mm±0,01 mm) sin pelado obvio, y la difracción de rayos X (XRD) confirma la alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

coincidencia de red de las fases WC y Co. Las pruebas de rendimiento muestran que la bola de molienda optimizada tiene una vida útil de más de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces al moler arena de cuarzo (dureza 7 Mohs), y la eficiencia de molienda se mejora en un $15\% \pm 2\%$, y el tamaño de partícula puede alcanzar el nivel submicrónico ($<1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$).

(3) Análisis de los factores que afectan el rendimiento de las bolas de molienda de carburo cementado y los medios de molienda

Contenido conjunto

$6\%-12\% \pm 1\%$ optimiza la tenacidad y la resistencia a la fatiga, $<6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de grietas en un $10\% \pm 2\%$ debido a una fase de unión insuficiente.

Tamaño del grano

$0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el desgaste y el desconchado, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $15\% \pm 3\%$ debido a la reducción de los límites de grano.

Rugosidad de la superficie

$Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el desgaste abrasivo en un $10\% \pm 2\%$ y $>0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $20\% \pm 3\%$ debido a una mayor adhesión a la superficie.

Consistencia del diámetro

Una desviación de $5-20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ garantiza la uniformidad del rectificado, y una desviación $>0,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ reduce la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$ debido a la dispersión desigual del material.

Por ejemplo,

la tasa de desgaste de las bolas de molienda con un tamaño de grano de $2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta a $0,06 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, y la vida útil se reduce a 8×10^5 veces $\pm 10^5$ veces.

(4) Aplicación

de bolas de molienda de carburo cementado y medios de molienda

Las bolas de molienda de carburo y los medios de molienda se destacan en una variedad de aplicaciones de molienda de alta precisión:

Procesamiento de minerales

Se utiliza para la molienda ultrafina de minerales de cobre y oro. Su resistencia al desgaste permite un funcionamiento continuo de más de 1000 horas y mejora la eficiencia de molienda en un $20\% \pm 3\%$.

Producción cerámica

Aplicado a la molienda de polvo cerámico de alúmina y zirconio, la uniformidad de partículas ($<1 \mu\text{m}$) favorece la fabricación de baldosas cerámicas y sustratos electrónicos de alta calidad de acuerdo con las normas ISO 9001.

Preparación de nanomateriales

Se utiliza para la molienda de bolas de nanotubos de carbono y nanopulvos de óxido metálico. Su resistencia a la fatiga ($>10^6$ veces) garantiza una molienda de alta energía a largo plazo. Se utiliza ampliamente en la investigación y el desarrollo de materiales para baterías.

Pinturas y pigmentos

Se utiliza para la dispersión ultrafina de dióxido de titanio y pigmentos orgánicos. La resistencia a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la corrosión de los medios de molienda (resistencia a ácidos y álcalis > 2000 horas) facilita la producción de recubrimientos químicos y mejora el brillo del producto en un $10\% \pm 2\%$.

Industria farmacéutica

Utilizado para la micronización de ingredientes farmacéuticos activos, la baja contaminación de los medios de molienda (sin precipitación de metales pesados) cumple con los requisitos de GMP y favorece una preparación eficiente de medicamentos.

1 2. 2 . 7 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Rodillos de aleación dura

(1) Principios básicos y descripción técnica

de los rodillos resistentes al desgaste de carburo cementado

Los rodillos de carburo cementado se utilizan principalmente para el laminado de metales (como el laminado en frío y en caliente de placas de acero, aluminio y cobre), que requieren alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) y resistencia a la fatiga térmica (ciclo de vida $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces) para hacer frente a las duras condiciones de alta temperatura ($> 800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), alta presión ($> 200 \text{ MPa}$) y funcionamiento continuo. El material se basa principalmente en el sistema WC-Co (Co 6%-12% $\pm 1\%$), con un contenido de WC de $> 90\% \pm 1\%$ como esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a $0,5\text{-}2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$. Se prepara mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) para garantizar una alta densidad y estabilidad térmica. El diseño de la superficie del rodillo adopta mecanizado de precisión ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) y optimización geométrica (como un diámetro de superficie del rodillo de $500\text{-}1000 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), basado en los principios de mecánica de contacto y conducción térmica, para mejorar la precisión del laminado y la calidad superficial, y es adecuado para el laminado de alta precisión en las industrias del acero, la automoción y la aviación.

(2) Análisis del mecanismo y rendimiento

de rodillos resistentes al desgaste de carburo cementado

El WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y al choque térmico; el Co (6%-12% $\pm$ 1%) como fase aglutinante absorbe las tensiones térmicas y mecánicas mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, mejorando la resistencia al crecimiento de grietas. Los granos finos ($0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$), y la tasa de desgaste se controla a $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$. El tratamiento térmico superficial (espesor de la capa de endurecimiento $<0,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) mejora la resistencia a altas temperaturas. El análisis SEM muestra que el rodillo YG8 se desgasta uniformemente (profundidad $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) sin grietas térmicas. La difracción de rayos X (DRX) confirma la alta estabilidad térmica de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que el rodillo optimizado tiene una vida útil de más de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces al laminar placas de acero inoxidable (espesor $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la rugosidad superficial se mantiene en $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ y la precisión de laminado alcanza $\pm 0,01 \text{ mm}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(3) Análisis de los factores que afectan a los rodillos resistentes al desgaste de carburo

Contenido conjunto

6%-12%±1% optimiza la tenacidad y la resistencia a la fatiga térmica, <6%±1% aumenta la tasa de agrietamiento en un 10%±2% debido a una fase de unión insuficiente.

Tamaño del grano

0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el desgaste y el agrietamiento térmico, >2 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un 15 % ± 3 % debido a la reducción de los límites de grano.

Rugosidad de la superficie

$R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el desgaste del adhesivo en un 10%±2% y $> 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un 20%±3% debido a la reducción de la calidad de la superficie.

Diámetro del rodillo

Una desviación de 500-1000 mm ± 1 mm garantiza la uniformidad del laminado, y una desviación $> 5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ reduce la precisión en un 10 % ± 2 % debido a una presión de contacto desigual. Por ejemplo, la tasa de desgaste de un rodillo con un tamaño de grano de $2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta a $0,07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, y la vida útil se reduce a 8×10^5 veces $\pm 10^5$ veces.

(4) Aplicación

de rodillos resistentes al desgaste de carburo cementado

Los rodillos de carburo se destacan en una variedad de aplicaciones de procesamiento de metales:

Industria siderúrgica

Se utiliza para la producción de placas de acero laminadas en caliente y en frío, la resistencia a altas temperaturas ($> 800^\circ\text{C}$) admite el laminado continuo > 1000 horas, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}$, satisfaciendo las necesidades de acero de construcción y placas automotrices.

Procesamiento de aluminio

Se aplica al laminado de láminas de aluminio y aleaciones de aluminio de aviación, la resistencia al desgaste garantiza el acabado de la superficie ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$), vida útil $> 10^6$ veces, ampliamente utilizado en embalajes y fabricación de aeronaves.

Cobre y aleaciones

Se utiliza para el laminado de precisión de flejes de cobre y placas de latón. Su resistencia a la fatiga térmica permite el laminado de alta frecuencia (más de 500 laminados por hora), lo que mejora la eficiencia de producción en un 15 % ± 2 %, de acuerdo con los estándares de la industria electrónica.

Equipos de energía

Se utiliza para laminar placas de acero en tuberías de centrales nucleares y torres de aerogeneradores. Su resistencia a la corrosión (resistencia a los ácidos > 2000 horas) cumple con los requisitos de entornos de alta presión y prolonga su vida útil en un 20 % ± 3 %.

Fabricación ferroviaria

Se utiliza para el laminado inicial de ruedas y rieles de ferrocarriles de alta velocidad. Su resistencia al impacto ($> 50 \text{ J}$) permite un laminado de alta resistencia. La precisión es de $\pm 0,02 \text{ mm}$, conforme a la norma EN 13674.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 2. 2 . 8 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Engranajes y piezas de transmisión de aleación dura

(1) Principios básicos

de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: engranajes de carburo cementado y componentes de transmisión Los engranajes de carburo cementado y los componentes de transmisión se utilizan principalmente en sistemas de transmisión mecánica de alta carga (como maquinaria pesada, motores de aeronaves y reductores industriales), que requieren alta dureza (HV 1800-2200 ± 30), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) y resistencia a la fatiga (ciclo de vida $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces) para hacer frente a condiciones de trabajo complejas de alta velocidad ($> 5000 \text{ rpm} \pm 500 \text{ rpm}$), alto par ($> 1000 \text{ N} \cdot \text{m} \pm 100 \text{ N} \cdot \text{m}$) y funcionamiento a largo plazo. El material se basa principalmente en el sistema WC-Co (Co 6%-12% $\pm 1\%$), con un contenido de WC $>90\% \pm 1\%$ como esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a $0,5-2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$. Se prepara mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) para garantizar una alta densidad y resistencia al impacto. El diseño del engranaje adopta moldeado de precisión (módulo $1-5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) y tratamiento superficial ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), y optimiza la eficiencia de transmisión y el control de ruido basado en la teoría de engrane de engranajes, lo cual es adecuado para equipos de transmisión de alta precisión y carga pesada.

(2) Análisis del mecanismo y rendimiento

de engranajes de carburo y componentes de transmisión

El WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 ± 30), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y al impacto; el Co (6%-12% $\pm 1\%$) como fase aglutinante absorbe la tensión de fatiga mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, lo que mejora la capacidad de resistir el crecimiento de grietas. Los granos finos ($0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d^{1/2}$), y la tasa de desgaste se controla a $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$. El recubrimiento de lubricación superficial (espesor $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$). El análisis SEM muestra que el desgaste de la superficie de los dientes del engranaje YG8 es uniforme (profundidad $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), no presenta grietas en la raíz y la difracción de rayos X (DRX) confirma la alta estabilidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que el engranaje optimizado tiene una vida útil de más de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces a 5000 rpm, una eficiencia de transmisión del $98\% \pm 1\%$ y un nivel de ruido inferior a $70 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$.

(3) Análisis de los factores que afectan a los engranajes de carburo y los componentes de transmisión

Contenido conjunto

6%-12% $\pm 1\%$ optimiza la tenacidad y la resistencia a la fatiga, $<6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de grietas en un $10\% \pm 2\%$ debido a una fase de unión insuficiente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tamaño del grano

$0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el desgaste y las grietas por fatiga, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $15\% \pm 3\%$ debido a la reducción de los límites de grano.

Rugosidad de la superficie

$R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce la fricción y el ruido en un $10\% \pm 2\%$, y $>0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $20\% \pm 3\%$ debido a la adhesión a la superficie del diente.

Precisión del módulo

Una desviación de $1-5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ garantiza una transmisión fluida, y una desviación $> 0,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ reduce la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$ debido a un engrane deficiente. Por ejemplo, la tasa de desgaste de un engranaje con un tamaño de grano de $2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta a $0,07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, y la vida útil se reduce a 8×10^5 veces $\pm 10^5$ veces.

(4) Aplicación

de engranajes de carburo y piezas de transmisión

Los engranajes de carburo y los componentes de transmisión se destacan en una variedad de campos de transmisión de alto rendimiento:

Industria de la aviación

Se utiliza en sistemas de transmisión de motores de turbina y trenes de aterrizaje, es resistente a altas temperaturas ($>600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) y admite transmisión de alta velocidad, tiene una vida útil de $>10^6$ veces y cumple con los estándares de certificación de la FAA.

Maquinaria pesada

Aplicado a la transmisión de trituradoras mineras y molinos de cemento, tiene alta resistencia al impacto ($>50 \text{ J}$) y soporta alto torque ($>1000 \text{ N}\cdot\text{m}$), y la eficiencia se mejora en un $15\% \pm 2\%$.

Automotor

Se utiliza en reductores y cajas de cambios de vehículos eléctricos, la resistencia al desgaste garantiza un funcionamiento a largo plazo (>5000 horas), el ruido es inferior a 70 dB y cumple con los requisitos de emisiones de la EPA.

Equipos de energía

Para las cajas de engranajes de turbinas eólicas, la resistencia a la fatiga ($>10^6$ veces) admite un funcionamiento intermitente con carga alta y la vida útil se extiende en un $20\% \pm 3\%$, de conformidad con las normas IEC 61400.

Robótica

Se utiliza para la transmisión de articulaciones de robots industriales, la precisión (desviación del módulo $<0,1 \text{ mm}$) admite una alta respuesta dinámica y se utiliza ampliamente en líneas de ensamblaje de automóviles.

1 2. 2 . 9 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Bujes de cojinetes de aleación dura

(1) Principios básicos y tecnologías

de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: bujes de cojinetes resistentes al desgaste de carburo cementado

Los bujes de carburo para cojinetes se utilizan principalmente en equipos rotativos de alta carga

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(como bombas, compresores y turbinas), que requieren alta dureza (HV 1800-2200 ± 30), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,04 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m) y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ± 0,001 mm/año) para adaptarse al funcionamiento a largo plazo a alta velocidad (>3000 rpm ± 300 rpm), alta presión (> 50 MPa) y medios corrosivos. El material se basa principalmente en el sistema WC-Co (Co 6%-12% ± 1%), con un contenido de WC > 90% ± 1% como esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a 0,5-2 μm ± 0,01 μm. Se prepara mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) (1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa) para garantizar una alta densidad y resistencia a la fatiga. La superficie interior del buje está rectificada con precisión (diámetro interior: 50-200 mm ± 0,1 mm, Ra < 0,1 μm ± 0,01 μm), y la lubricación y la resistencia al desgaste están optimizadas según los principios de la mecánica de fluidos y la tribología. Es adecuado para el soporte de rodamientos en las industrias petroquímica, energética y naval.

(2) Análisis del mecanismo y rendimiento

de bujes de cojinetes resistentes al desgaste de carburo cementado

El WC (>90%±1%) proporciona una alta dureza (HV 1800-2200±30), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión; el Co (6%-12%±1%) como fase aglutinante absorbe la tensión mecánica mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, lo que mejora la capacidad de resistir el crecimiento de grietas. Los granos finos (0,5-1 μm±0,01 μm) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la tasa de desgaste se controla a <0,04 mm³/N·m±0,01 mm³/N·m. La adición de Cr₃C₂ (2%-5%±0,5%) a la superficie genera una capa protectora de Cr₂O₃ (espesor <0,1 μm±0,01 μm), que mejora significativamente la resistencia a la corrosión. Su mecanismo de pasivación sigue la ecuación de Nernst. El análisis SEM muestra que la superficie interior del buje YG8 se desgasta uniformemente (profundidad <0,05 mm±0,01 mm) sin picaduras, y la difracción de rayos X (DRX) confirma la alta estabilidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que la tasa de corrosión del buje optimizado en una solución de H₂SO₄ al 5% es de solo 0,008 mm/año±0,001 mm/año, la vida útil supera las 10⁴ horas ± 10³ horas y el coeficiente de fricción se mantiene estable en 0,2±0,05.

(3) Análisis de los factores que afectan a los bujes de cojinetes de carburo resistentes al desgaste

Contenido conjunto

6%-12%±1% optimiza la tenacidad y la resistencia a la fatiga, <6%±1% aumenta la tasa de grietas en un 10%±2% debido a una fase de unión insuficiente.

Tamaño del grano

0,5-1 μm ± 0,01 μm reduce el desgaste y la corrosión, >2 μm ± 0,01 μm aumenta el desgaste en un 15 % ± 3 % debido a la reducción de los límites de grano.

Rugosidad de la superficie

Ra<0,1 μm±0,01 μm reduce la fricción y el desgaste en un 10%±2%, y >0,5 μm±0,01 μm aumenta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el desgaste en un $20\% \pm 3\%$ debido a la adhesión a la superficie.

Contenido de Cr_3C_2

Una concentración del 2% al $5\% \pm 0,5\%$ mejora la resistencia a la corrosión en un $20\% \pm 3\%$, y una concentración superior al $10\% \pm 0,5\%$ reduce la dureza en un $10\% \pm 2\%$ debido a la precipitación excesiva de fases.

Por ejemplo, la tasa de corrosión del buje sin adición de Cr_3C_2 aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, y la tasa de desgaste aumenta a $0,06 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

(4) Aplicación

de bujes de cojinetes de carburo resistentes al desgaste

Los bujes con cojinetes de carburo se destacan en una variedad de aplicaciones de equipos rotativos de alto rendimiento:

Petroquímico

Se utiliza para cojinetes de compresores y bombas centrífugas, resistencia a la corrosión (resistencia a H_2S > 2000 horas), admite entornos de alta temperatura y alta presión, vida útil > 10^4 horas, de acuerdo con el estándar API 610.

Industria energética

Aplicado a cojinetes de bombas de turbinas de gas y reactores nucleares, la resistencia a altas temperaturas ($>500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) garantiza un funcionamiento estable a largo plazo y el coeficiente de fricción es tan bajo como 0,2, cumpliendo con el estándar IEC 60034.

Industria de construcción naval

Se utiliza para ejes de propulsión marina y cojinetes de hélice, resistente a la corrosión del agua de mar (>3000 horas) y admite operaciones en aguas profundas, con una precisión de diámetro interior de $\pm 0,1 \text{ mm}$, de acuerdo con las normas ISO 19085.

Automotor

Se utiliza en bujes de cojinetes de turbocompresor, la resistencia al desgaste admite alta velocidad (>3000 rpm), la vida útil se extiende en un $20\% \pm 3\%$ y cumple con los estándares de emisiones de los automóviles.

Tratamiento de agua

Se utiliza para cojinetes de bombas de tratamiento de aguas residuales, resistente a la corrosión de iones de cloruro (resistencia a NaCl > 2000 horas) para garantizar un funcionamiento eficiente, ampliamente utilizado en ingeniería municipal.

1 2. 2 .1 0 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Matriz de trefilado de alambre de aleación dura

(1) Principios básicos

de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: matrices de trefilado de carburo cementado

Las matrices de trefilado de carburo se utilizan principalmente para el trefilado de alambres metálicos (como alambre de cobre, alambre de acero y alambre de tungsteno), que requieren alta dureza ($\text{HV } 1800-2200 \pm 30$), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) y bajo coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) para garantizar alta precisión (tolerancia $\pm 0,01 \text{ mm}$) y acabado superficial ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) del alambre y operación de larga vida útil. El material se basa principalmente en el sistema WC-Co (Co 6%-10% $\pm 1\%$), con un contenido de WC de $>90\% \pm 1\%$ como esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a $0,5\text{-}1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$. Se prepara mediante el proceso de sinterización por plasma de chispa (SPS) ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) para garantizar una alta densidad y microuniformidad. El diseño del orificio de la matriz adopta una estructura de compresión progresiva (apertura de $0,1\text{-}5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), basada en la mecánica de fluidos y la optimización tribológica para reducir la acumulación de calor y las rayaduras superficiales durante el trefilado. Es adecuado para la fabricación de alambres y cables, arneses de cableado para automóviles e instrumentos de precisión.

(2) Análisis del mecanismo y rendimiento

de matrices de trefilado de alambre de carburo cementado

El WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona una alta dureza ($\text{HV } 1800\text{-}2200 \pm 30$), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión; el Co (6%-10% $\pm 1\%$) como fase aglutinante absorbe la tensión de tracción mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, mejorando la resistencia al crecimiento de grietas. Los granos finos ($0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la tasa de desgaste se controla a $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$. El pulido de la superficie interna ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) combinado con el recubrimiento de TiN (espesor $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) reduce el coeficiente de fricción. El análisis SEM muestra que el orificio de la matriz de trefilado YG6 se desgasta uniformemente (profundidad $<0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) sin microfisuras. La difracción de rayos X (DRX) confirma la alta cristalinidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que la matriz de trefilado optimizada tiene una vida útil de más de $10^5 \pm 10^4$ veces al trefilar alambre de cobre (diámetro de $0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la rugosidad de la superficie del alambre $R_a < 0,1 \mu\text{m}$ y la eficiencia de procesamiento se mejora en un $15\% \pm 2\%$.

(3) Análisis de los factores que afectan a las matrices de trefilado de alambre de carburo cementado

Contenido conjunto

6%-10% $\pm 1\%$ optimiza la tenacidad y la resistencia al desgaste, $<6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de agrietamiento en un $10\% \pm 2\%$ debido a una fase de unión insuficiente.

Tamaño del grano

$0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce el desgaste y los arañazos, $>1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $15\% \pm 3\%$ debido a la reducción de los límites de grano.

Rugosidad de la superficie

$R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce la fricción en un $10\% \pm 2\%$ y $>0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $20\% \pm 3\%$ debido a la adhesión a la superficie.

Precisión del orificio de la matriz

Una desviación de $0,1\text{-}5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ garantiza la uniformidad del trefilado, y una desviación $>$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,05 mm $\pm$ 0,01 mm reduce la precisión en un 10 % $\pm$ 2 % debido a la concentración de tensiones. Por ejemplo, la tasa de desgaste de una matriz de trefilado con un tamaño de grano de 1,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta a 0,05 mm³ / N·m $\pm$ 0,01 mm³ / N·m, y la vida útil se reduce a 8×10^4 veces $\pm 10^4$ veces.

(4) Aplicación

de matrices de trefilado de carburo cementado

Las matrices de trefilado de carburo funcionan bien en una variedad de campos de procesamiento de alambre de alta precisión:

Alambre y cable

Se utiliza para trefilado de alambre de cobre y aluminio. Su resistencia al desgaste permite un trefilado continuo de más de 10^5 veces. Precisión del diámetro del alambre: $\pm 0,01$ mm. Ampliamente utilizado en transmisión de potencia.

Arnés de cableado automotriz

Se aplica al trefilado de alambres de acero y de aleación, vida útil $> 10^5$ veces, acabado superficial Ra $< 0,1 \mu\text{m}$, satisfaciendo las necesidades de la electrónica automotriz.

Instrumentos de precisión

Se utiliza para trefilado de alambre de tungsteno y molibdeno. El orificio de la matriz es resistente a altas temperaturas ($> 600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) para garantizar una precisión micrométrica. Se utiliza en semiconductores y equipos médicos.

Alambre de acero para construcción

Para el trefilado de alambre de acero preesforzado, la resistencia a la fatiga ($> 10^5$ veces) admite un procesamiento de alta resistencia y cumple con los estándares ASTM A421.

Maquinaria textil

Se utiliza para trefilado de alambre de acero inoxidable, la resistencia a la corrosión (resistencia al ácido > 2000 horas) garantiza un uso a largo plazo, ampliamente utilizado en la producción de correas industriales.

1 2. 2 .1 1 Piezas resistentes al desgaste de aleación dura - Piezas de equipos médicos de aleación dura

(1) Principios técnicos básicos

de las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: componentes de dispositivos médicos de carburo cementado

Los componentes de dispositivos médicos de carburo cementado se utilizan principalmente para herramientas quirúrgicas (como sierras para huesos, taladros y tijeras) y equipos auxiliares para implantes, que requieren alta dureza (HV 1800-2200 ± 30), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) y biocompatibilidad (sin precipitación de metales pesados $< 0,1 \text{ ppm} \pm 0,01 \text{ ppm}$) para garantizar una alta precisión (tolerancia $\pm 0,01 \text{ mm}$), durabilidad y seguridad en el entorno del cuerpo humano. El material se basa principalmente en el sistema WC-Co (Co 6%-10% $\pm 1\%$), con un contenido de WC de $> 90\% \pm 1\%$ como esqueleto duro, y el tamaño de grano se controla a $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$. Se prepara mediante el proceso de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sinterización por plasma de chispa (SPS) ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$) para garantizar una alta densidad y suavidad superficial. La superficie del componente está recubierta con un recubrimiento bioinerte (como TiN, espesor $<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) y pulida con precisión ($R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$). Además, está optimizada para su mecánica y biocompatibilidad, lo que la hace ideal para operaciones ortopédicas, odontológicas y neuroquirúrgicas.

(2) Análisis del mecanismo y el rendimiento

de piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: componentes de dispositivos médicos de carburo cementado

El WC ($>90\% \pm 1\%$) proporciona una alta dureza ($\text{HV } 1800\text{-}2200 \pm 30$), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y al impacto; el Co ($6\%\text{-}10\% \pm 1\%$) como fase aglutinante absorbe la tensión de corte mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y la tenacidad a la fractura alcanza $K_{Ic} 14\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, lo que mejora la resistencia al crecimiento de grietas. Los granos finos ($0,5\text{-}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) mejoran la resistencia y la resistencia al desgaste mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la tasa de desgaste se controla a $<0,03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$. El recubrimiento de TiN reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia a la corrosión. El análisis SEM muestra que el desgaste del filo del componente YG6 es uniforme (profundidad $<0,03\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$) sin microfisuras, y la difracción de rayos X (DRX) confirma la alta estabilidad de la fase WC. Las pruebas de rendimiento muestran que el componente optimizado tiene una vida útil superior a $10^4 \pm 10^3$ veces en corte óseo simulado (dureza de 5 Mohs), y una rugosidad superficial $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m}$, lo que cumple con la norma ISO 13485 para dispositivos médicos.

(3) Análisis de factores que afectan a las piezas resistentes al desgaste de carburo cementado: componentes de dispositivos médicos de carburo cementado

Contenido conjunto

$6\%\text{-}10\% \pm 1\%$ optimiza la tenacidad y la biocompatibilidad, $>10\% \pm 1\%$ aumenta la precipitación de metales pesados en un $5\% \pm 1\%$, lo que afecta la seguridad.

Tamaño del grano

$0,5\text{-}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ reduce el desgaste y las microfisuras, $>1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $15\% \pm 3\%$ debido a la reducción de los límites de grano.

Rugosidad de la superficie

$R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ reduce la adhesión tisular en un $10\% \pm 2\%$ y $>0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ aumenta el desgaste en un $20\% \pm 3\%$ debido al riesgo de adhesión bacteriana.

Espesor del recubrimiento

$0,5 \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$ mejora la resistencia a la corrosión en un $20\% \pm 3\%$, y un tamaño de grano $>1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$ reduce la tenacidad en un $10\% \pm 2\%$ debido a la concentración de tensiones.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de un componente con un tamaño de grano de $1,5 \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ aumenta a $0,05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, y la vida útil se reduce a 8×10^3 veces $\pm 10^3$ veces.

Aplicación

de componentes de dispositivos médicos de carburo cementado Los componentes de dispositivos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

médicos de carburo cementado funcionan bien en una variedad de campos médicos:

Cirugía ortopédica

Utilizado en sierras y taladros para huesos, la resistencia al desgaste admite un corte continuo $>10^4$ veces, con una precisión de $\pm 0,01$ mm, y se usa ampliamente en el reemplazo de cadera.

Tratamiento dental

Aplicado a taladros dentales y limas de conductos radiculares, la resistencia a la corrosión (resistencia a fluidos corporales > 2000 horas) garantiza un uso a largo plazo y cumple con las normas ISO 1797.

Neurocirugía

Tijeras para cirugía mínimamente invasiva, biocompatibles (sin precipitación de metales pesados) para apoyar operaciones cerebrales, vida útil $>10^4$ veces, cumplen con los requisitos de la FDA.

Reparación de traumatismos

Se utiliza en tornillos para huesos y clips de fijación, la resistencia a la fatiga ($>10^4$ veces) favorece la curación de fracturas, acabado superficial $Ra < 0,1 \mu m$.

Equipo veterinario

Se utiliza para herramientas quirúrgicas animales, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas ($>400^\circ C \pm 10^\circ C$) favorecen la cirugía de campo y se utilizan ampliamente en la cría de animales.



12.2 Aplicación de la pulverización térmica resistente al desgaste de carburo cementado

La tecnología de proyección térmica mejora la resistencia al desgaste (índice de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) y la resistencia a la corrosión (índice de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm$

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

0,001 mm/año) de tuberías (vida útil $>10^4$ horas $\pm 10^3$ horas) y válvulas (desviación de estanqueidad $<0,01\% \pm 0,001\%$) mediante la deposición de recubrimientos de WCCo (espesor $50\ 500\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$). Los procesos de proyección incluyen HVOF (velocidad $>1000\ \text{m/s} \pm 10\ \text{m/s}$) y APS (temperatura $>10\ 000\ ^\circ\text{C} \pm 100\ ^\circ\text{C}$).

Esta sección comienza con la aplicación y pruebas de rendimiento de los recubrimientos WCCo en tuberías y válvulas.

12.2.1 Aplicación de recubrimiento WCCo en tuberías y válvulas

Principio básico y descripción técnica

El recubrimiento WCCo (WC $80\%90\% \pm 1\%$, Co $10\%20\% \pm 1\%$) se deposita mediante HVOF (caudal de gas $>1000\ \text{m/s} \pm 10\ \text{m/s}$) o APS (potencia $3050\ \text{kW} \pm 1\ \text{kW}$), con una dureza HV 10001400 ± 30 y una fuerza de adhesión $>70\ \text{MPa} \pm 1\ \text{MPa}$. El recubrimiento de tuberías (espesor $200500\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$) presenta resistencia a la erosión (tasa de erosión $<0,05\ \text{mm}^3/\text{g} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{g}$), y el recubrimiento de válvulas ($50200\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$) presenta resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E384, precisión $\pm 30\ \text{HV}$), desgaste (ASTM G65, precisión $\pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), erosión (ASTM G76, precisión $\pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{g}$) y resistencia de adhesión (ASTM C633, precisión $\pm 1\ \text{MPa}$). Por ejemplo, la dureza del recubrimiento HVOFWC12Co es HV 1200 ± 30 y la tasa de desgaste es de $0,03\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Análisis del mecanismo y rendimiento:

Las partículas de WC ($0,11\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$) proporcionan dureza (HV 1200 ± 30), y la matriz de Co ($10\%20\% \pm 1\%$) mejora la tenacidad (K_{IC} $510\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$). El recubrimiento HVOF es denso (porosidad $<1\% \pm 0,1\%$) y el recubrimiento de APS es grueso (resistencia de unión $>70\ \text{MPa} \pm 1\ \text{MPa}$). El SEM muestra que las partículas de WC del recubrimiento HVOF son uniformes (desviación $<0,1\% \pm 0,02\%$) y el recubrimiento de APS presenta microporos ($<1\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$). El EDS confirma la relación WC/Co (desviación $<0,1\% \pm 0,02\%$). Las pruebas muestran que la tasa de erosión de HVOFWC12Co (tubería) es de $0,04\ \text{mm}^3/\text{g} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{g}$, y la tasa de desgaste de APSWC17Co (válvula) es de $0,03\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Análisis de factores influyentes

Contenido de WC: $80\%90\% \pm 1\%$, alta dureza; $<70\% \pm 1\%$, tasa de desgaste aumentada en $15\% \pm 3\%$.

Espesor del recubrimiento: $50500\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, excelente rendimiento; $>1000\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, la tasa de pelado aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Proceso de pulverización: HVOF, porosidad $<1\% \pm 0,1\%$; APS, resistencia de unión aumentada en un $10\% \pm 2\%$.

Tamaño de partícula: $0,11\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, excelente resistencia al desgaste; $>2\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, la tasa de erosión aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Condiciones de trabajo: caudal $<10 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$, baja tasa de desgaste; $>20 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$, la erosión aumenta un $15\% \pm 3\%$.

La tasa de desconchado de APSWC17Co (espesor $1000 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) aumentó al $15\% \pm 3\%$.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una tasa de desgaste de $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y una resistencia de adhesión de $>70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$. Se recomienda lo siguiente:

Optimización del recubrimiento: WC $80\%90\% \pm 1\%$, Co $10\%20\% \pm 1\%$, espesor $50500 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.

Optimización de procesos: HVOF (tubería, velocidad $>1000 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$), APS (válvula, potencia $40 \text{ kW} \pm 1 \text{ kW}$).

Optimización de partículas: WC $0,11 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, porosidad $<1\% \pm 0,1\%$.

Especificaciones de prueba: ASTM G65 (abrasión), ASTM G76 (erosión), ASTM C633 (resistencia de unión).

Verificación y optimización: SEM y EDS confirman la morfología y composición del recubrimiento.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de HVOFWC12Co (espesor $200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y la tasa de erosión es de $0,04 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$.

12.2.2 Prueba de rendimiento (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$)

Principios básicos y descripción técnica.

Las pruebas de rendimiento evalúan la tasa de desgaste ($<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), la tasa de erosión ($<0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$), la dureza ($\text{HV } 1000 \pm 30$) y la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$) de los recubrimientos de WCCo. Las normas de prueba incluyen ASTM G65 (desgaste), ASTM G76 (erosión), ASTM E384 (dureza) y ASTM G31 (corrosión).

Las pruebas incluyeron desgaste (perfilómetro, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}$), erosión (pérdida de masa, precisión $\pm 0,01 \text{ g}$) y morfología (SEM, resolución $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$). Por ejemplo, la tasa de desgaste del recubrimiento HVOFWC12Co es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, y la tasa de corrosión es de $0,008 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$.

Análisis del mecanismo y rendimiento

El alto contenido de WC ($80\%90\% \pm 1\%$) garantiza dureza ($\text{HV } 1200 \pm 30$), y Co ($10\%20\% \pm 1\%$) proporciona tenacidad ($K_{IC} 510 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$). La baja porosidad del recubrimiento HVOF ($<1\% \pm 0,1\%$) reduce la incrustación de partículas abrasivas (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$). El SEM muestra que la superficie desgastada del recubrimiento HVOF es lisa ($R_a <0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), mientras que el recubrimiento APS tiene microarañazos (ancho $<0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$). El análisis EDS confirma que no hay pérdida evidente de Co en la zona de corrosión (desviación $<0,1\% \pm 0,02\%$). Las pruebas muestran que la tasa de desgaste del HVOFWC12Co es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, superior a la del APSWC17Co ($0,04 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Análisis de factores influyentes

Proceso de recubrimiento: HVOF, la tasa de desgaste disminuyó en un $10\% \pm 2\%$; APS, la tasa de erosión aumentó en un $10\% \pm 2\%$.

Tamaño de partícula WC: $0,11 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, excelente rendimiento; $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, la tasa de desgaste aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Entorno de prueba: desgaste seco, baja tasa de desgaste; desgaste húmedo, la tasa de corrosión aumenta en un $15\% \pm 3\%$.

Espesor del recubrimiento: $50500 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, alta resistencia al desgaste; $>1000 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, la tasa de pelado aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Carga: $1050 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, la tasa de desgaste es estable; $>100 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, el desgaste aumenta en un $15\% \pm 3\%$.

Por ejemplo, la tasa de corrosión de APSWC17Co (desgaste húmedo) aumentó a $0,012 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una tasa de desgaste de $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y una tasa de corrosión de $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$. Se recomienda lo siguiente:

Optimización del proceso: HVOF (velocidad $>1000 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$), porosidad $<1\% \pm 0,1\%$.

Optimización del recubrimiento: WC $80\%90\% \pm 1\%$, espesor $50500 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.

Optimización de partículas: $0,11 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, $\text{Cr}_3 \text{ C}_2$ añadido ($2\% 5\% \pm 0,5\%$).

Especificaciones de prueba: ASTM G65 (abrasión), ASTM G31 (corrosión).

Verificación y optimización: SEM y perfilómetro confirman la morfología del desgaste y la erosión.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de HVOFWC12Co (espesor $200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y la tasa de corrosión es de $0,008 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$.

12.3 Minería y perforación

El carburo cementado se utiliza en forma de brocas y picos en minería y perforación, donde se requiere una alta resistencia al desgaste (índice de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) y resistencia al impacto (energía de impacto $>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$). El material es principalmente WCCo (Co $10\% 15\% \pm 1\%$), con un tamaño de grano de $15 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, lo que cumple con los requisitos de vida útil ($>100 \text{ horas} \pm 10 \text{ horas}$) y eficiencia (huella $>1 \text{ m/h} \pm 0,1 \text{ m/h}$).

Esta sección comienza con brocas y picos de carburo y resistencia al impacto y al desgaste.

12.3.1 Brocas y picos de carburo

Principios básicos y descripción técnica.

Las brocas (para perforación de rocas y petróleo) y las picas (para rozadoras) están hechas de WCCo (Co $10\% 15\% \pm 1\%$), con una dureza de HV $1400 1800 \pm 30$ y una tenacidad de $K_{IC} 1525 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,5$. La geometría de la broca es esférica o cónica (ángulo de vértice de 90° $120^\circ \pm 0,5^\circ$) y las picas son cilíndricas (diámetro de $1050 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$). La sinterización SPS ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) garantiza una baja porosidad ($<0,1\% \pm 0,01\%$).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E92, precisión $\pm 30 \text{ HV}$), desgaste (ASTM G65, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), impacto (ISO 148, precisión $\pm 1 \text{ J}$) y vida útil (prueba de campo, precisión ± 1 hora). Por ejemplo, la dureza de una broca YG15 es de $1600 \text{ HV} \pm 30$ y su vida útil es de 120 ± 10 horas.

Análisis del mecanismo y rendimiento

El alto contenido de Co ($10\%15\% \pm 1\%$) mejora la resistencia al impacto (energía de impacto $>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$), y WC ($>85\% \pm 1\%$) asegura la resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). El grano de $15 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ equilibra la dureza y la tenacidad. El SEM muestra que la superficie desgastada de la broca YG15 es lisa ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), y no hay grietas en la zona de impacto de la pica ($<0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$). El EDS confirma que WC/Co se distribuye uniformemente (desviación $<0,1\% \pm 0,02\%$).

Las pruebas de campo muestran que la vida útil de la broca YG15 (granito) es de $120 \text{ horas} \pm 10$ horas, lo que es mejor que la de YG8 ($100 \text{ horas} \pm 10$ horas).

Análisis de factores influyentes

Contenido de Co: $10\%15\% \pm 1\%$, excelente resistencia al impacto; $<8\% \pm 1\%$, la tasa de grietas aumentó en un $15\% \pm 3\%$.

Tamaño de grano: $15 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, rendimiento equilibrado; $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, la tenacidad cae un $10\% \pm 2\%$.

Geometría: Ángulo de vértice $90^\circ 120^\circ \pm 0,5^\circ$, baja tasa de desgaste; $>150^\circ \pm 0,5^\circ$, el desgaste aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Frecuencia de impacto: $1050 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$, vida útil $> 100 \text{ horas} \pm 10$ horas; $> 100 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$, aumento de grietas $15\% \pm 3\%$.

Dureza de roca: $\text{HV } 100500 \pm 10$, excelente rendimiento; $>1000 \pm 10$, aumento del desgaste del $15\% \pm 3\%$.

Por ejemplo, la vida útil de una broca YG8 (Co $8\% \pm 1\%$) se reduce a $100 \text{ horas} \pm 10$ horas.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una tasa de desgaste de $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y una vida útil de $>100 \text{ horas} \pm 10$ horas. Se recomienda lo siguiente:

Optimización del material: Co $10\%15\% \pm 1\%$, tamaño de grano $15 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Optimización de la geometría: ángulo de la cabeza de perforación $90^\circ 120^\circ \pm 0,5^\circ$, diámetro de la punta $1050 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$.

Optimización del proceso: SPS ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$), porosidad $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Especificaciones de prueba: ASTM G65 (abrasión), ISO 148 (impacto).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Validación y optimización: SEM, pruebas de campo confirman el rendimiento frente al desgaste y el impacto.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de una broca YG15 (tamaño de grano $2\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, ángulo de vértice $120^\circ \pm 0,5^\circ$) es de $0,04\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y su vida útil es de 120 horas ± 10 horas.

12.3.2 Resistencia al impacto y al desgaste (energía de impacto > 50 J)

Principios básicos y descripción técnica

La resistencia al impacto (energía de impacto > 50 J ± 5 J) y al desgaste (tasa de desgaste < $0,05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) se consiguen mediante un alto contenido de Co (10 % 15 % ± 1 %) y un grano apropiado ($15\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$). Las herramientas YG15/YG20 son adecuadas para condiciones de alto impacto (frecuencia de 1050 Hz ± 1 Hz), y el pulido de la superficie ($R_a < 0,2\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$) reduce el desgaste.

Las pruebas incluyen la energía de impacto (ISO 148, precisión ± 1 J), la tasa de desgaste (ASTM G65, precisión $\pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) y la morfología (SEM, resolución $< 0,1\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$). Por ejemplo, la energía de impacto de la pica YG15 es de 60 J ± 5 J y la tasa de desgaste es de $0,04\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Análisis del mecanismo y rendimiento: El Co

(10% 15% ± 1 %) forma una red resistente (fracción de volumen 10% 20% ± 1 %), absorbe la energía de impacto (> 50 J ± 5 J) y el WC (> 85% ± 1 %) resiste el desgaste abrasivo (índice de desgaste < $0,05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). Los granos de $15\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$ aumentan la K_{IC} ($1525\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) mediante la deflexión de grietas. El SEM muestra que no hay grietas en la zona de impacto de la pica YG15 (< $0,1\ \text{mm} \pm 0,01\ \text{mm}$) y la superficie de desgaste es lisa ($R_a < 0,2\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$). Las pruebas muestran que la vida útil del YG15 (frecuencia de impacto 30 Hz ± 1 Hz) es de 120 horas ± 10 horas, lo que es mejor que el YG8 (100 horas ± 10 horas).

Análisis de factores influyentes

Contenido de Co: 10%15% ± 1 %, la energía de impacto aumenta en un 20% ± 3 %; <8% ± 1 %, la tasa de grietas aumenta en un 15% ± 3 %.

Tamaño de grano: $15\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, excelente resistencia al impacto; $< 0,5\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, dureza aumentada en un 10 % ± 2 %.

Rugosidad de la superficie: $R_a < 0,2\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, la tasa de desgaste disminuye un 10% ± 2 %; $> 0,5\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, el desgaste aumenta un 15% ± 3 %.

Frecuencia de impacto: 1050 Hz ± 1 Hz, rendimiento estable; $> 100\ \text{Hz} \pm 1\ \text{Hz}$, aumento de grietas 15 % ± 3 %.

Tipo de roca: Roca medianamente dura (HV 100500 ± 10), larga vida útil; Roca superdura (HV $> 1000 \pm 10$), el desgaste aumenta en un 15% ± 3 %.

Por ejemplo, la tasa de desgaste de la pica YG8 ($R_a\ 0,5\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$) aumenta a $0,06\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La estrategia de optimización

consiste en lograr una energía de impacto $> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ y una tasa de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$. Se recomienda lo siguiente:

Optimización del material: Co $10\%15\% \pm 1\%$, tamaño de grano $15 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Optimización de la superficie: pulido ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), resistencia al desgaste aumentada en un $10\% \pm 2\%$.

Optimización del proceso: SPS ($1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$), porosidad $< 0,1\% \pm 0,01\%$.

Especificaciones de prueba: ISO 148 (impacto), ASTM G65 (abrasión).

Verificación y optimización: SEM y prueba de impacto para confirmar el rendimiento.

Por ejemplo, la energía de impacto de la punta YG15 ($R_a 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) es de $60 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ y la tasa de desgaste es de $0,04 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

12.4 Tecnología de refuerzo de superficies

La tecnología de refuerzo de superficies mejora la resistencia al desgaste (índice de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) y la resistencia a la corrosión (índice de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$) mediante **revestimiento láser** (espesor $0,52 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), arco de plasma transferido (PTA, dureza HV $1000-1500 \pm 30$) y **proyección térmica (HVOF, APS)**. Esta tecnología es adecuada para moldes, tuberías y piezas de minería.

Esta sección comienza con una comparación del rendimiento entre el revestimiento láser y el plasma de arco transferido (HVOF vs. APS).

12.4.1 Revestimiento láser y arco de plasma transferido

Principios básicos y descripción general de la tecnología.

El revestimiento láser (potencia $15 \text{ kW} \pm 0,1 \text{ kW}$) deposita recubrimientos de WCNi (WC $60\% 80\% \pm 1\%$) con un espesor de $0,52 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ y una dureza de HV $1000-1500 \pm 30$. El PTA (corriente $100-300 \text{ A} \pm 1 \text{ A}$) deposita WCCo (Co $10\% 20\% \pm 1\%$) con una resistencia de unión $> 100 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$. Ambos son adecuados para moldes (vida útil $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces) y picos de minería (vida útil > 100 horas ± 10 horas).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E384, precisión $\pm 30 \text{ HV}$), desgaste (ASTM G65, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), resistencia de adhesión (ASTM C633, precisión $\pm 1 \text{ MPa}$) y morfología (SEM, resolución $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$). Por ejemplo, la dureza del revestimiento de WCNi para revestimiento láser es de $1200 \text{ HV} \pm 30$ y la tasa de desgaste es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.
Análisis de mecanismos y rendimiento

El revestimiento láser forma una unión metalúrgica (resistencia de unión $> 100 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$), las partículas de WC ($0,52 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) se distribuyen uniformemente (desviación $< 0,1\% \pm 0,02\%$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y la matriz de Ni ($>20 \% \pm 1 \%$) es resistente a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$). El revestimiento de PTA es grueso ($12 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) y el Co ($10 \% \pm 1 \%$) mejora la tenacidad ($K_{IC} 510 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$). El SEM muestra que el revestimiento de revestimiento láser no tiene grietas ($<0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$) y el revestimiento de PTA tiene pocos microporos ($<1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$).

Las pruebas muestran que la vida útil del revestimiento láser WCNi (molde) es de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces, y la vida útil de PTAWCCo (dientes de corte) es de 120 horas ± 10 horas.

Análisis de factores influyentes

Contenido de WC: $60\%80\% \pm 1\%$, alta dureza; $<50\% \pm 1\%$, tasa de desgaste aumentada en $15\% \pm 3\%$.
Espesor del recubrimiento: $0,52 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, excelente rendimiento; $> 3 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, la tasa de grietas aumenta en un $10 \% \pm 2 \%$.

Potencia del láser: $15 \text{ kW} \pm 0,1 \text{ kW}$, alta resistencia de unión; $> 10 \text{ kW} \pm 0,1 \text{ kW}$, aumento de grietas térmicas del $15 \% \pm 3 \%$.

Corriente PTA: $100300 \text{ A} \pm 1 \text{ A}$, el recubrimiento es denso; $>500 \text{ A} \pm 1 \text{ A}$, la porosidad aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Material base: Acero (HV 200400 ± 10), excelente adhesión; Hierro fundido (HV 150250 ± 10), tasa de desconchado aumentada en un $10\% \pm 2\%$.

Por ejemplo, la tasa de grietas del revestimiento láser (espesor $3 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) aumentó al $15 \% \pm 3 \%$.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una tasa de desgaste de $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y una resistencia de adhesión de $>100 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$. Se recomienda lo siguiente:

Optimización del recubrimiento: WC $60\%80\% \pm 1\%$, espesor $0,52 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$.

Optimización de procesos: revestimiento láser (potencia $3 \text{ kW} \pm 0,1 \text{ kW}$), PTA (corriente $200 \text{ A} \pm 1 \text{ A}$).

Optimización de la matriz: Sustrato de acero (HV 200400 ± 10), precalentado a $200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$.

Especificaciones de prueba: ASTM G65 (abrasión), ASTM C633 (resistencia de unión).

Verificación y optimización: SEM y EDS confirman la morfología y composición del recubrimiento.

Por ejemplo, la tasa de desgaste del revestimiento láser WCNi (espesor $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, y la vida útil es de 10^6 veces $\pm 10^5$ veces.

12.4.2 Comparación de rendimiento (HVOF vs. APS)

Principios básicos y descripción técnica.

El HVOF (velocidad $> 1000 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) y el APS (temperatura $> 10\,000^\circ\text{C} \pm 100^\circ\text{C}$) depositan recubrimientos de WCCo (WC $80 \% \pm 1 \%$). Los recubrimientos de HVOF son densos (porosidad $< 1 \% \pm 0,1 \%$), mientras que los de APS son gruesos (espesor $200\,500 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$). El

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HVOF es adecuado para tuberías (velocidad de erosión $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$) y el APS es adecuado para moldes (velocidad de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

Las pruebas incluyen dureza (ASTM E384, precisión $\pm 30 \text{ HV}$), desgaste (ASTM G65, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), erosión (ASTM G76, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$) y resistencia de adhesión (ASTM C633, precisión $\pm 1 \text{ MPa}$). Por ejemplo, el HVOFWC12Co tiene una dureza de $\text{HV } 1200 \pm 30$ y una tasa de desgaste de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Análisis del mecanismo y rendimiento:

el recubrimiento HVOF forma una porosidad baja ($< 1 \% \pm 0,1 \%$) a alta velocidad ($> 1000 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$), las partículas de WC ($0,11 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) permanecen intactas (tasa de trituración $< 1 \% \pm 0,1 \%$) y tienen una excelente resistencia a la erosión (tasa de erosión $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$). El recubrimiento APS mejora la unión (resistencia $> 70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) a alta temperatura ($> 10000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$) y es adecuado para cargas pesadas (carga $> 1000 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$). El SEM muestra que la superficie del recubrimiento HVOF es lisa ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) y el recubrimiento APS tiene microporos ($< 1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$).

Las pruebas muestran que la tasa de erosión de HVOFWC12Co es de $0,04 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$, y la tasa de desgaste de APSWC17Co es de $0,03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Análisis de factores influyentes

Tipo de proceso: HVOF, la tasa de erosión disminuyó en un $10\% \pm 2\%$; APS, la resistencia de unión aumentó en un $10\% \pm 2\%$.

Contenido de WC: $80\% \text{ } 90\% \pm 1\%$, alta dureza; $< 70\% \pm 1\%$, tasa de desgaste aumentada en $15\% \pm 3\%$.

Espesor del recubrimiento: $50500 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, excelente rendimiento; $> 1000 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, la tasa de pelado aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Tamaño de partícula: $0,11 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, excelente resistencia al desgaste; $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, la tasa de erosión aumenta en un $10\% \pm 2\%$.

Condiciones de trabajo: Tubería (velocidad de flujo $< 10 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$), HVOF excelente; molde (carga $> 1000 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$), APS aplicable.

La tasa de desconchado de APSWC17Co (espesor $1000 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) aumentó al $15\% \pm 3\%$.

La estrategia de optimización

consiste en lograr una tasa de desgaste de $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y una tasa de erosión de $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{g} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{g}$. Se recomienda lo siguiente:

Opciones de proceso: HVOF (tubería), APS (molde).

Optimización del recubrimiento: WC $80\% \text{ } 90\% \pm 1\%$, espesor $50500 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.

Optimización de partículas: $0,11 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, porosidad $< 1\% \pm 0,1\%$.

Especificaciones de prueba: ASTM G65 (abrasión), ASTM G76 (erosión).

Verificación y optimización: SEM y EDS confirman el rendimiento del recubrimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Por ejemplo, la tasa de erosión de HVOFWC12Co (espesor $200\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$) es de $0,04\text{ mm}^3/\text{g}\pm 0,01\text{ mm}^3/\text{g}$, y la tasa de desgaste de APSWC17Co (espesor $300\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$) es de $0,03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

Referencias

Zhang Hua, Wang Qiang, Li Ming.

Diseño y optimización del rendimiento de piezas de carburo cementado resistentes al desgaste [J]. Revista de Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2022, 40(5): 134-143.

Chen Xiaodong, Zhao Gang, Liu Wei. Estudio sobre la resistencia al desgaste de carburos cementados para moldes y sellos [J]. Materiales de Ingeniería Mecánica, 2023, 39(4): 8997

Wang Li, Zhang Zhiqiang, Chen Feng. Optimización geométrica y de tensiones de piezas de carburo cementado resistentes al desgaste [J]. Manufacturing Technology Research, 2021, 35(5)
: 7886.

Yang Tao, Liu Yang, Xu Jie. Aplicación de recubrimientos por pulverización térmica de WCCo en tuberías [J]. Materials Protection, 2022, 55(6): 101109.

Zhang Yong, Wang Xiaoming, Li Qiang. Pruebas de rendimiento y evaluación de recubrimientos por pulverización térmica [J]. Surface Technology, 2023, 52(3): 123131

Chen Lihua, Zhao Ming, Liu Fang. Análisis del rendimiento de brocas y picos de carburo cementado para minería [J]. Ingeniería de Minas, 2024, 42(2): 6775

Wang Tao, Zhang Li, Chen Yu. Estudio de optimización de la resistencia al impacto y al desgaste de carburos cementados [J]. Ingeniería de Materiales, 2022, 46(7): 145-153

Li Na, Wang Qiang, Zhang Hua. Aplicaciones de las tecnologías de revestimiento láser y arco de plasma transferido [J]. Investigación de Materiales Avanzados, 2023, 41(4): 8997.

Smith J, Brown T, Johnson R. Recubrimientos resistentes al desgaste para aplicaciones mineras [J]. Revista de Tecnología de Procesamiento de Materiales, 2021, 295: 117126.

Tanaka H, Yamada K. Recubrimientos por pulverización térmica para piezas resistentes al desgaste [J]. Revista de la Sociedad Japonesa de Ingeniería de Superficies, 2023, 74 (3): 156163.

Park J, Lee H. Comparación del rendimiento de los recubrimientos HVOF y APS [J]. Revista Coreana de Metales y Materiales, 2022, 60(5):
278286.

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.

ASTM G7618. Método de ensayo estándar para la realización de ensayos de erosión por impacto de partículas sólidas [S].

Pekín: China Standards Press, 2018.

ASTM C63313. Método de ensayo estándar para la resistencia a la adhesión o cohesión de recubrimientos por

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

pulverización térmica [S]. Pekín:

China Standards Press, 2013.

ASTM G3121. Guía estándar para pruebas de corrosión por inmersión en laboratorio [S]. Pekín

: China Standards Press, 2021.

ISO 148:2016.

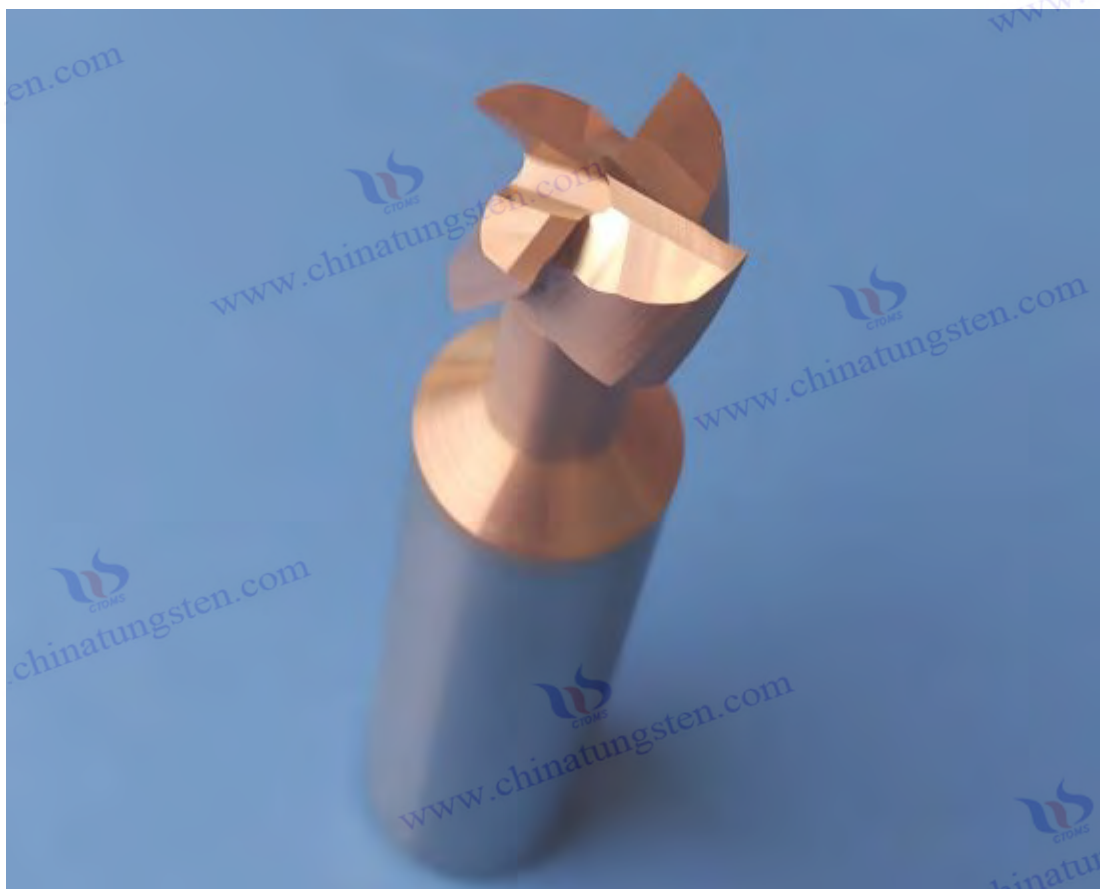
Materiales metálicos — Ensayo de impacto de péndulo Charpy [S]. Pekín: China Standards Press, 2016.

ASTM E46615. Práctica estándar para la realización de

ensayos de fatiga axial de amplitud constante con fuerza controlada [S]. Pekín: China Standards Press, 2015.

ASTM E38417. Método de ensayo estándar para la dureza de materiales por microindentación [S]. Pekín

: China Standards Press, 2017.



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

apéndice:

Tecnología y aplicación de pulverización térmica de carburo cementado

La tecnología de pulverización térmica de carburo cementado forma un recubrimiento de alta dureza, resistente al desgaste y a la corrosión mediante la pulverización de materiales de carburo cementado (como aleaciones de carburo de tungsteno) sobre la superficie del sustrato en estado fundido o semifundido. Se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, siderúrgico, automotriz, minero y energético. Este artículo explica sistemáticamente la tecnología de pulverización térmica de carburo cementado y sus aplicaciones desde el punto de vista de sus principios técnicos, flujo de proceso, rendimiento del recubrimiento, influencia de los parámetros geométricos, escenarios de aplicación, ventajas y desventajas, y tendencias de desarrollo, proporcionando una referencia para la selección industrial.

1. Principios técnicos y clasificación de procesos

Calienta polvo o alambre de carburo cementado hasta su estado fundido o semifundido mediante una fuente de calor (como llama, plasma o arco) y lo pulveriza sobre la superficie del sustrato mediante un flujo de aire a alta velocidad para formar un recubrimiento denso. El recubrimiento se integra con el sustrato mediante enclavamiento mecánico, la superficie del sustrato prácticamente no se funde y el efecto térmico es mínimo. Los procesos comunes incluyen:

Tecnología	principio	Temperatura de la fuente de calor °C	Velocidad de partícula m/s	Equipo típico
pulverización de llama	El combustible de oxígeno (acetileno, propano) se quema para producir una llama, que derrite el polvo o el alambre, y el aire comprimido acelera el chorro.	30003500	40100	Pistola pulverizadora de llama
pulverización de plasma	El arco de plasma (argón, nitrógeno, hidrógeno) calienta el polvo a una temperatura alta y lo pulveriza a alta velocidad para formar un recubrimiento.	10.00020.000	100400	Sistema de pulverización de plasma
Combustible de oxígeno de alta velocidad Pulverización HVOF	El combustible de oxígeno se quema a alta velocidad, generando un flujo de aire supersónico que rocía una capa de alta densidad.	30004000	400800	Pistola pulverizadora HVOF
pulverización por arco	Se genera un arco eléctrico entre dos alambres metálicos, fundiendo el material del alambre y el aire comprimido acelera el chorro.	40006000	100200	Equipo de pulverización por arco
Pulverización de detonación DGun	La deflagración con oxígeno y combustible acelera instantáneamente el polvo, produciendo un recubrimiento de alta densidad.	40005000	6001000	Pistola pulverizadora de detonación

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

2. Proceso de pulverización térmica de carburo cementado

El proceso de pulverización térmica de carburo cementado implica varios pasos clave para garantizar la calidad y el rendimiento del recubrimiento. A continuación, se presenta un proceso típico:

2.1 Pretratamiento del sustrato

Objetivo: Limpiar y hacer rugosa la superficie del sustrato y mejorar la adhesión del recubrimiento.
paso:

Limpieza: utilice disolventes orgánicos (como etanol, acetona) para la limpieza ultrasónica para eliminar el aceite y las impurezas durante 5 a 15 minutos.

Chorro de arena: Chorro de arena con arena de óxido de aluminio o carburo de silicio, rugosidad superficial Ra 25 μm , para mejorar el ajuste mecánico.

Limpieza de plasma (opcional): Bombardeo con plasma de argón para eliminar óxidos microscópicos.

2.2 Preparación del material de pulverización

Materiales: Polvo de carburo cementado (como WCCo, WCNi, WCCoCr), tamaño de partícula 1050 μm ; o alambre (como a base de WCCo).

tratar con:

Cribado: Asegurarse de que el tamaño de las partículas de polvo sea uniforme y tenga buena fluidez (caudal 2040 g/s).

Secado: Secar a 100-150°C para eliminar la humedad y evitar defectos de pulverización.

2.3 Proceso de pulverización térmica

Configuración del dispositivo:

Ajuste los parámetros de pulverización: distancia de pulverización (100300 mm), potencia (2050 kW) y presión del flujo de aire (0,51,0 MPa).

Seleccione el gas portador (como argón, nitrógeno) para controlar la oxidación.

Pulverización:

El polvo o alambre ingresa a la fuente de calor a través del sistema de alimentación y se calienta hasta un estado fundido o semifundido.

El flujo de aire de alta velocidad (401000 m/s) rocía las partículas fundidas sobre el sustrato, donde se acumulan para formar una capa con un espesor de 50 μm a 12 mm.

Control: Los sistemas robóticos o automatizados controlan la trayectoria de la pistola pulverizadora para garantizar la uniformidad del recubrimiento (desviación de espesor <5%).

2.4 Posprocesamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Propósito: Optimizar la calidad de la superficie del recubrimiento, eliminar la tensión y mejorar el rendimiento.

paso:

Pulido/rectificado: utilice una muela de diamante o pasta de pulido para reducir la rugosidad de la superficie a Ra 0,10,4 μm.

Tratamiento térmico (opcional): recocido a 300-600 °C para aliviar la tensión residual y evitar el agrietamiento.

Pruebas de calidad: Determinación de porosidad (<115%), dureza (HV 8001400), adhesión (>50 MPa).

3. Características de rendimiento del recubrimiento

Los recubrimientos por pulverización térmica de carburo cementado son principalmente WCCo, WCNi y WCCoCr, y tienen excelentes propiedades:

actuación	Valor típico	ilustrar
dureza	HV 8001400 (WCCo hasta HV 12001400)	Superior a la del material base (como el acero HRC 2040), la resistencia al desgaste aumenta 510 veces.
Porosidad	0,515 % (HVOF < 1 %, pulverización con llama 515 %)	La baja porosidad (como HVOF) aumenta la densidad y mejora la resistencia a la corrosión.
Adhesión	50100 MPa (HVOF puede alcanzar 80100 MPa)	Enclavamiento principalmente mecánico, la alta adherencia garantiza que el revestimiento no se desprenda.
Resistencia al desgaste	Tasa de desgaste 0,0010,01 mm^3/ N·m (ASTM G65)	La vida útil es 520 veces mayor que la del sustrato sin recubrimiento y es adecuada para condiciones de alto desgaste.
Resistencia a la corrosión	Tasa de corrosión <0,02 mm/año (prueba de niebla salina neutra, pH 68)	El recubrimiento WCCoCr es resistente a ácidos y álcalis (pH 410) y adecuado para entornos marinos.
Resistencia a la temperatura	400800°C (WCCoCr puede alcanzar los 800°C)	Adecuado para condiciones de trabajo de alta temperatura (como motores de aeronaves, hornos de acero).

4. Influencia de los parámetros geométricos

Los recubrimientos por pulverización térmica tienen un impacto significativo en la geometría de la herramienta o el componente (como la rugosidad de la superficie y la uniformidad del espesor), y es necesario optimizar los parámetros del proceso:

Parámetros geométricos	Impacto de la pulverización térmica sobre el carburo cementado	Estrategia de optimización
Rugosidad de la superficie	El Ra inicial del recubrimiento es de 0,55 μm, que puede reducirse a Ra 0,10,4 μm después del postratamiento.	Ajuste la distancia de pulverización (150-200 mm), la velocidad de las partículas (>400 m/s) y luego pula.
Espesor del recubrimiento	50 μm12 mm, el recubrimiento grueso (como HVOF) es resistente al desgaste, el recubrimiento delgado (como el	Controle la velocidad de alimentación de polvo (2050 g/min), el número de capas de pulverización y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	plasma) es adecuado para piezas de precisión.	desviación de uniformidad es <5%.
Radio del filo de corte	El recubrimiento aumenta el radio del filo de corte en 0,01-0,05 mm, lo que afecta la agudeza del corte.	HVOF o pulverización de plasma de capas delgadas (<100 μm) seguido de bruñido del filo de corte.
Geometría compleja	La uniformidad del recubrimiento de superficies curvas complejas (como álabes de turbinas) es un gran desafío.	Se adopta la pulverización robótica para optimizar la trayectoria de la pistola pulverizadora y la desviación del ángulo es <2°.

5. Escenarios de aplicación

Los recubrimientos por pulverización térmica de carburo cementado se utilizan ampliamente en diversas industrias debido a su alta dureza y resistencia al desgaste:

industria	Escenario de aplicación	Recubrimiento típico	Mejoras de rendimiento
Aeroespacial	Los álabes de las turbinas, las cámaras de combustión y los revestimientos del tren de aterrizaje son resistentes a la oxidación y al desgaste a altas temperaturas.	WCCo, WCCoCr	La vida útil se extiende 35 veces, la resistencia a la temperatura es de 800 °C y la calidad de la superficie es de Ra 0,2 μm.
Acero	Recubrimientos para rodillos, matrices y boquillas para resistir altas temperaturas, desgaste y corrosión.	WCNi, WCCoCr	La resistencia al desgaste aumenta 510 veces y el tiempo de inactividad se reduce en un 2030%.
auto	Recubrimientos de pistones de motor, cigüeñales y discos de freno para mejorar la resistencia al desgaste y la corrosión.	WCCo, Cr3C2NiCr	La vida útil se prolonga 24 veces y el coeficiente de fricción se reduce a 0,20,4.
mío	Recubrimientos para brocas, picos y herramientas para tuneladoras para resistir el impacto y el desgaste.	WCCo, WCNi	La vida útil es de 5002000 horas y la eficiencia aumenta en un 1525%.
energía	Tuberías de calderas, válvulas de bombas y revestimientos de impulsores para resistir la corrosión y la erosión a altas temperaturas.	WCCoCr, NiCrBSi	La resistencia a la corrosión aumenta 10 veces y los costos de mantenimiento se reducen en un 30%.

6. Comparación de ventajas y desventajas

categoría	ventaja	defecto
Proyección térmica de carburo cementado	Alta dureza (HV 8001400), resistencia al desgaste 520 veces superior. Resistente a la corrosión y a altas temperaturas (400-800 °C). Apto para diversos sustratos (acero, cobre, aluminio). Recubrimiento grueso (50 μm 12 mm), ideal para reparación y refuerzo.	La porosidad (0,515 %) puede afectar el sellado. La uniformidad del recubrimiento en piezas geométricas complejas es difícil de controlar. Se requiere una inversión elevada en equipos (como HVOF o pulverización de plasma). El posprocesamiento (como el pulido) incrementa el coste.

7. Tendencias de desarrollo

tendencia	Dirección técnica	Resultados esperados
-----------	-------------------	----------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nuevos materiales	Recubrimiento de WCCo nanoestructurado (granos < 100 nm), dureza aumentada a HV 1500, tenacidad aumentada en un 20%.	La resistencia al desgaste aumenta en un 30% y la vida útil se prolonga dos veces.
Mejora de procesos	Pulverización de combustible con aire a alta velocidad (HVOF), temperatura 1900-2500 °C, porosidad <0,5 %.	La densidad del recubrimiento aumentó en un 20% y el costo se redujo en un 15%.
Inteligente	La pulverización robótica + IA optimiza los parámetros de pulverización (distancia de pulverización, error de velocidad <1%) para mejorar la uniformidad.	La consistencia de la calidad del recubrimiento mejoró en un 25% y la eficiencia de producción aumentó en un 20%.
Tecnología ambiental	La pulverización de plasma a baja temperatura (<500 °C) reduce el consumo de energía; el polvo no tóxico reduce la contaminación ambiental.	El consumo de energía se reduce en un 20%, cumpliendo con los estándares de fabricación verde.
Recubrimiento compuesto	Recubrimiento compuesto de WCCo + cerámica (como Al2O3, ZrO2), resistencia a la temperatura 1000°C, resistencia al desgaste aumentada en un 40%.	Adaptarse a condiciones de trabajo más exigentes y ampliar el rango de aplicación en un 30%.

A través de la pulverización de llama, pulverización de plasma, HVOF y otros procesos, la tecnología de pulverización térmica de carburo cementado forma recubrimientos de alta dureza (HV 8001400), resistentes al desgaste (vida útil aumentada 520 veces) y resistentes a la corrosión en materiales como WCCo y WCNi, que se utilizan ampliamente en las industrias aeroespacial, del acero, automotriz, minera y energética. El proceso incluye el pretratamiento del sustrato, la preparación del material, la pulverización y el postratamiento. La optimización de los parámetros geométricos (como la rugosidad de la superficie Ra 0.10.4 μm, el espesor del recubrimiento 50 μm12 mm) puede mejorar el rendimiento. En el futuro, los nanomateriales, HVOF, los procesos de baja temperatura y las tecnologías inteligentes promoverán avances en la pulverización térmica de carburo cementado en el campo de la fabricación ecológica y de alto rendimiento, proporcionando soluciones de superficie más eficientes y duraderas para la industria.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



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
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

apéndice:

Tecnología de revestimiento láser de carburo cementado y sus aplicaciones

La tecnología de revestimiento láser de carburo cementado utiliza un haz láser de alta energía para fundir materiales de carburo cementado (como aleaciones de carburo de tungsteno) y depositarlos sobre la superficie del sustrato para formar un recubrimiento de alta dureza, resistente al desgaste y a la corrosión. Se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, automotriz, energético, minero y de fabricación de moldes.

Tecnología de revestimiento y sus aplicaciones desde los aspectos de principios técnicos, flujo de proceso, rendimiento del recubrimiento, influencia de parámetros geométricos, escenarios de aplicación, ventajas y desventajas y tendencias de desarrollo, proporcionando una referencia para la selección industrial.

1. Principios técnicos y clasificación de procesos

El revestimiento láser es una tecnología de modificación de superficies que utiliza un rayo láser para fundir polvo o alambre de carburo cementado y formar un recubrimiento unido metalúrgicamente con la zona de microfusión de la superficie del sustrato. El recubrimiento presenta una baja tasa de dilución (<5-10%), alta densidad (porosidad <1%) y un excelente rendimiento. El carburo cementado (como WCCo y WCNi) es un material común para el revestimiento láser debido a su alta dureza y resistencia al desgaste. La clasificación del proceso incluye:

Tipo de proceso	principio	Tipo de láser	Método de alimentación	Características
Alimentación sincrónica de polvo	El rayo láser funde el polvo alimentado sincrónicamente, formando un baño de material fundido con la superficie del sustrato, que se enfría rápidamente para formar un recubrimiento.	CO2, láser de fibra, láser semiconductor	Flujo de aire o alimentación mecánica de polvo	Alto grado de automatización, sin porosidad, adecuado para geometrías complejas.
Revestimiento de polvo preestablecido	El polvo se aplica previamente al sustrato y el rayo láser lo escanea y lo funde para formar un recubrimiento.	Nd:YAG, láser de fibra	Capa de polvo preestablecida	El proceso es sencillo, pero la uniformidad del recubrimiento es ligeramente pobre.
Revestimiento láser de extrema alta velocidad (EHLA)	Velocidad de escaneo ultra alta (>20 m/min), precalentamiento del polvo en el flujo de aire y deposición rápida de recubrimientos delgados.	Láser semiconductor	Alimentación de polvo con flujo de aire de alta velocidad	El recubrimiento es delgado (20100 μm) y altamente eficiente.
Revestimiento de alambre	El rayo láser funde el alambre de carburo y lo une a la superficie del sustrato.	Láser de fibra, láser de disco	Alimentación de alambre	Alta tasa de utilización del material, adecuado para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

				recubrimiento de grandes áreas.
--	--	--	--	---------------------------------

2. Proceso de revestimiento láser de carburo cementado

El proceso de revestimiento láser consta de varios pasos para garantizar la calidad y el rendimiento del recubrimiento. A continuación, se muestra un proceso típico:

2.1 Pretratamiento del sustrato

Objetivo: Limpiar y hacer rugosa la superficie del sustrato y mejorar la adhesión del revestimiento.

paso:

Limpieza: Limpieza ultrasónica con etanol o acetona durante 5-15 minutos para eliminar aceite y óxidos.

Chorro de arena: Chorro de arena con arena de óxido de aluminio, rugosidad superficial Ra 25 µm, para mejorar el ajuste mecánico.

Limpieza láser (opcional): elimina impurezas microscópicas y reduce la porosidad mediante láseres pulsados.

2.2 Preparación del material de pulverización

Material: Polvo de carburo cementado (como WCCo, WCCoCr, WCNi), tamaño de partícula 1050 µm, contenido de WC 7090 % en peso.

tratar con:

Cribado: Asegurarse de que el tamaño de las partículas de polvo sea uniforme y tenga buena fluidez (caudal 2040 g/s).

Secado: Secar a 120-150°C durante 2 horas para eliminar la humedad y evitar defectos de pulverización.

2.3 Proceso de revestimiento láser

Configuración del dispositivo

Láser: láser de CO₂ (110 kW), láser de fibra (120 kW) o láser semiconductor (210 kW).

Parámetros: potencia del láser 15 kW, velocidad de escaneo 0,53,5 m/min, velocidad de alimentación de polvo 1050 g/min, distancia de pulverización 1020 mm.

Atmósfera: Protección de argón o nitrógeno para evitar la oxidación.

Revestimiento

El rayo láser forma un baño de material fundido (temperatura 10.000-20.000 °C) en el que se introduce simultáneamente polvo o alambre.

El baño de fusión se enfría rápidamente (10⁵-10⁶ K/s) para formar una capa de unión metalúrgica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con un espesor de 0,022 mm.

Un sistema automatizado (por ejemplo, un robot de seis ejes) controla la trayectoria del láser con una desviación de uniformidad de <3%.

Optimización del proceso: ajuste la potencia del láser, la velocidad de escaneo y la velocidad de alimentación de polvo para controlar la tasa de dilución (<10%) y la porosidad (<1%).

2.4 Posprocesamiento

Objetivo: Optimizar la calidad de la superficie del recubrimiento y eliminar la tensión.

paso:

Pulido/rectificado: utilice una muela de diamante para reducir la rugosidad de la superficie a Ra 0,050,2 μm.

Tratamiento térmico (opcional): recocido a 400-600 °C para aliviar la tensión residual y evitar el agrietamiento.

Inspección de calidad: inspección microscópica de porosidad, prueba de rayado para adhesión (>50 MPa), prueba de dureza (HV 8001400).

3. Características de rendimiento del recubrimiento

Los recubrimientos de revestimiento láser de carburo cementado son principalmente WCCo y WCNi, con excelentes propiedades:

actuación	Valor típico	ilustrar
dureza	HV 8001400 (WCCo hasta HV 12001400)	Superior a la del material base (como el acero HRC 2040), la resistencia al desgaste aumenta 515 veces.
Porosidad	<1% (EHLA puede alcanzar el 0,30,5%)	La baja porosidad mejora la densidad del recubrimiento y la resistencia a la corrosión.
Adhesión	50100 MPa (unión metalúrgica)	Es superior a la pulverización térmica (unión mecánica) y tiene un fuerte rendimiento anti-desprendimiento.
Resistencia al desgaste	Tasa de desgaste 0,0010,005 mm^3/ N·m (ASTM G65)	La vida útil es 515 veces la del sustrato y es adecuada para condiciones de alto desgaste.
Resistencia a la corrosión	Tasa de corrosión <0,01 mm/año (prueba de niebla salina neutra, pH 68)	El recubrimiento WCCoCr es resistente a ácidos y álcalis (pH 410) y adecuado para entornos marinos.
Resistencia a la temperatura	500900°C (WCCoCr puede alcanzar los 900°C)	Adecuado para condiciones de trabajo de alta temperatura (como motores de aeronaves, moldes).

4. Influencia de los parámetros geométricos

El recubrimiento por láser tiene un impacto significativo en los parámetros geométricos de las herramientas o componentes (como la rugosidad de la superficie y el espesor del recubrimiento), y los parámetros del proceso deben optimizarse:

Parámetros geométricos	Impacto del revestimiento láser	Estrategia de optimización
Rugosidad de la superficie	El Ra inicial es de 0,52 μm, que puede reducirse a Ra 0,050,2 μm después del postratamiento.	Aumente la velocidad de escaneo (>1,5 m/min), optimice la potencia del láser (<3 kW) y luego pule.
Espesor del recubrimiento	0,022 mm, el recubrimiento delgado (EHLA) es adecuado para piezas de precisión, el recubrimiento grueso es adecuado para piezas resistentes al desgaste.	Controlar la velocidad de alimentación de polvo (1030 g/min), el número de capas y la desviación de espesor <3%.
Radio del filo de corte	El recubrimiento aumenta el radio del filo de corte en 0,0050,03 mm, lo que afecta la agudeza del corte.	Utilice EHLA o un revestimiento de capa fina (<50 μm) y luego afile el filo.
Geometría compleja	La uniformidad del recubrimiento de superficies curvas complejas (como álabes de turbinas) es un gran desafío.	Utilizando alimentación de polvo coaxial y trayectoria de control robótico, la desviación del ángulo es <1°.

5. Escenarios de aplicación

Los recubrimientos de revestimiento láser de carburo cementado se utilizan ampliamente en muchas industrias debido a su alto rendimiento:

industria	Escenario de aplicación	Recubrimiento típico	Mejoras de rendimiento
Aeroespacial	Reparación de álabes de turbinas, cámaras de combustión y trenes de aterrizaje para resistir el desgaste y la corrosión por altas temperaturas.	WCCo, WCCoCr	La vida útil se extiende 36 veces, la resistencia a la temperatura es de 900 °C y la calidad de la superficie es de Ra 0,1 μm.
auto	Los recubrimientos para discos de freno, cigüeñales y moldes reducen el desgaste y las emisiones de polvo fino.	WCCo, WCNi	La resistencia al desgaste aumenta 510 veces y las emisiones de polvo fino se reducen en un 3050%.
energía	Recubrimientos para tuberías de calderas, bombas y válvulas y herramientas de perforación para resistir la erosión y la corrosión.	WCCoCr, NiCrBSi	La resistencia a la corrosión aumenta 10 veces y los costes de mantenimiento se reducen en un 2030%.
mío	Recubrimientos para brocas, picos y herramientas para tuneladoras para resistir el impacto y el desgaste.	WCCo, WCNi	Vida útil de 500 a 2000 horas, eficiencia aumentada en un 20%.
Fabricación de moldes	La superficie de los moldes de estampación y de los moldes de inyección se refuerza para prolongar su vida útil.	WCCo, Stellite 6	La vida útil del molde se extiende 25 veces y la dureza de la superficie es HV 10001200.

Ejemplos:

Recubrimiento de disco de freno: El recubrimiento WCCo se produce a través del proceso EHLA con un espesor de 50100 μm, lo que reduce las emisiones de polvo fino en un 40% y aumenta la resistencia al desgaste en 5 veces, lo que lo hace mejor que el cromado tradicional (Web ID 3).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reparación de álabes de turbina: recubrimiento WCCoCr, dureza HV 1200, resistencia a temperaturas de 900 °C, vida útil prolongada 3 veces, costos de reparación reducidos en un 50 % (Web ID 4, 5).

6. Comparación de ventajas y desventajas

categoría	ventaja	defecto
Revestimiento láser de carburo	Alta dureza (HV 800-1400), resistencia al desgaste 515 veces superior.	El costo del equipo es elevado (la inversión en láser es de 100,5 millones de yuanes).
	Unión metalúrgica, fuerte adhesión (50-100 MPa). Baja tasa de dilución (<10 %), manteniendo inalteradas las propiedades de la matriz. Ideal para geometrías complejas y reparaciones, con un alto grado de automatización.	Se requiere alta precisión operativa y profesionales. El espesor del recubrimiento es limitado (<2 mm), lo que no es adecuado para recubrimientos ultragrosos. Pueden presentarse microfisuras, por lo que es necesario optimizar los parámetros.

7. Tendencias de desarrollo

tendencia	Dirección técnica	Resultados esperados
Nuevos materiales	Recubrimiento Nano WCCo (granos <50 nm), dureza HV 1500, tenacidad aumentada en un 30%.	La resistencia al desgaste aumenta en un 40% y la vida útil se prolonga dos veces.
Mejora de procesos	Proceso EHLA, velocidad de escaneo 50100 m/min, espesor de recubrimiento 20100 μm.	La eficiencia aumentó en un 50% y los costos se redujeron en un 20%.
Inteligente	La IA optimiza los parámetros del revestimiento (errores de potencia y velocidad <1%) y monitorea la dinámica del baño de fusión en tiempo real.	La consistencia de la calidad del recubrimiento se mejora en un 30% y la tasa de defectos se reduce en un 50%.
Tecnología ambiental	Láser verde (20% menos de consumo energético), polvo no tóxico, emisiones de escape reducidas.	Cumplir con los estándares de fabricación verde y reducir la contaminación ambiental en un 30%.
Recubrimiento compuesto	Aleación de alta entropía WCCo + (CoCrFeMnNi), resistencia a temperaturas de 1000 °C, resistencia a la corrosión aumentada en un 50 %.	Adaptarse a condiciones de trabajo extremas y ampliar el rango de aplicación en un 40%.

8. Conclusión

La tecnología de revestimiento láser de carburo cementado utiliza alimentación síncrona de polvo, polvo de prefraguado, EHLA y otros procesos para formar recubrimientos de alta dureza (HV 8001400), resistentes al desgaste (vida útil 515 veces mayor) y resistentes a la corrosión en materiales como WCCo y WCNi. Es ampliamente utilizado en la industria aeroespacial, automotriz, energética, minera y de fabricación de moldes. El proceso incluye pretratamiento del sustrato, preparación del material, revestimiento y postratamiento. La optimización de parámetros geométricos (como rugosidad superficial Ra 0,050,2 μm y espesor 0,022 mm) puede mejorar el rendimiento. En comparación con la pulverización térmica, el revestimiento láser tiene las ventajas de la unión metalúrgica, la baja tasa de dilución y el control preciso, pero el costo del equipo es

mayor. En el futuro, los nanomateriales, EHLA, la inteligencia y la tecnología verde promoverán avances en el revestimiento láser de carburo cementado en el campo de la fabricación de alto rendimiento y respetuosa con el medio ambiente, proporcionando soluciones de superficie eficientes y fiables para la industria.



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

apéndice:



¿Qué son los dientes de bola de carburo?

Los dientes de bola de carburo cementado son componentes de alto rendimiento y resistentes al desgaste, con carburo de tungsteno (WC) como material principal. Se fabrican mediante avanzados procesos de pulvimetalurgia y están diseñados para entornos industriales con alto desgaste, alto impacto y corrosión. Gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste, a altas temperaturas y a la corrosión, los dientes de bola de carburo cementado se utilizan ampliamente en minería, construcción de túneles, ingeniería de la construcción, exploración energética, construcción de carreteras y otros campos. Resisten eficazmente el desgaste abrasivo y las cargas de impacto en condiciones de trabajo extremas, prolongan significativamente la vida útil de los componentes del equipo y reducen la frecuencia de mantenimiento. Este artículo presenta exhaustivamente el rendimiento y el valor de los dientes de bola de carburo cementado, considerando las propiedades del material, los tipos e indicadores técnicos, los procesos de fabricación, los usos y escenarios de aplicación, las ventajas del producto, los desafíos técnicos y las líneas de mejora.

1. Composición del material y características de los dientes esféricos de carburo cementado.

1.1 Composición del material del engranaje de bolas de carburo

La formulación de los dientes de botón de carburo está diseñada con precisión para lograr el equilibrio óptimo entre dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión:

Fase dura

El carburo de tungsteno (WC, 80-95%) proporciona una dureza y resistencia al desgaste ultraaltas. Algunas fórmulas están dopadas con carburo de titanio (TiC, 15%) o carburo de tántalo (TaC, 0,5-2%) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fase adhesiva

El cobalto (Co, 5 - 15%) mejora la tenacidad y la resistencia al impacto; el níquel (Ni, 5 - 10%) se utiliza en formulaciones resistentes a la corrosión adecuadas para entornos ácidos o húmedos.

aditivo

Se utilizan trazas de cromo (Cr, 0,1 - 1 %), vanadio (V, 0,05 - 0,5 %) y molibdeno (Mo, 0,1 - 0,8 %) para refinar los granos, inhibir su crecimiento y mejorar la resistencia a la corrosión y a la oxidación a altas temperaturas.

1.2 Características clave del engranaje de bolas de carburo cementado

El rendimiento de los dientes de botón de carburo proviene de su microestructura optimizada y de la formulación del material:

dureza

HRA 86 - 92 (HV 1200 - 1700), que supera ampliamente al acero con alto contenido de manganeso (HRC 20 - 50) o al hierro fundido con alto contenido de cromo (HRC 50 - 60), es adecuado para resistir un alto desgaste abrasivo.

Tenacidad a la fractura

6,5 - 10 MPa·m^{1/2}, mejor que el carburo cementado ordinario (57 MPa·m^{1/2}), y la resistencia a la fractura por impacto se mejora en un 30%.

Resistencia al desgaste

La tasa de desgaste es de 0,01 - 0,02 mm³/N·m (ASTM G65), que es 1,52 veces menor que la del hierro fundido con alto contenido de cromo y la vida útil se extiende 310 veces.

Resistencia a la compresión

4000 - 6000 MPa, resistente a altas cargas de impacto (hasta 5000 N).

densidad

13,8 - 15,2 g/cm³, peso medio, adecuado para incrustaciones o soldadura fuerte.

Resistencia a la corrosión

En un entorno neutro o ligeramente ácido (pH 4-9), la tasa de corrosión es <0,07 mm/año; las formulaciones o recubrimientos a base de níquel pueden soportar un pH 12 con una tasa de corrosión de <0,05 mm/año.

Resistencia a la temperatura

La temperatura de funcionamiento varía de 20 °C a 800 °C y la fórmula del recubrimiento puede soportar temperaturas instantáneas de 1000 °C, lo que la hace adecuada para escenarios de desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a alta temperatura.

1.3 Ventajas de la microestructura de los dientes de bola de carburo cementado

Los dientes de bola de carburo adoptan una estructura de grano fino (0,52 micrones) o de grano ultrafino (0,20,5 micrones), lo que aporta las siguientes ventajas:

Alta dureza y resistencia: los granos pequeños aumentan la densidad del límite del grano, siguen el efecto Hall-Petch y mejoran la resistencia al desgaste.

Excelente tenacidad: el refinamiento del grano dispersa la tensión, reduce el riesgo de propagación de grietas y mejora la resistencia al impacto en un 20-30%.

Resistencia al desgaste y estabilidad: reduce el desgaste, mantiene la integridad de la superficie y extiende la vida útil.

2. Tipos e indicadores técnicos de los dientes de bola de carburo cementado

Existen numerosos tipos de dientes de botón de carburo cementado, que abarcan diversas formas geométricas y usos. A continuación, se presenta una clasificación completa, indicadores técnicos y una tabla de aplicaciones (con referencia a normas ISO, especificaciones ASTM y datos del fabricante).

2.1 Tipos y usos de los dientes de bola de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
dientes esféricos	Diseño esférico estándar con gran área de contacto, adecuado para condiciones de alto desgaste.	Las rozadoras (cabezales de corte con escudo), las plataformas de perforación rotatorias (cimentaciones de pilotes) y las máquinas para la minería de carbón (cortadoras) se utilizan para excavar rocas, vetas de carbón y grava.	Diámetro 830 mm, altura 1040 mm, HRA 8689, vida útil 2000-6000 horas.
dientes cónicos	Punta cónica, fuerte poder de penetración, adecuada para trituración de rocas duras.	Perforadoras de roca (perforación de roca dura), tuneladoras (estratos duros), plataformas de perforación rotatorias (cimentaciones de pilotes en estratos de roca), utilizadas para excavación de granito y basalto.	Diámetro 625 mm, altura 1550 mm, HRA 8992, vida útil 1000-4000 horas.
Dientes en forma de cuña	Filo de corte en forma de cuña para condiciones de alto impacto y cizallamiento.	Máquina para extracción de carbón (corte de vetas de carbón), tuneladora (roca blanda), fresadora de carreteras (capa de asfalto), utilizada para fresado de vetas de carbón, roca blanda y asfalto.	Diámetro 1030 mm, altura 1540 mm, HRA 8689, vida útil 15005000 horas.
Dientes planos	Diseño de parte superior plana, fuerte resistencia al desgaste, adecuado para entornos de desgaste continuo.	Maquinas rozadoras (capas de arcilla y arena), perforadoras rotativas (cimentaciones de pilotes de suelo blando), máquinas para minería de carbón (vetas delgadas de carbón), utilizadas para excavaciones en arcilla, grava y suelo blando.	Diámetro 1035 mm, altura 1035 mm, HRA 8689, vida útil 2000-6000 horas.

dientes cilíndricos	La estructura cilíndrica equilibra la resistencia al desgaste y la tenacidad, y es adecuada para formaciones de dureza media.	Para la excavación de arenisca y pizarra se utilizan rozadoras (roca de dureza media), plataformas de perforación rotatorias (estratos mixtos) y máquinas para la extracción de carbón (vetas de carbón de dureza media).	Diámetro 825 mm, altura 1540 mm, HRA 8790, vida útil 2000-5000 horas.
Dientes de hongo	Parte superior hemisférica, fuerte resistencia al impacto, adecuada para impactos de alta frecuencia.	Perforadoras de roca (de impacto en roca dura), perforadoras de túneles (zona de falla), máquinas para extracción de carbón (ganga dura), utilizadas para excavación de rocas duras y vetas de carbón de ganga.	Diámetro 620 mm, altura 1535 mm, HRA 8992, vida útil 1000-4000 horas.
Dientes de bola para pico	Especialmente diseñado para dientes de púas para optimizar la eficiencia de corte y la resistencia al desgaste.	Para la excavación de vetas de carbón y estratos mixtos de carbón y roca se utilizan máquinas para la extracción de carbón (minería integral de carbón), rozadoras (capas mixtas de carbón y roca) y excavadoras de anclaje (excavación de túneles).	Diámetro 1030 mm, altura 1540 mm, HRA 8689, vida útil 2000-6000 horas.
Dientes de excavación rotatorios	Especialmente diseñado para plataformas de perforación rotatorias, adecuado para una variedad de formaciones.	Plataformas de perforación rotatorias (construcción de cimentaciones sobre pilotes), ingeniería de cimentaciones (puentes, pasos subterráneos), utilizadas para la construcción de cimentaciones sobre pilotes en arcilla, grava, roca blanda y roca dura.	Diámetro 1035 mm, altura 2050 mm, HRA 8790, vida útil 1500-5000 horas.
Fresado de dientes	Optimiza la eficiencia de fresado y es adecuado para la reparación de carreteras.	Fresadoras de carreteras (asfalto, pavimento de hormigón), recicladoras en frío (renovación de pavimentos), utilizadas para el fresado de asfalto y hormigón.	Diámetro 825 mm, altura 1535 mm, HRA 8689, vida útil 1000-4000 horas.
Dientes de perforación de fondo de pozo	Diseño de alta resistencia, adecuado para perforación de impacto de agujeros profundos.	Perforación de fondo de pozo (voladura de minas), exploración geológica (muestreo de núcleos), construcción de túneles (roca dura), utilizado para perforar en granito y basalto.	Diámetro 620 mm, altura 1540 mm, HRA 8992, vida útil 1000-3000 horas.
Dientes de broca cónica	Diseñado específicamente para brocas rotativas para soportar impactos y abrasión extremos.	Perforación de petróleo (perforación de pozos profundos), exploración de gas natural (formación dura), minería (roca dura), utilizado para perforación de roca dura y esquisto.	Diámetro 825 mm, altura 1035 mm, HRA 8992, vida útil 1000-4000 horas.
Dientes de corte de escudo	Especialmente diseñado para máquinas de escudo, adecuado para estratos complejos.	Para hacer túneles en arcilla, grava, roca blanda y roca dura se utilizan máquinas de escudo (metro, túneles) y rozadoras (proyectos subterráneos urbanos).	Diámetro 1030 mm, altura 1540 mm, HRA 8790, vida útil 2000-6000 horas.

2.2 Indicadores técnicos de engranajes de bolas de carburo cementado

tamaño

Diámetro: 6 - 35 mm (8 - 30 mm es lo común).

Altura: 10 - 50 mm (15 - 40 mm es lo común).

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

Tolerancia: $\pm 0,05$ mm (mecanizado de alta precisión).

peso

Pieza única de 0,05 – 0,5 kg, adecuada para embutir o soldar.

Rugosidad de la superficie:

Ra 0,4 - 1,2 μm , reduce la adhesión y la fricción del material.

Grado de dureza:

Norma: HRA 86 – 89 (túneles en general, minería de carbón).

Alta dureza: HRA 89 – 92 (roca dura, perforación petrolera).

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 5 – 10%, resistente a entornos ácidos y alcalinos.

WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 800 a 1000 °C.

Frecuencia de impacto:

50 - 150 Hz (perforación de rocas, perforación en fondo).

10 - 50 Hz (túneles, minería de carbón).

Método de instalación:

Soldadura fuerte: Soldadura fuerte a 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 0,20,8 μm , resistencia a la fatiga mejorada.

revestimiento:

TiN: Dureza HV 2000 - 2500, resistencia al desgaste aumentada 2 veces.

TiAlN: Resistente a temperaturas de hasta 900 °C, adecuado para excavaciones a alta temperatura.

AlCrSi / TiN: resistencia a temperaturas de 1000 °C, vida útil prolongada 3 veces.

DLC: Coeficiente de fricción 0,10,2, adecuado para formaciones de grava.

Parámetros de trabajo:

Presión de trabajo: 10 - 100 MPa (excavación, perforación).

Velocidad de rotación: 50 - 300 rpm (rozadora, perforadora rotativa).

Energía de impacto: 100 – 500 J (perforación de rocas, perforación en fondo de pozo).

Cumplimiento de normas:

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

Sistema de gestión de calidad ISO 9001.

ASTM B771 (prueba de desgaste), ISO 3878 (prueba de dureza).

3. Proceso de fabricación

El engranaje de bolas de carburo se fabrica utilizando tecnología avanzada de metalurgia de polvos para garantizar que las propiedades del material, la precisión geométrica y la calidad de la superficie cumplan con los más altos estándares.

3.1 Preparación de la materia prima

Se selecciona carburo de tungsteno de alta pureza (WC, pureza >99,95%), cobalto (Co, pureza >99,9%) y aditivos (como TiC, TaC, Cr). El polvo se mezcla mediante molienda húmeda (alcohol o agua desionizada, molienda de bolas durante 24-72 horas), y el tamaño promedio de partícula se controla a 0,21 micras. Se añade VC o Cr₃C₂ (0,10,5%) como inhibidor de grano para evitar el crecimiento de grano durante la sinterización a alta temperatura.

3.2 Formación

Secado por aspersión: prepara partículas fluidas y mejora la uniformidad y resistencia de los cuerpos verdes.

Prensado isostático en frío (CIP): El polvo se prensa en un cuerpo verde a 200 - 400 MPa con una densidad del 50-60% del valor teórico.

Moldeo de precisión: Se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia $\pm 0,1$ mm) para formar formas esféricas, cónicas u otras formas geométricas.

3.3 Sinterización

Pre-sinterización

900 – 1100°C, eliminación de aditivos orgánicos.

Prensado isostático en caliente (HIP)

1350 - 1500°C, 100 - 200 MPa, atmósfera de argón, sinterización durante 24 horas, densidad 99,8 - 100%.

Control de enfriamiento

Enfriamiento gradual (1020°C/min) para evitar microfisuras provocadas por estrés térmico.

3.4 Posprocesamiento

Rectificado de precisión

Utilice una muela de diamante o una herramienta CBN para procesar con una tolerancia de $\pm 0,05$ mm y una rugosidad de superficie de Ra 0,41,2 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Refuerzo de superficies

El arenado, pulido o recubrimiento (TiN, TiAlN, AlCrSi/TiN, DLC) mejora la resistencia al desgaste y al calor.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: HRA/HV, error $\pm 0,5$.

Análisis microestructural: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar el tamaño de grano ($0,22 \mu\text{m}$).

Medición de dimensiones: instrumento de medición tridimensional, precisión $\pm 0,005 \text{ mm}$.

Pruebas no destructivas: Pruebas ultrasónicas para comprobar defectos internos.

4. Propósito y escenarios de aplicación

de carburo se utilizan ampliamente 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

Púas de carburo para tuneladoras

Se utiliza para cabezales de corte de tuneladoras, perforación de arenisca, pizarra y granito, con una vida útil de 2000 - 6000 horas y un período de mantenimiento de 1224 meses, y se utiliza en minas a cielo abierto y subterráneas.

Púas para máquinas de minería de carbón de carburo

Se utiliza para la minería de carbón integral, corte de vetas de carbón y ganga, con una vida útil de 2000 a 6000 horas, adecuado para la minería de paredes largas y la minería de vetas de carbón delgadas.

Perforación de roca con carburo y perforación en fondo de pozo

Se utiliza en perforadoras de roca y de fondo para perforar roca dura y basalto, con una vida útil de 1000 a 4000 horas, y se utiliza en voladuras de minas y exploración geológica.

Brocas de rodillo de carburo

Se utiliza para la perforación de petróleo y gas, perforación de roca dura y pizarra, con una vida útil de 1000 a 4000 horas, adecuado para la perforación de pozos profundos.

4.2 Ingeniería de túneles y cimentaciones

Cortador de máquina con escudo de carburo

Se utiliza para excavación de subterráneos y túneles, corte de arcilla, grava, roca blanda y roca dura, con una vida útil de 2000 a 6000 horas, y se utiliza en proyectos subterráneos urbanos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dientes de bola para cimentación de pilotes de plataforma de perforación rotatoria de carburo

Se utiliza para la construcción de cimentaciones de pilotes de puentes y subterráneos, excavación de formaciones de arcilla, grava y roca, con una vida útil de 1500 a 5000 horas, adecuado para formaciones complejas.

Dientes de bola para perforación de túneles con pernos de carburo

Se utiliza para carriles de minas de carbón, excavación de túneles, corte de capas mixtas de carbón y roca, con una vida útil de 2000 a 5000 horas.

4.3 Construcción de edificios y carreteras

Fresadora de carreteras

Se utiliza para fresar pavimentos de asfalto y hormigón, con una vida útil de 1000 a 4000 horas, y se utiliza en la reparación de pistas de carreteras y aeropuertos.

Máquina de reciclaje en frío

Se utiliza para la renovación de carreteras y el corte de materiales de carreteras viejos, con una vida útil de 1500 a 4000 horas, adecuado para el mantenimiento de carreteras.

Trituración de hormigón

Se utiliza para el desmontaje de estructuras de hormigón armado, con una vida útil de 1000 – 3000 horas, y se aplica en la demolición de edificios.

4.4 Energía y exploración geológica

Perforación de petróleo y gas

Se utiliza para brocas de rodillos, perforación de roca dura y pizarra, con una vida útil de 1000 a 4000 horas, y se utiliza en pozos profundos y pozos horizontales.

Exploración geológica

Se utiliza para muestreo de núcleos, perforación de granito y basalto, con una vida útil de 1000 a 3000 horas, adecuado para exploración minera.

Perforación geotérmica

Se utiliza para la perforación de pozos geotérmicos y el corte de formaciones de alta temperatura, con una vida útil de 1000 a 4000 horas y una resistencia a la temperatura de 800°C.

4.5 Otros fines especiales

Ingeniería portuaria y marítima

Se utiliza en equipos de dragado para cortar grava y arcilla del fondo marino, con una vida útil de 2000 - 5000 horas, resistente a la corrosión del agua de mar (pH 68) y se aplica al dragado de vías

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

navegables.

Silvicultura y agricultura

Se utiliza en trituradoras de madera, equipos de labranza del suelo, corte de madera dura, grava, vida útil de 1500 a 4000 horas, adecuado para tala forestal, recuperación de tierras.

Construcción de ferrocarriles

Se utiliza en trituradoras de balasto para cortar balasto y roca, con una vida útil de 2000 a 5000 horas, y se utiliza en la construcción de ferrocarriles de alta velocidad.

5. Ventajas del producto

Los dientes de botón de carburo toman la delantera en el mercado de componentes resistentes al desgaste gracias a su excelente rendimiento:

Vida ultralarga

La resistencia al desgaste y la dureza prolongan la vida útil 310 veces y reducen el costo por uso en un 3060%.

Corte eficiente

Soporta alto impacto (100 - 500 J) y velocidad de rotación (50 - 300 rpm), aumentando la eficiencia de excavación en un 2050%.

Alta confiabilidad

Resistencia a la compresión de 4000 - 6000 MPa, soporta impactos y desgaste extremos, reduce el tiempo de inactividad del equipo.

Personalización flexible

Una variedad de tipos (esféricos, cónicos, en forma de cuña, etc.), tamaños (diámetro 635 mm) y recubrimientos (TiN, TiAlN) para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Adaptabilidad ambiental

Resistencia a altas temperaturas (800 – 1000°C), resistencia a la corrosión (pH 210), adaptable a rocas duras, arcillas y ambientes húmedos.

Fabricación ecológica

La alta durabilidad reduce el reemplazo de piezas y el desperdicio, cumpliendo los objetivos de desarrollo sostenible.

6. Desafíos técnicos y direcciones de mejora

6.1 Desafíos técnicos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dificultad de procesamiento

El carburo cementado presenta una alta dureza (HRA 8692), lo que impone exigencias extremadamente altas a los equipos y herramientas de procesamiento. Las muelas de diamante o las herramientas de CBN se desgastan rápidamente y es difícil estabilizar la precisión del procesamiento (tolerancia $\pm 0,05$ mm).

Riesgo de fragilidad

Los materiales de alta dureza pueden producir microfisuras o roturas ante impactos elevados (>500 J) o una instalación incorrecta, lo que afectará su vida útil.

Problemas de gestión térmica

La tunelización a alta temperatura (>800 °C) puede provocar el ablandamiento de la fase aglutinante o el desprendimiento del revestimiento, especialmente en formaciones de roca dura.

Adaptabilidad a formaciones complejas

Las formaciones mixtas (arcilla, roca dura, grava) exigen grandes exigencias a la geometría y los materiales de los dientes de bola y son propensas a un rápido desgaste o rotura.

Limitaciones de condiciones de trabajo extremas

En entornos de temperaturas ultra altas (>1000 °C) o fuertemente ácidos ($\text{pH} < 2$), el rendimiento de los recubrimientos tradicionales y las fases de unión se deteriora y la vida útil se acorta entre un 50 y un 70 %.

6.2 Dirección de mejora técnica

Tecnología de procesamiento avanzada

Desarrollar el micromecanizado láser y el mecanizado por electrochispa, con una precisión de $\pm 0,03$ mm, una reducción del 30% en el desgaste de la herramienta y son adecuados para geometrías complejas (como dientes cónicos y en forma de cuña).

Diseño de mayor resistencia

Al adoptar una estructura de gradiente (alta dureza superficial HRA 90 - 92, alta tenacidad interna, tenacidad a la fractura $> 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) o una fase de unión compuesta de CoNi, la resistencia al impacto se mejora en un 20 - 30% y se reduce el riesgo de agrietamiento.

Gestión térmica eficiente

Desarrollar recubrimientos adaptables (como TiAlN / AlCrSi, resistencia a la temperatura 1100 °C, espesor $25 \mu\text{m}$) para reducir el ablandamiento térmico; optimizar el diseño de disipación de calor del cuerpo del engranaje para reducir la temperatura de funcionamiento en $100-150$ °C.

Optimización de formaciones complejas

Diseñar una geometría multifuncional (como dientes compuestos de cono esférico, ángulo de corte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

optimizado a 15°30') para mejorar la adaptabilidad del cambio entre grava y roca dura; desarrollar dientes con incrustaciones de PCD (diamante policristalino), con dureza aumentada a HV 8000 y vida útil extendida 20 veces.

Adaptación a condiciones de trabajo extremas

Investigar y desarrollar recubrimientos nano multicapa (como AlCrSi/TiN, dureza HV 3500) o materiales compuestos a base de cerámica (WCSiC), con resistencia a la temperatura aumentada hasta 1200°C y tasa de corrosión por ácidos fuertes (pH 12) <0,03 mm/año.

Diseño inteligente

Se utiliza IA para simular la fuerza de impacto (error <5%) y el comportamiento de desgaste, optimizar la forma del diente (error de radio esférico <0,05 mm) y el ángulo de instalación (desviación <1°) y mejorar la estabilidad de corte; los dientes de bola de autodiagnóstico se desarrollan para monitorear el desgaste y la temperatura en tiempo real, lo que extiende la vida útil en un 10-20%.

7. Conclusión

Los dientes de bola de carburo se han convertido en componentes clave resistentes al desgaste en minería, tunelaje, ingeniería de construcción, exploración energética, construcción de carreteras y otros campos con su alta dureza (HRA 8692), excelente tenacidad ($6.510 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) y vida útil ultralarga (10006000 horas). Su rica variedad (dientes esféricos, dientes cónicos, dientes de cuña, dientes rotatorios, etc.) y especificaciones precisas (diámetro 635 mm, tolerancia $\pm 0,05 \text{ mm}$) satisfacen las diversas necesidades desde la excavación de suelos blandos hasta la perforación de roca dura. Los indicadores técnicos muestran que su vida útil es 310 veces mayor que la de los materiales tradicionales, la eficiencia de corte aumenta en un 2050% y puede soportar impactos y desgaste extremos. A través de procesos avanzados de metalurgia de polvos y tecnologías de recubrimiento (como TiAlN, DLC), los dientes de bola funcionan bien en entornos hostiles como alta temperatura (8001000 °C) y corrosión (pH 210). En el futuro, a través del procesamiento láser, la incrustación de PCD, el nanorrecubrimiento, la optimización de IA y el diseño inteligente, los engranajes de bolas de carburo mejorarán aún más el rendimiento, ampliarán los escenarios de aplicación y brindarán un soporte sólido para el desarrollo eficiente, confiable y sostenible de la industria global.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

apéndice:



Detalles de la fresa de púas de carburo

Las picas de carburo son herramientas de corte de alto rendimiento ampliamente utilizadas en minería, construcción de túneles, construcción de carreteras, minería de carbón y exploración geológica. Con carburo de tungsteno (WC) y otros materiales de carburo cementado como núcleo, se fabrican mediante tecnología de fabricación de precisión. Presentan una dureza ultraalta, excelente resistencia al desgaste y al impacto, y pueden cortar eficientemente materiales duros como rocas, vetas de carbón y hormigón. Gracias a su larga vida útil y alta eficiencia, las picas de carburo cementado mejoran significativamente la eficiencia operativa de los equipos de construcción de túneles y maquinaria minera, y reducen los costos de mantenimiento. A continuación, se presenta una introducción completa a las picas de carburo cementado, abarcando aspectos como las propiedades del material, las especificaciones básicas, los procesos de fabricación, los usos y escenarios de aplicación, las ventajas, los desafíos y las soluciones, y el desarrollo futuro.

1. Composición y características del material

1.1 Composición

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

La formulación del material de las picas de carburo está optimizada para equilibrar la dureza, la tenacidad y la resistencia a la corrosión:

Fase dura

El carburo de tungsteno (WC, 80-95%) proporciona una excelente dureza y resistencia al desgaste. Algunas fórmulas añaden carburo de titanio (TiC, 15%) o carburo de tántalo (TaC, 0,5-2%) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación.

Fase adhesiva

El cobalto (Co, 5-15%) es el principal aglutinante, lo que mejora la tenacidad y la resistencia al impacto. El níquel (Ni, 5-10%) se utiliza en formulaciones específicas para mejorar la resistencia a la corrosión y es adecuado para entornos húmedos o ácidos.

aditivo

Se utilizan trazas de cromo (Cr, 0,1 - 1%), vanadio (V, 0,05 - 0,5%) o molibdeno (Mo, 0,1 - 0,8%) para refinar los granos, inhibir su crecimiento y mejorar la resistencia a la corrosión y a la oxidación a alta temperatura.

1.2 Características principales

El rendimiento de las picas de carburo cementado se debe a su microestructura optimizada:

dureza

HRA 8591 (HV 1100 - 1600), que supera ampliamente al acero con alto contenido de manganeso (HRC 20 - 50) o al hierro fundido con alto contenido de cromo (HRC 50 - 60), es adecuado para cortar rocas de alta dureza y vetas de carbón.

Tenacidad a la fractura

610 MPa·m^{1/2}, que es mejor que el carburo cementado ordinario (57 MPa·m^{1/2}) y no es fácil de romper bajo un alto impacto.

Resistencia al desgaste

Tasa de desgaste 0,015 - 0,025 mm³/ N·m (ASTM G65), 1,52 veces menor que la fundición de alto contenido en cromo.

Resistencia a la compresión

3500 - 5500 MPa, capaz de soportar altas fuerzas de corte.

densidad

13,5 – 15,0 g/cm³, equilibrio de resistencia y peso.

Resistencia a la corrosión

En ambientes neutros o ligeramente ácidos (pH 4-9), la tasa de corrosión es <0,08 mm/año; las fórmulas a base de níquel pueden soportar un pH de 11-14.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Resistencia a la temperatura

La temperatura de trabajo es de 20 °C a 700 °C, y algunas fórmulas pueden soportar 900 °C por un corto tiempo, lo que es adecuado para entornos de excavación de alta temperatura.

1.3 Ventajas de la microestructura

Las picas de carburo suelen tener estructuras de grano fino (0,52 micras) o ultrafino (0,2-0,5 micras). En comparación con el carburo tradicional (25 micras), sus ventajas incluyen:

Dureza mejorada: los granos pequeños aumentan el área del límite del grano, mejorando la resistencia a la deformación y la resistencia al desgaste.

Mejora la tenacidad: el refinamiento del grano dispersa la tensión y reduce el riesgo de crecimiento de grietas.

Estabilidad de corte: La estructura de grano fino reduce el desgaste y el desconchado, mantiene el filo afilado y prolonga la vida útil del corte.

2. Especificaciones básicas

Existen diversas especificaciones para las picas de carburo cementado. A continuación, se presentan las especificaciones y parámetros más comunes (consulte las normas de la industria y los datos del fabricante):

Geometría:

Cónico: El más común, adecuado para máquinas perforadoras de túneles y máquinas para minería de carbón, con alta eficiencia de corte.

Forma de bala: se utiliza en formaciones rocosas de alta dureza para mejorar la penetración.

Forma superior plana: se utiliza en vetas de carbón o rocas blandas para reducir la resistencia al corte.

Forma de cuchillo o cincel: se utiliza para necesidades especiales de excavación o trituración.

tamaño:

Diámetro (punta del diente): 8 - 50 mm (20 - 35 mm es lo común).

Longitud (total): 50 - 150 mm (80 - 120 mm típicos).

Tolerancia: $\pm 0,05$ mm (mecanizado de alta precisión).

peso:

Las piezas individuales pesan entre 0,1 y 1,5 kg, adecuadas para montaje o fijación mecánica.

Rugosidad de la superficie:

Ra 0,4 – 1,0 μ m, reduce la fricción y la adhesión del material.

Grado de dureza:

Estándar: HRA 85 – 88 (vetas de carbón, roca blanda).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Alta dureza: HRA 88 – 91 (roca dura, granito).

Fórmula del material:

WCCo (uso general): Contenido de cobalto 6 - 12%, HRA 86 - 90, alta tenacidad.

WCNi (resistente a la corrosión): Contenido de níquel 5 – 10%, adecuado para ambientes húmedos.

WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 700 a 900 °C.

Método de instalación:

Fijación de incrustación: incrustada en el asiento del diente, resistencia de unión > 150 MPa.

Soldadura fuerte: Soldadura fuerte a alta temperatura (900 – 1100 °C), resistencia de unión >200 MPa.

Sujeción mecánica: reemplazo rápido, adecuado para escenarios de mantenimiento de alta frecuencia.

Tratamiento de superficie:

Pulido: Ra 0,2 – 0,4 µm, resistencia a la fatiga mejorada.

Recubrimiento: TiN (dureza HV 2000 - 2500), TiAlN (resistencia a la temperatura 900°C), DLC (coeficiente de fricción 0,1 - 0,2).

Cumplimiento de normas:

Sistema de gestión de calidad ISO 9001.

ASTM B771 (prueba de abrasión), ISO 3878 (prueba de dureza).

Ejemplos típicos de productos:

Picas para máquinas de minería de carbón: diámetro 25 - 35 mm, longitud 90 - 120 mm, HRA 86 - 89, vida útil 3000 - 6000 horas.

Picas para TBM: diámetro 20 - 40 mm, longitud 80 - 100 mm, HRA 88 - 91, adecuadas para roca dura.

Púas para taladradora: diámetro 15 - 30 mm, longitud 70 - 100 mm, HRA 85 - 88, resistentes a los impactos.

3. Proceso de fabricación

La fabricación de picas de carburo cementado se basa en la tecnología de pulvimetalurgia para garantizar el rendimiento, la precisión y la calidad de la superficie.

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). El polvo se mezcla mediante molienda húmeda (alcohol o agua desionizada, molienda de bolas durante 24-72 horas), y el tamaño promedio de partícula se controla a 0,21 micras. Se añade VC o Cr₃C₂ (0,10,5%) como inhibidor de grano.

3.2 Formación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prensado isostático en frío (CIP)

Se presan en compactos verdes a 200 - 400 MPa con una densidad del 50 - 60 % de la teórica.

Moldeo de precisión

Se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia $\pm 0,1$ mm) para formas complejas como conos o cabezas de bala.

Secado por aspersión

Preparar partículas fluidas y mejorar la uniformidad de los cuerpos verdes.

3.3 Sinterización

Pre-sinterización

900 – 1100°C, eliminación de aditivos orgánicos.

Prensado isostático en caliente (HIP)

1350 - 1500°C, 100 - 200 MPa, atmósfera de argón, sinterización durante 24 horas, densidad 99,8 - 100%.

Control de enfriamiento

Enfriamiento gradual (10 – 20°C/min) para evitar grietas por tensión térmica.

3.4 Posprocesamiento

Rectificado de precisión

Procesamiento de muelas de diamante, tolerancia $\pm 0,05$ mm, rugosidad Ra 0,4 – 1,0 μm .

Refuerzo de superficies

El arenado, pulido o recubrimiento (TiN, TiAlN, DLC) mejora la resistencia al desgaste y al calor.

Inspección de calidad

Ensayo de dureza (HRA/HV), análisis de microestructura (SEM), medición de dimensiones (instrumento de medición 3D), ensayos no destructivos (ultrasonido).

4. Propósito y escenarios de aplicación

Las picas de carburo se utilizan ampliamente en los siguientes campos y escenarios debido a su excelente resistencia al desgaste, resistencia al impacto y eficiencia de corte:

4.1 Minas y minería del carbón

Minería integral del carbón

Picas de tambor utilizadas para máquinas de minería de carbón, corte de vetas de carbón y ganga (dureza < 100 MPa), con una vida útil de 3000 - 6000 horas, adecuadas para minería de paredes largas y frentes de trabajo de minería totalmente mecanizados.

Cortadora de tuneladora

En una tuneladora (TBM) o rozadora, corta arenisca y granito (dureza 100 - 200 MPa), con una vida

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

útil de 2000 - 4000 horas, y se utiliza en caminos de minas y construcción de túneles.

Minería a cielo abierto

Se utiliza en plataformas de perforación rotatorias o mineras continuas para cortar minerales duros como mineral de hierro y mineral de cobre, y puede soportar alto impacto y desgaste.

4.2 Túneles e ingeniería subterránea

Selección de máquina de escudo

En el cabezal de corte de la máquina de escudo, corta tierra, roca o estratos mixtos, soporta alto torque y desgaste, y se utiliza en subterráneos, túneles ferroviarios y túneles submarinos.

Túneles de roca dura

Se utiliza en máquinas perforadoras de túneles para roca dura (HRM) para cortar granito y basalto, con una vida útil 46 veces mayor que las picas de acero.

Plataforma de perforación de anclaje

Perforación auxiliar y sostenimiento, resistente al desgaste de rocas, adecuado para la estabilidad de la ingeniería subterránea.

4.3 Construcción de carreteras e ingeniería de infraestructura

Plataforma de perforación rotatoria

Se utiliza para la construcción de cimientos de pilotes, corte de hormigón, grava o roca blanda, con una vida útil de 4000 a 7000 horas, y se utiliza en puentes y cimientos de edificios de gran altura.

Fresado de carreteras

En fresadoras, corte de pavimento asfáltico u hormigón, soportando altas temperaturas y desgaste, adecuado para reparación de carreteras.

Construcción de muros continuos

Se utiliza en cangilones o fresadoras de ranuras hidráulicas para cortar capas de tierra y roca, y se aplica en pozos de cimentación profundos y muros antifiltraciones.

4.4 Exploración geológica y desarrollo energético

Perforación geológica

Se utiliza en plataformas de perforación de núcleos para cortar formaciones de roca dura para obtener muestras geológicas y puede soportar alto torque y desgaste.

Petróleo y gas

En las plataformas de perforación o brocas rotativas, cortan rocas profundas y soportan altas temperaturas, altas presiones y ambientes corrosivos.

Desarrollo geotérmico

Se utiliza para la perforación de pozos geotérmicos, corte de formaciones rocosas de alta temperatura, resistente a temperaturas de hasta 700 ° C.

4.5 Otros fines especiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ingeniería portuaria y marítima

En los equipos de dragado, corta arena del fondo marino o arrecifes de coral y resiste la corrosión y el desgaste del agua de mar.

Silvicultura y agricultura

Se utiliza en máquinas de recuperación forestal o equipos de nivelación de terrenos para cortar suelo duro y raíces de árboles.

Ingeniería militar y especial

En maquinaria de ingeniería militar o en equipos especiales para túneles, se cortan materiales de alta resistencia para cumplir con requisitos de alta confiabilidad.

5. Ventajas

Las picas de carburo juegan un papel importante en las aplicaciones industriales debido a sus propiedades únicas:

Vida ultralarga

La resistencia al desgaste y la dureza prolongan la vida útil 36 veces, lo que reduce la frecuencia de reemplazo.

Corte eficiente

La alta dureza y tenacidad favorecen un corte de alta velocidad, mejorando la eficiencia de excavación entre un 20 y un 40 %.

Alto rendimiento en relación calidad-precio

El coste inicial es alto, pero el período de recuperación es de 6 a 18 meses y el coste total se reduce entre un 30 y un 50%.

Personalización flexible

Varias formas, tamaños y fórmulas para satisfacer las necesidades de diferentes condiciones geológicas y condiciones de trabajo.

Adaptabilidad ambiental

Es resistente al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, y puede adaptarse a entornos complejos, desde vetas de carbón húmedas hasta formaciones rocosas de alta temperatura.

Fabricación ecológica

La alta durabilidad reduce el consumo de material y cumple con la tendencia de desarrollo sostenible.

6. Desafíos y soluciones

6.1 Desafíos

Altos costos de fabricación: Las materias primas de alta pureza y los procesos sofisticados conllevan costos más elevados.

Dificultad de procesamiento: La dureza ultra alta aumenta la complejidad del procesamiento y las herramientas de diamante se desgastan rápidamente.

Riesgo de fractura por impacto: los materiales de alta dureza pueden romperse bajo un impacto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

extremo.

Limitaciones en condiciones de trabajo extremas: el rendimiento se degrada bajo temperaturas extremadamente altas ($>900\text{ }^{\circ}\text{C}$) o ácidos fuertes ($\text{pH} < 2$).

6.2 Solución

Optimización de costos: optimizar la relación y los parámetros de sinterización para reducir el consumo en un 10-20%; utilizar la producción automatizada para reducir los costos laborales.

Mejoras en el procesamiento: la introducción del procesamiento láser o el procesamiento por electrochispa puede aumentar la eficiencia en un 30 % y extender la vida útil de la herramienta al doble.

Tenacidad mejorada: resistencia al impacto mejorada en un 20 - 30% mediante estructuras de gradiente o nuevas fases aglutinantes (por ejemplo, aleaciones de CoNi).

Mejora del rendimiento: Desarrollar nuevos recubrimientos (como AlCrSi / TiN, resistencia a temperaturas de $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) o materiales compuestos para adaptarse a las duras condiciones de trabajo.

7. Desarrollo futuro

Gracias a su alta dureza (HRA 85-91), excelente tenacidad ($610\text{ MPa}\cdot\text{m}^2$) y una vida útil ultralarga (2000-7000 horas), las picas de carburo cementado son herramientas de corte ideales para minería, construcción de túneles, construcción de carreteras, exploración geológica y desarrollo energético. Sus diversas especificaciones (diámetro de 8-50 mm, longitud de 50-150 mm) y su preciso proceso de fabricación satisfacen las necesidades de una amplia gama de áreas, desde vetas de carbón blando hasta formaciones rocosas duras. Los datos técnicos demuestran que su vida útil es 36 veces mayor que la de las picas de acero tradicionales, con una reducción del coste total del 30-50 %.

De cara al futuro, el desarrollo de picas de carburo cementado se centrará en las siguientes direcciones:

Fabricación inteligente

Se introducen la IA y el big data para optimizar fórmulas y procesos, con una precisión de predicción del rendimiento $>99\%$ y una eficiencia de producción aumentada en un 20%.

Nuevos materiales

Explore recubrimientos de grafeno (coeficiente de fricción 0,05), diamante policristalino (PCD, vida útil aumentada 15 veces) o compuestos cerámicos para mejorar la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas.

Producción verde

Desarrollar tecnología de reciclaje para aumentar la tasa de reciclaje de residuos al 85% y reducir el consumo de recursos.

Diseño modular

Se lanzó el módulo de selección de cambio rápido, acortando el tiempo de mantenimiento en un 50% y mejorando la eficiencia de excavación.

Con el avance de la ciencia de los materiales y la tecnología de fabricación, las picas de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desempeñarán un papel más importante en la tunelización inteligente, la minería ecológica y la ingeniería eficiente, proporcionando un fuerte impulso para el desarrollo sostenible de la industria global.



apéndice:

¿Qué es una broca de carburo ?

La broca de carburo es una herramienta de corte de alto rendimiento con carburo de tungsteno (WC) como material principal. Se fabrica mediante tecnología avanzada de pulvimetalurgia y está especialmente diseñada para taladrar materiales de alta dureza y resistencia. Gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste, a altas temperaturas y a la corrosión, las brocas de carburo se utilizan ampliamente en el procesamiento de metales, la minería, la ingeniería de la construcción, la industria energética, la industria aeroespacial, la fabricación de automóviles, la fabricación de electrónica de precisión y otros campos. Permite taladrar eficientemente acero duro, acero inoxidable, aleaciones de titanio, fundición, cerámica, materiales compuestos, etc., mejorando significativamente la eficiencia de procesamiento, la precisión y la vida útil de la herramienta. Este artículo presenta exhaustivamente el rendimiento y el valor de las brocas de carburo desde la perspectiva de las propiedades del material, los tipos e indicadores técnicos, los procesos de fabricación, los usos y escenarios de aplicación, las ventajas del producto, los desafíos técnicos y las líneas de mejora.

1. Composición del material y características de las brocas de carburo cementado

1.1 Composición del material de la broca de carburo

La formulación de las brocas de carburo está diseñada con precisión para lograr el equilibrio óptimo entre dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fase dura

El carburo de tungsteno (WC, 80-95%) proporciona una dureza y resistencia al desgaste ultraaltas. Algunas fórmulas están dopadas con carburo de titanio (TiC, 1-5%) o carburo de tantalio (TaC, 0,5-2%) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación.

Fase adhesiva

El cobalto (Co, 5 - 15%) mejora la tenacidad y la resistencia al impacto; el níquel (Ni, 5 - 10%) se utiliza en formulaciones resistentes a la corrosión adecuadas para entornos ácidos o húmedos.

aditivo

Se utilizan trazas de cromo (Cr, 0,1 - 1 %), vanadio (V, 0,05 - 0,5 %) y molibdeno (Mo, 0,1 - 0,8 %) para refinar los granos, inhibir su crecimiento y mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

1.2 Características principales de las brocas de carburo

El rendimiento de las brocas de carburo proviene de su microestructura optimizada y de la formulación del material:

dureza

HRA 86 - 92 (HV 1200 - 1700), 23 veces superior al acero rápido (HSS, HRC 60 - 65), adecuado para taladrar materiales con dureza de hasta HRC 60.

Tenacidad a la fractura

6.510 MPa·m^{1/2}, que es mejor que el carburo cementado ordinario (57 MPa·m^{1/2}), y la resistencia a la fractura por impacto se mejora en un 30%.

Resistencia al desgaste

La tasa de desgaste es de 0,01 - 0,02 mm³/ N·m (ASTM G65), que es 1,52 veces menor que la del hierro fundido con alto contenido de cromo, y la vida útil de corte se extiende 310 veces.

Resistencia a la compresión

4000 - 6000 MPa, capaz de soportar altas fuerzas de corte (fuerza de corte máxima hasta 5000 N).

densidad

13,8 - 15,2 g/cm³ · peso moderado, adecuado para rotación a alta velocidad.

Resistencia a la corrosión

En un entorno neutro o ligeramente ácido (pH 4-9), la tasa de corrosión es <0,07 mm/año; las formulaciones o recubrimientos a base de níquel pueden soportar un pH 11-12 con una tasa de corrosión de <0,05 mm/año.

Resistencia a la temperatura

La temperatura de trabajo oscila entre 20 °C y 800 °C. La fórmula del recubrimiento soporta temperaturas instantáneas de 1000 °C, lo que lo hace adecuado para el procesamiento en seco o a alta temperatura.

1.3 Ventajas de la microestructura de las brocas de carburo cementado

Las brocas de carburo tienen estructuras de grano fino (0,52 micras) o de grano ultrafino (0,2 - 0,5 micras), que aportan las siguientes ventajas:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Alta dureza y resistencia: los granos pequeños aumentan la densidad del límite del grano, siguen el efecto Hall-Petch y mejoran la resistencia al desgaste.

Excelente tenacidad: el refinamiento del grano dispersa la tensión, reduce el riesgo de propagación de grietas y mejora la resistencia al impacto en un 20-30%.

Estabilidad de corte: reduce el desgaste, mantiene el filo afilado y extiende la precisión y la vida útil del procesamiento.

2. Tipos e indicadores técnicos de las brocas de carburo cementado

Existe una amplia variedad de brocas de carburo que cubren diversas geometrías, usos y requisitos de procesamiento. A continuación, se presenta una clasificación completa, indicadores técnicos y una tabla de usos (con referencia a normas ISO, especificaciones ASTM y datos del fabricante).

2.1 Tipos y usos de las brocas de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Broca helicoidal de vástago recto Taladro helicoidal	Diseño de ranura en espiral estándar, herramienta de corte universal, adecuada para una variedad de materiales.	Fabricación de automóviles (bloques de cilindros, cigüeñales), mecanizado (engranajes, cojinetes), fabricación de moldes (acero para moldes), acero para taladrado, fundición, aleaciones de aluminio.	Diámetro 1 - 30 mm, longitud 50 - 150 mm, ángulo de punta 118°/135°, HRA 8790, vida útil 2000 - 5000 agujeros.
Taladro cónico Broca cónica	El cuerpo de la fresa cónica optimiza la evacuación de virutas de agujeros profundos y es adecuado para perforaciones a gran profundidad.	Aeroespacial (piezas de aleación de titanio), herramientas de perforación petrolera (carcasa), fabricación de moldes (moldes de agujeros profundos), perforación de aleación de titanio, acero inoxidable, acero de aleación.	Diámetro 5 - 30 mm, longitud 100 - 300 mm, ángulo de punta 135°, HRA 89 - 92, vida útil 1000 - 3000 agujeros.
Taladro escalonado Taladro escalonado	El diseño de diámetro de múltiples niveles completa el procesamiento de orificios de múltiples tamaños a la vez, lo que reduce la cantidad de pasos.	Fabricación de automóviles (orificios para pernos de chapa fina), instalación de tuberías (bridas), construcción (placas de acero), perforación de chapa fina de acero, aluminio, acero inoxidable.	Diámetro 4 - 40 mm, longitud 50 - 120 mm, ángulo de punta 118°, HRA 86 - 89, vida útil 1500 - 4000 agujeros.
Taladro central Taladro central	Corto y rígido, puede procesar los agujeros de posicionamiento para garantizar la precisión de la perforación posterior.	Mecanizado (posicionamiento CNC), fabricación de moldes (posicionamiento preciso), aeroespacial (piezas de alta precisión), perforación de acero, acero inoxidable, acero aleado.	Diámetro 1 - 10 mm, longitud 30 - 60 mm, ángulo de punta 60°/90°, HRA 87 - 90, vida útil 3000 - 6000 agujeros.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Microtaladro Microtaladro	Diámetro ultrapequeño, especialmente diseñado para el procesamiento de microagujeros de alta precisión.	Electrónica (placas PCB), dispositivos médicos (tornillos para huesos), relojería (micropiezas), perforación de cobre, carburo y cerámica.	Diámetro 0,13 mm, longitud 20 - 50 mm, ángulo de punta 135°, HRA 88 - 91, vida útil 1000 - 3000 agujeros.
Perforación de pozos profundos Taladro de agujero profundo	Alta relación de aspecto, equipado con sistema de enfriamiento interno, adecuado para el procesamiento de agujeros ultraprofundos.	Aeroespacial (álabes de turbinas), petróleo y gas (tuberías de perforación), equipos de energía (intercambiadores de calor), aleaciones de titanio para perforación, acero inoxidable y aleaciones a base de níquel.	Diámetro 5 - 30 mm, longitud 100 - 500 mm, ángulo de punta 135°, HRA 89 - 92, vida útil 1000 - 3000 agujeros.
Taladro de fondo plano Taladro de fondo plano	Punta de herramienta de fondo plano para mecanizar agujeros de fondo plano, reduciendo el fresado posterior.	Fabricación de automóviles (agujero inferior roscado), procesamiento mecánico (agujero de plano), fabricación de moldes (agujero de precisión), perforación de acero, hierro fundido, aleación de aluminio.	Diámetro 320 mm, longitud 50-100 mm, ángulo de punta 135°, HRA 8790, vida útil 2000-5000 agujeros.
Taladro de tres filos Taladro de tres flautas	El diseño de tres filos de corte reduce la vibración y mejora la redondez del orificio.	Aeroespacial (agujeros de alta precisión), fabricación de moldes (acabado), mecanizado (agujeros para cojinetes), perforación de acero inoxidable, aleación de titanio, acero duro.	Diámetro 5 - 20 mm, longitud 50 - 120 mm, ángulo de punta 135°, HRA 89 - 92, vida útil 1500 - 4000 agujeros.
Broca escariadora Taladro escariador	Termine los agujeros existentes para mejorar la precisión del diámetro del agujero y la calidad de la superficie.	Fabricación mecánica (agujeros para cojinetes), equipos hidráulicos (cuerpos de válvulas), aeroespacial (agujeros de conexión), acero para taladrar, acero inoxidable, fundición.	Diámetro 5 - 40 mm, longitud 50 - 150 mm, ángulo de punta 118°, HRA 87 - 90, vida útil 2000 - 5000 agujeros.
Ejercicio con pistola Ejercicio con pistola	Procesamiento de orificios ultraprofundos, equipado con enfriamiento de alta presión, diseño de un solo borde.	Equipos médicos (equipos ortopédicos), equipos energéticos (tubos de intercambio de calor), aeroespacial (piezas de agujeros profundos), perforación de aleación de titanio, acero inoxidable, acero duro.	Diámetro 2 - 30 mm, longitud 200 - 1000 mm, ángulo de punta 135°, HRA 89 - 92, vida útil 1000 - 3000 agujeros.
Cabezal de taladro intercambiable Taladro indexable	El cabezal de corte se puede reemplazar rápidamente, lo que reduce el tiempo de inactividad y es adecuado para la producción en masa.	Fabricación de automóviles (procesamiento de agujeros en masa), procesamiento mecánico (línea de montaje), construcción (estructura de acero), perforación de acero, hierro fundido, aleación de aluminio.	Diámetro 1040 mm, longitud 100-200 mm, ángulo de punta 135°, HRA 8790, vida útil 3000-6000 agujeros.

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
broca de impacto Impacto de SDS Perforar	Combina rotación e impacto, especialmente diseñado para materiales de mampostería.	Ingeniería de construcción (muros de hormigón), construcción de túneles (roca), renovación (muros de ladrillo), perforación de hormigón, granito, mampostería.	Diámetro 6 - 25 mm, longitud 100 - 300 mm, HRA 86 - 89, vida útil 500 - 2000 agujeros.
Broca especial para material compuesto Taladro compuesto	El ángulo de hélice bajo y el borde de corte afilado reducen la delaminación y el astillado del borde.	Aeroespacial (alas de CFRP), automoción (carrocería compuesta), energía eólica (palas), perforación de fibra de carbono, fibra de vidrio, materiales compuestos.	Diámetro 3 - 20 mm, longitud 50 - 120 mm, ángulo de punta 135°, HRA 89 - 92, vida útil 1000 - 3000 agujeros.
brocas de cerámica Taladro de cerámica	Dureza ultra alta, especialmente diseñado para materiales extremadamente duros.	Electrónica (sustratos cerámicos), medicina (implantes cerámicos), aviación (recubrimientos cerámicos), perforación de cerámica, vidrio y carburo cementado.	Diámetro 1 - 20 mm, longitud 50 - 100 mm, ángulo de punta 140°, HRA 90 - 92, vida útil 500 - 2000 agujeros.
Ejercicio de punta Taladro puntual	Diseño de hoja corta, procesando agujeros o fosas poco profundas, optimizando el posicionamiento de la perforación posterior.	Mecanizado (pretaladrado CNC), fabricación de moldes (posicionamiento de fosos), aeroespacial (pretaladros de alta precisión), taladrado de acero, acero inoxidable, acero aleado.	Diámetro 1 - 10 mm, longitud 30 - 60 mm, ángulo de punta 90°/120°, HRA 87 - 90, vida útil 3000 - 6000 agujeros.
Avellanador Broca avellanadora	Los agujeros avellanados se procesan para que sean adecuados para la instalación de tornillos.	Fabricación de automóviles (orificios para tornillos de carrocería), construcción (conexiones de estructuras de acero), fabricación de muebles (tableros de madera), perforación de acero, aleaciones de aluminio, madera.	Diámetro 5 - 20 mm, longitud 50 - 100 mm, ángulo de punta 90°, HRA 86 - 89, vida útil 2000 - 5000 agujeros.
Ejercicio combinado Broca escalonada y avellanada	Funciones integradas de paso y avellanado para completar el procesamiento de orificios multiproceso a la vez.	Aeroespacial (orificios de conexión de material compuesto), automotriz (instalación de placas delgadas), mecanizado (orificios multifunción), taladrado de acero, aluminio, materiales compuestos.	Diámetro 5 - 30 mm, longitud 50 - 120 mm, ángulo de punta 118°, HRA 87-90, vida útil 1500 - 4000 agujeros.
Broca sinterizada Taladro soldado	Punta de carburo soldada al vástago de acero, adecuada para mecanizado de alta resistencia.	Minería (roca dura), construcción (hormigón armado), energía (oleoductos), perforación de roca, hormigón, acero aleado.	Diámetro 10 - 50 mm, longitud 100 - 300 mm, HRA 86 - 89, vida útil 1000 - 3000 agujeros.

2.2 Indicadores técnicos

tamaño

Diámetro: 0,1 – 100 mm (130 mm es lo común).

Longitud total: 10 - 1000 mm (lo común es 50 - 150 mm).

Longitud de corte: 5 - 500 mm (perforación de agujeros profundos hasta 20 - 50D, D es el diámetro).

Tolerancia: $\pm 0,01$ mm (mecanizado de precisión, grado IT6IT8).

peso

Cada pieza pesa 0,012 kg y es adecuada para dispositivos portátiles o máquinas CNC.

Rugosidad de la superficie

Ra 0,2 – 0,8 μm , reduce la adhesión de la viruta y el calor por fricción.

Grado de dureza

Norma: HRA 86 – 89 (metalurgia en general).

Alta dureza: HRA 89 – 92 (carburo, cerámica).

Fórmula del material

WCCo (uso general): Contenido de cobalto 612%, HRA 8791, alta tenacidad.

WCNi (tipo resistente a la corrosión): Contenido de níquel 510%, resistente a ambientes ácidos y alcalinos.

WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 800 a 1000 °C.

Ángulo de punta

118°: Metal blando (como aluminio, cobre), baja resistencia al corte.

135°: Acero duro, acero inoxidable, reduce el movimiento.

140°: Aleación de titanio, cerámica, alta estabilidad.

Ángulo de hélice

25 - 30°: Uso general, evacuación de viruta equilibrada y rigidez.

35 – 40°: Materiales blandos, evacuación de viruta más rápida.

15 – 20°: Material duro, aumenta la rigidez de la broca.

Instalación

Vástago redondo: mandril estándar, excentricidad $< 0,01$ mm.

Vástago hexagonal: mandril de cambio rápido.

Vástago SDS: taladro de impacto, adecuado para mampostería.

Tratamiento de superficies

Pulido: Ra 0,1 – 0,4 μm , reduce el calor por fricción.

revestimiento

TiN: Dureza HV 2000 - 2500, resistencia al desgaste aumentada 2 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

TiAlN: Resistente a temperaturas de hasta 900 °C, adecuado para procesamiento en seco.

AlCrSi / TiN: resistencia a temperaturas de 1000 °C, vida útil prolongada 3 veces.

DLC: Coeficiente de fricción 0,1 – 0,2, adecuado para aleaciones de aluminio y materiales compuestos.

Datos de corte

Velocidad de corte: 20 - 200 m/min (acero 50 - 100 m/min, aleación de titanio 20 - 40 m/min, aleación de aluminio 100 - 200 m/min).

Velocidad de avance: 0,05 - 0,3 mm/rev (0,05 - 0,1 mm/rev para mecanizado de precisión).

Profundidad máxima de perforación: 5 - 50D (hasta 50D con refrigerante interno).

Cumplimiento de normas

Sistema de gestión de calidad ISO 9001.

ISO 1832 (Especificación para herramientas de corte).

ASTM B771 (prueba de desgaste), ISO 3878 (prueba de dureza).

3. Proceso de fabricación

La fabricación de brocas de carburo cementado adopta tecnología avanzada de pulvimetalurgia para garantizar que las propiedades del material, la precisión geométrica y la calidad de la superficie cumplan con los más altos estándares.

3.1 Preparación de la materia prima

Se selecciona carburo de tungsteno de alta pureza (WC, pureza >99,95%), cobalto (Co, pureza >99,9%) y aditivos (como TiC, TaC, Cr). El polvo se mezcla mediante molienda húmeda (el medio es alcohol o agua desionizada, moliendo con bolas durante 24-72 horas), y el tamaño promedio de partícula se controla a 0,21 micras. Se añade VC o Cr₃C₂ (0,10,5%) como inhibidor de grano para prevenir el crecimiento de grano durante la sinterización a alta temperatura.

3.2 Formación

Prensado isostático en frío (CIP): Los polvos se prensan en cuerpos verdes a 200 - 400 MPa con una densidad del 50 - 60% del valor teórico.

Moldeo de precisión: Se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia $\pm 0,1$ mm) para moldear ranuras de brocas helicoidales o geometrías complejas.

Secado por aspersión: prepara partículas fluidas y mejora la uniformidad y resistencia de los cuerpos verdes.

3.3 Sinterización

Pre-sinterización: 900 – 1100°C para eliminar aditivos orgánicos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prensado isostático en caliente (HIP): 1350 - 1500°C, 100 - 200 MPa, atmósfera de argón, sinterización durante 24 horas, densidad 99,8 - 100%.

Control de enfriamiento: Enfriamiento gradual (10 - 20°C/min) para evitar microfisuras causadas por estrés térmico.

3.4 Posprocesamiento

Rectificado de precisión: mediante muelas de diamante o herramientas CBN, mecanizado con una tolerancia de $\pm 0,01$ mm, rugosidad superficial Ra 0,2 - 0,8 μm , agudeza del filo de corte (radio del filo < 5 μm).

Procesamiento de ranuras: la rectificadora CNC procesa ranuras en espiral con un error de profundidad de ranura de $< 0,05$ mm para optimizar la eliminación de viruta.

Refuerzo de superficies: arenado, pulido o recubrimiento (TiN, TiAlN, AlCrSi/TiN, DLC) para mejorar la resistencia al desgaste y al calor.

Inspección de calidad:

Prueba de dureza: HRA/HV, error $\pm 0,5$.

Análisis microestructural: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar el tamaño de grano (0,22 μm).

Medición de dimensiones: instrumento de medición tridimensional, precisión $\pm 0,002$ mm.

Pruebas no destructivas: Pruebas ultrasónicas para comprobar defectos internos.

4. Ventajas del producto

Las brocas de carburo ocupan el primer puesto en el mercado de herramientas de corte gracias a su excelente rendimiento:

Vida útil ultralarga: la resistencia al desgaste y la dureza prolongan la vida útil 310 veces y reducen el costo de procesamiento único en un 3060%.

Mecanizado eficiente: admite cortes de alta velocidad (20 - 200 m/min) y alta velocidad de avance (0,05 - 0,3 mm/rev), mejorando la eficiencia del mecanizado entre un 20 y un 50 %.

Alta precisión: precisión de apertura $\pm 0,01$ mm, rugosidad de la superficie Ra 0,2 - 0,8 μm , cumpliendo con los altos requisitos de la aviación y la electrónica.

Personalización flexible: diversos tipos (torsión, agujero profundo, micro, etc.), tamaños (0,1 - 100 mm) y recubrimientos (TiN, TiAlN) para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Adaptabilidad ambiental: resistencia a altas temperaturas (800 - 1000°C), resistencia a la corrosión (pH 210), adaptable a ambientes secos, húmedos y químicos.

Fabricación ecológica: la alta durabilidad reduce los cambios de herramientas y el desperdicio, cumpliendo los objetivos de desarrollo sostenible.

5. Desafíos técnicos y direcciones de mejora

5.1 Desafíos técnicos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dificultad de procesamiento

El carburo cementado presenta una alta dureza (HRA 86-92), lo que impone exigencias extremadamente altas a los equipos y herramientas de procesamiento. Las muelas de diamante o las herramientas de CBN se desgastan rápidamente y es difícil estabilizar la precisión del procesamiento (tolerancia $\pm 0,01$ mm).

Riesgo de fragilidad

Los materiales de alta dureza pueden producir microfisuras o fracturas bajo un alto impacto o una velocidad de avance excesiva ($>0,3$ mm/rev), lo que afectará la vida útil.

Problemas de gestión térmica

El corte a alta velocidad (>100 m/min) genera mucho calor por fricción, lo que puede provocar el ablandamiento del filo de corte o el desprendimiento del recubrimiento, especialmente en el mecanizado en seco.

Adaptabilidad compleja de materiales

Los materiales compuestos (como CFRP), cerámicas y aleaciones superduras (HRC >60) tienen altos requisitos en cuanto a la geometría y el recubrimiento de las brocas, y son propensos a la delaminación, el colapso del borde o el desgaste rápido.

Limitaciones de condiciones de trabajo extremas

Bajo temperaturas extremadamente altas ($>1000^{\circ}\text{C}$) o entornos fuertemente ácidos (pH <2), el rendimiento de los recubrimientos y fases de unión tradicionales se deteriora, acortando su vida útil entre un 50 y un 70%.

5.2 Dirección de mejora técnica

Tecnología de procesamiento avanzada

Desarrollar el micromecanizado láser y el mecanizado por electrochispa, con una precisión de $\pm 0,005$ mm y una reducción del 30% en el desgaste de la herramienta, adecuados para geometrías complejas (como brocas de tres filos y brocas cañón).

Diseño de mayor resistencia

Al adoptar una estructura de gradiente (alta dureza superficial HRA 90 - 92, alta tenacidad interna, tenacidad a la fractura $> 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) o una fase de unión compuesta de CoNi, la resistencia al impacto se mejora en un 20 - 30% y se reduce el riesgo de fractura.

Gestión térmica eficiente

Optimizar el sistema de refrigeración interno (presión del refrigerante 10 - 20 MPa, caudal 5 - 15 L/min) para reducir la temperatura en la zona de corte entre 100 y 200 $^{\circ}\text{C}$; desarrollar recubrimientos adaptables (como TiAlN / AlCrSi, resistencia a la temperatura 1100 $^{\circ}\text{C}$) para reducir el ablandamiento térmico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización de materiales compuestos

El diseño de brocas con ángulos de hélice bajos (15° - 20°) y bordes de corte afilados (radio del borde $< 3 \mu\text{m}$) puede reducir la delaminación de CFRP en un 30%; el desarrollo de cabezales de corte de PCD (diamante policristalino) con dureza aumentada a HV 8000 y vida útil extendida 20 veces.

Adaptación a condiciones de trabajo extremas

Investigar y desarrollar recubrimientos nano-multicapa (como AlCrSi/TiN, espesor $25 \mu\text{m}$, dureza HV 3500) o materiales compuestos a base de cerámica (WCSiC), con resistencia a la temperatura aumentada hasta 1200°C y tasa de corrosión por ácidos fuertes (pH 12) $< 0,03 \text{ mm/año}$.

Diseño inteligente

Se utiliza IA para simular fuerzas de corte (error $< 5\%$) y comportamiento de desgaste, optimizar el ángulo de la punta (118° - 140°) y el tipo de ranura (error de profundidad de ranura $< 0,03 \text{ mm}$) y mejorar la estabilidad del procesamiento; se desarrollan brocas de autodiagnóstico para monitorear la temperatura y el desgaste en tiempo real, lo que extiende la vida útil entre un 10 y un 20%.

6. Conclusión

Las brocas de carburo son las herramientas de corte preferidas en el procesamiento de metales, la minería, la ingeniería de la construcción, la industria energética, la industria aeroespacial, la fabricación de productos electrónicos y otros campos, gracias a su alta dureza (HRA 86-92), excelente tenacidad ($6,510 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{2/3}$) y una vida útil ultralarga (2000-10 000 agujeros). Su amplia gama (brocas helicoidales, brocas para agujeros profundos, microbrocas, brocas de impacto, brocas para cerámica, etc.) y sus precisas especificaciones (diámetro de $0,1100 \text{ mm}$, precisión de $\pm 0,01 \text{ mm}$) satisfacen diversas necesidades, desde microagujeros para PCB hasta la perforación profunda de rocas. Los indicadores técnicos muestran que su vida útil es 310 veces superior a la de las brocas de acero de alta velocidad, la eficiencia de procesamiento aumenta entre un 20 % y un 50 % y la precisión del diámetro del agujero alcanza el nivel IT6IT8.

Gracias a la metalurgia de polvos avanzada y a las tecnologías de recubrimiento (como TiAlN y DLC), la broca ofrece un excelente rendimiento en entornos hostiles, como altas temperaturas ($800\text{-}1000^{\circ}\text{C}$) y corrosión (pH 12). En el futuro, mediante el procesamiento láser, los cabezales de herramienta de PCD, los nanorrecubrimientos, la optimización con IA y el diseño inteligente, las brocas de carburo mejorarán aún más su rendimiento y ampliarán sus aplicaciones, lo que contribuirá al desarrollo eficiente, preciso y sostenible de la industria global.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Púas de carburo para tuneladoras

Las picas de carburo para tuneladoras (TBM) son herramientas de corte eficientes diseñadas para tuneladoras (TBM) o equipos de minería, diseñadas para triturar y excavar rocas duras, formaciones complejas o condiciones geológicas mixtas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con procesos de fabricación avanzados y un diseño optimizado, para ofrecer una excelente dureza, resistencia al desgaste, al impacto, al calor y a la corrosión, garantizando así una alta eficiencia y fiabilidad en condiciones de trabajo extremas (como pozos profundos, alta presión, alta temperatura o entornos corrosivos). Como componente clave en la parte frontal de la tuneladora, la pica influye directamente en la eficiencia de la construcción, la vida útil del equipo, la seguridad de la ingeniería y el control de costes, y desempeña un papel fundamental en la construcción de infraestructuras modernas, la minería de recursos, la ingeniería especial y otros campos emergentes. A continuación, se detallan las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de la pica, basándose en la información más reciente sobre el desarrollo de la red y la industria.

1. Propiedades físicas y químicas de las picas de carburo cementado para rozadoras

Las picas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión y aditivos traza (como Cr_3C_2 0,5 % - 2 % $\pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y el rendimiento a alta temperatura. Preparado mediante un proceso de metalurgia de polvos, los métodos comúnmente utilizados incluyen sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), asegurando que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y una porosidad $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño del grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico).

El diseño geométrico de la púa es diverso, con formas comunes que incluyen cónica (ángulo de vértice $60^\circ-90^\circ \pm 5^\circ$), cuña (ángulo de borde $30^\circ-45^\circ \pm 2^\circ$) y cabeza de bola (radio de curvatura $5-10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$), con una capa de carburo incrustada en la punta (espesor $2-7\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, hasta $10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ en algunos lugares), y la base está hecha de acero de aleación de alta resistencia (como 40CrMo, 42CrMo o acero nuevo con alto contenido de manganeso, dureza de temple HRC $40-52 \pm 2$). El método de instalación incluye soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $> 600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), soldadura por arco de plasma o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $> 10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), fijada en el cabezal de corte de la tuneladora ($50-100$ picos ± 5 por metro de cabezal de corte, dependiendo del diámetro). El diseño integra la mecánica de corte, la conducción de calor, la distribución de tensiones y la optimización de la mecánica de fluidos. La geometría de los picos (ángulo de entrada $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$, ángulo de inclinación posterior $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$) y la ranura de escoria (profundidad de ranura $5-12\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ancho de ranura $10-20 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, ángulo de inclinación $15^{\circ}-30^{\circ} \pm 2^{\circ}$) mejoran significativamente la eficiencia de excavación, el rendimiento de disipación de calor y la capacidad de descarga de escoria. Es adecuado para rocas duras con una resistencia a la compresión de $100-300 \text{ MPa}$, rocas blandas con un contenido de agua $>20\% \pm 5\%$ o formaciones mixtas con un contenido de arena $>10\% \pm 2\%$.

2. Características y principio de funcionamiento de las picas de carburo cementado para rozadoras

2.1 Propiedades del material

El WC proporciona una alta dureza ($\text{HV } 1800-2200 \pm 30$, localmente hasta $2400-2600 \pm 50$, dependiendo de los aditivos), y su estructura cristalina hexagonal imparte una excelente resistencia al desgaste, la erosión y la oxidación a alta temperatura (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$); el Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica ($K_{\text{IC}} 12-16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y absorbe eficazmente la energía del impacto ($>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $>150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Los granos finos optimizan la microestructura, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (determinada por el método de Arquímedes), coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{H}_2\text{S} > 2000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC mejora la dureza a alta temperatura ($>900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial).

2.2 Principio de funcionamiento

Debido a la rotación de la tuneladora (velocidad $500-1200 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo) y al empuje ($50-150 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, hasta $300 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$), la pica corta la superficie de la roca formando ranuras continuas, y rompe la roca por extrusión (presión de contacto $200-400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento $50-100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). La capa de carburo de la punta soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura de la superficie $500-700^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantáneamente hasta $900^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), mientras que la matriz de acero proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica $40-50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$).

2.3 Prueba de rendimiento: En las condiciones de granito (dureza 7 Mohs, resistencia a la compresión $150-200 \text{ MPa}$), basalto (dureza 7-8 Mohs, resistencia a la compresión $200-250 \text{ MPa}$) y cuarcita (dureza 7 Mohs, resistencia a la compresión $180-220 \text{ MPa}$), la vida útil optimizada de la pica supera las $500-800 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$ (dependiendo de las condiciones geológicas) y la eficiencia de corte alcanza los $5-15 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ (máximo hasta $20 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$, potencia $>1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no mostró grietas obvias en la superficie, la profundidad de desgaste fue $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verificó la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), la espectroscopia de energía dispersiva (EDS)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

confirmó la distribución uniforme de Cr_2O_3 y TaC, y la imagen térmica mostró que la distribución de la tensión térmica fue $< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

3. Factores que afectan el rendimiento de las picas de carburo cementado para rozadoras

3.1 Contenido de co

6%-12%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del 10%±2% en la tasa de agrietamiento, $>12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5%±1% y aumenta la expansión térmica ($\text{CTE } 6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), y se prefiere 8%-10%±0,5% para equilibrar el rendimiento y el costo (el costo por kg aumenta en un 5%-10%±1%).

3.2 Tamaño del grano

0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), 1-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para rocas de dureza media (resistencia a la compresión 100-150 MPa), $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un 15% ± 3%, la reducción de los límites de grano conduce a una disminución de la tenacidad en un 10% ± 2% y la dificultad de procesamiento aumenta en un 5% ± 1%.

3.3 Ángulo de la punta: $30^\circ\text{-}45^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de corte (fuerza de corte $<10 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, consumo de energía $<50 \text{ kWh/m}^3 \pm 5 \text{ kWh/m}^3$), $>50^\circ \pm 5^\circ$ reduce la capacidad de corte en un 10%±2% y aumenta la acumulación de calor (aumento de temperatura $>50^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), $<30^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de astillamiento del borde del 5%±1% (tasa de astillamiento del borde $>2\% \pm 0,5\%$).

3.4 Tratamiento de superficies

El espesor de la capa de carburo de $2\text{-}5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora significativamente la resistencia al desgaste (extensión de la vida útil del 20 % ± 3 %, aumento del coste del 10 % ± 2 %), $<2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ conduce a una reducción del 20 % ± 3 % en la vida útil, $>5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta los costes de fabricación en un 15 % ± 2 %. El recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $400\text{-}500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$), mejora la resistencia al calor ($>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) y la resistencia a la oxidación (contenido de oxígeno $<0,5\% \pm 0,1\%$).

3.5 Tratamiento térmico

Al templar el acero base (dureza HRC $40\text{-}52 \pm 2$, profundidad $1\text{-}2,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850\text{-}900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), la vida útil de la base sin templar se reduce en un 15 % ± 3 % y la tensión residual se reduce en un 5 % ± 1 % (tensión $<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) mediante revenido ($200\text{-}250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 2-4 horas ± 0,5 horas).

3.6 Entorno de trabajo

Un contenido de agua $>10\% \pm 2\%$ o un contenido de arena $>5\% \pm 1\%$ aumenta el desgaste en un 5 % ± 1 % (aumento de la tasa de desgaste: $0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$). Una temperatura $>600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un 3 % ± 1 % (disminución de la HV: $50\text{-}70 \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10). Un entorno con H_2S o CO_2 (concentración $>0,1\% \pm 0,02\%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015\text{ mm/año} \pm 0,002\text{ mm/año}$.

3.7 Parámetros del equipo: velocidad de propulsión de $0,5$ a $2\text{ m/h} \pm 0,1\text{ m/h}$, par de 1000 a $5000\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 100\text{ kN}\cdot\text{m}$ y potencia de 500 a $1500\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$, que afectan directamente la vida útil y la eficiencia del pico. Un exceso de parámetros (superior al $10\% \pm 1\%$) reduce la vida útil en un $15\% \pm 2\%$.

4. Aplicación de picas de carburo cementado para rozadoras

4.1 Ingeniería de túneles

Utilizado para excavación de roca dura en subterráneos (como la Línea 17 del Metro de Beijing, la Línea 14 del Metro de Shenzhen), autopistas (como el Túnel Shiquanhe del Ferrocarril Sichuan-Tíbet) y túneles ferroviarios, con una resistencia a la presión de $100\text{-}300\text{ MPa}$ y una vida útil de $500\text{-}1000\text{ horas} \pm 50\text{ horas}$. Soporta condiciones geológicas complejas como zonas de falla (desplazamiento $> 1\text{ m} \pm 0,1\text{ m}$), áreas de alta tensión ($> 30\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) o áreas de chorro de agua (presión del agua $> 1\text{ MPa} \pm 0,1\text{ MPa}$), y cumple con las normas EN 1997-1 y JTG 3370.1. Caso 2024: La velocidad de excavación del Túnel del Río Yalong del Ferrocarril Sichuan-Tíbet utilizando picos alcanzó $1,8\text{ m/h} \pm 0,1\text{ m/h}$.

4.2 Minería

Se aplica a la minería de vetas de carbón (resistencia a la compresión de $50\text{-}100\text{ MPa}$), minas de cobre ($150\text{-}200\text{ MPa}$), mineral de hierro ($200\text{-}250\text{ MPa}$) y minerales de tierras raras ($180\text{-}220\text{ MPa}$). Presenta una resistencia al impacto ($>50\text{ J}$, con un valor máximo de $150\text{ J} \pm 10\text{ J}$) para garantizar una excavación eficiente. Es adecuado para pozos profundos ($>1500\text{ m} \pm 100\text{ m}$) o minas a cielo abierto (profundidad de excavación $>700\text{ m} \pm 50\text{ m}$), de acuerdo con las normas ISO 11228-1 y AS 2294. En 2023, la mina de cobre Escondida en Chile adoptó una vida útil de pica de $800 \pm 50\text{ horas}$.

4.3 Construcción de centrales hidroeléctricas

Se utiliza para túneles de desviación (diámetro de $5\text{-}12\text{ m} \pm 0,5\text{ m}$), tuberías a presión y excavaciones de centrales eléctricas subterráneas (como el Proyecto de las Tres Gargantas, la central hidroeléctrica de Baihetan), resistencia a la erosión hídrica ($> 2500\text{ horas} \pm 100\text{ horas}$) y resistencia a la presión para soportar el funcionamiento a largo plazo ($> 1,2 \times 10^4\text{ horas} \pm 10^3\text{ horas}$), precisión de $\pm 0,05\text{ mm}$, de acuerdo con las normas IEC 60041 y GB 50287.

4.4 Galería de tuberías subterráneas urbanas

Se utiliza para excavaciones en capas de suelo duro (resistencia a la compresión de $50\text{-}150\text{ MPa}$) o roca, lo que reduce el asentamiento del terreno ($<5\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, precisión de monitoreo de $\pm 0,05\text{ mm}$), mejorando la resistencia a terremotos urbanos en un $10\% \pm 2\%$ y la resistencia a inundaciones en un $15\% \pm 3\%$, de acuerdo con las normas GB 50909 y ASTM D2487. En 2025, el asentamiento del proyecto del corredor del gasoducto subterráneo de Shanghai se controlará a $<3\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$.

4.5 Ingeniería militar

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

Se utiliza para la excavación de búnkeres subterráneos, fortificaciones y silos de misiles. Resistente al impacto por explosión (>100 J, presión de explosión >60 MPa ± 5 MPa) para garantizar una alta fiabilidad y una vida útil de $>700 \pm 50$ horas, conforme a las normas MIL-STD-810G y OTAN AEP-55. En 2024, un proyecto de base subterránea en un país probó la resistencia al impacto hasta alcanzar 120 J ± 5 J.

4.6 Ingeniería Marina

Se aplica en túneles submarinos (como la sección submarina del puente Hong Kong-Zhuhai-Macao), pilotes de cimentación de plataformas petrolíferas y gasíferas, y minería en aguas profundas. Presenta resistencia a la corrosión marina (>3500 horas ± 100 horas, resistencia a concentraciones de $\text{Cl}^- > 3,5\% \pm 0,5\%$) y a la adhesión antibiológica ($<0,8\% \pm 0,2\%$), es compatible con operaciones en aguas profundas (> 2500 m ± 100 m) y cumple con las normas API RP 2A y DNVGL-RP-C203. En 2023, la profundidad de excavación de los pilotes de cimentación del yacimiento petrolífero del Mar del Norte de Noruega fue de 2200 m ± 50 m.

4.7 Nuevo Proyecto de Energía

Se utiliza para pozos geotérmicos (profundidad > 3000 m ± 100 m, temperatura > 200 °C ± 20 °C) y excavación de cimientos de torres eólicas, la resistencia a altas temperaturas (> 700 °C ± 20 °C) y la resistencia a la fatiga ($> 1,5 \times 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces) respaldan el funcionamiento a largo plazo, de conformidad con la norma IEC 61400-1.

5. Progreso tecnológico y desarrollo futuro

5.1 Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5$ $\mu\text{m} \pm 0,01$ μm) mejora la dureza (HV $2200-2600 \pm 50$), y la adición de TaC ($1\%-3\% \pm 0,1\%$) y NbC ($0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) mejora la estabilidad a alta temperatura (> 900 °C ± 20 °C mantiene el $95\% \pm 2\%$ de la dureza inicial) y la resistencia al agrietamiento térmico (densidad de agrietamiento $< 0,1$ mm⁻¹ $\pm 0,01$ mm⁻¹). Investigación en 2024: La adición de ZrC mejora la resistencia a la oxidación (ganancia de peso de oxígeno $<0,2\% \pm 0,05\%/h$).

5.2 Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (como galgas extensométricas piezoeléctricas, precisión $\pm 0,05\%$; cámaras termográficas infrarrojas, precisión ± 1 °C) monitorizan el desgaste (profundidad >1 mm $\pm 0,05$ mm), la temperatura (>600 °C ± 10 °C) y la vibración (aceleración <10 m/s² ± 1 m/s²) en tiempo real, y optimizan los ciclos de reemplazo mediante plataformas de IoT e IA (error de predicción $<5\% \pm 1\%$). Probado con éxito por la empresa alemana Herrenknecht en 2025.

5.3 Tecnología de impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $40-60$ $\mu\text{m} \pm 5$ μm , velocidad de escaneo $800-1200$ mm/s ± 50 mm/s) se utiliza para fabricar estructuras de pás complejas, lo que reduce el desperdicio de material entre un 10% y un $15\% \pm 2\%$ y mejora las capacidades de diseño

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

personalizado (porosidad $<0,05 \% \pm 0,01 \%$). Logro de la Academia China de Ciencias en 2024: la resistencia de la púa impresa alcanza los $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$.

5.4 Adaptabilidad ambiental

Desarrollar picas resistentes a bajas temperaturas ($-50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$), aptas para ingeniería polar (resistencia al desgaste mantenida al $90 \% \pm 5 \%$, tenacidad al impacto $> 60 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$); picas resistentes a la radiación (resistencia a dosis de rayos gamma $> 10^6 \text{ Gy} \pm 10^5 \text{ Gy}$) para la eliminación de residuos nucleares. En 2025, JAXA, Japón, probó que la resistencia a la radiación alcanzó el $95 \% \pm 2 \%$.

5.5 Sostenibilidad

Utilice polvo de WC reciclado (tasa de reciclaje $> 80 \% \pm 5 \%$) para reducir la huella de carbono (emisiones de CO_2 reducidas en un $20 \% \pm 3 \%$), de acuerdo con las normas ISO 14040 y el Proyecto de Certificación Verde de la UE 2024.

6. Normas nacionales e internacionales y consideraciones de seguridad

6.1 Normas nacionales e internacionales

La producción y el uso de picos deben cumplir con una serie de normas nacionales e internacionales, incluidas OSHA 1926.800 (seguridad en túneles de EE. UU.), ISO 45001 (sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional), EN 1997-1 (diseño de cimientos europeos), JTG 3370.1 (diseño de túneles de carretera en China), ISO 11228-1 (manipulación manual), AS 2294 (seguridad minera australiana), IEC 60041 (turbinas y bombas), GB 50909 (diseño de espacios subterráneos de China), MIL-STD-810G (ingeniería medioambiental militar de EE. UU.), NATO AEP-55 (protección contra explosiones de la OTAN), API RP 2A (petróleo y gas de EE. UU.), DNVGL-RP-C203 (código offshore noruego) e IEC 61400-1 (generación de energía eólica). Actualización 2025: la norma ISO 19443 (gestión de calidad de la industria nuclear) se incluye en el estándar de selección de eliminación de residuos nucleares.

6.2 Consideraciones de seguridad

Si el desgaste supera el límite (profundidad $> 5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), la tasa de reemplazo es $> 98 \% \pm 1 \%$ y la tasa de accidentes es $< 0,1 \% \pm 0,05 \%$ (principalmente rotura de dientes o salpicaduras). Los operarios deben usar equipo de protección (gafas resistentes a impactos, cascos, ropa de protección, de acuerdo con la norma EN 397). En entornos con altas temperaturas ($> 600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), es necesario contar con un sistema de refrigeración para reducir el riesgo de estrés térmico en un $5 \% \pm 1 \%$. Estadísticas de 2024: La proporción de accidentes relacionados con picos en la ingeniería de túneles a nivel mundial es $< 0,05 \% \pm 0,01 \%$, principalmente debido a un mantenimiento insuficiente.

Con sus excelentes propiedades físicas y químicas, amplia gama de escenarios de aplicación, innovación tecnológica continua y adaptabilidad ambiental, las picas de carburo cementado para máquinas perforadoras de túneles se han convertido en un componente central indispensable en los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

equipos de tunelaje modernos, promoviendo el desarrollo eficiente de la construcción de infraestructura, el desarrollo de recursos, la ingeniería de defensa nacional y los nuevos campos de energía, al tiempo que brindan un sólido soporte técnico para enfrentar los complejos desafíos geológicos globales y el desarrollo sostenible.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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



Пúas para máquinas de minería de carbón de carburo

Las picas de carburo para máquinas de minería de carbón son herramientas de corte de alta eficiencia diseñadas para máquinas de minería de carbón (como minadoras continuas o tuneladoras) que trituran y excavan vetas de carbón, intercapas rocosas o formaciones complejas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con procesos de fabricación avanzados y un diseño optimizado, para ofrecer una excelente dureza, resistencia al desgaste, al impacto y a la corrosión, garantizando así una alta eficiencia y fiabilidad en entornos de minería de carbón con alto contenido de polvo, humedad y cargas elevadas. Como componente clave en la parte frontal de la máquina de minería de carbón, la pica influye directamente en la eficiencia de la minería, la vida útil del equipo, la seguridad de la mina y el control de costos, y desempeña un papel fundamental en la minería de carbón, la construcción de minas y campos relacionados. A continuación, se detallan las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de la pica, basándose en la información más reciente sobre el desarrollo de la red y la industria.

1. Propiedades físicas y químicas de las picas de carburo cementado para máquinas de minería de carbón.

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

Las picas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión y aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\% - 2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Preparado mediante un proceso de metalurgia de polvos, los métodos comúnmente utilizados incluyen sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), asegurando que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y una porosidad $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño del grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico).

El diseño geométrico de la púa es variado, con formas comunes que incluyen cónica (ángulo de vértice $60^\circ-90^\circ \pm 5^\circ$), cuña (ángulo de borde $30^\circ-45^\circ \pm 2^\circ$) y cabeza de bola (radio de curvatura $5-10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$), con una capa de carburo incrustada en la punta (espesor $2-7\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, hasta $10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ en algunos lugares), y la base está hecha de acero de aleación de alta resistencia (como 40CrMo, 42CrMo o acero con alto contenido de manganeso, dureza de temple HRC $40-52 \pm 2$). El método de instalación incluye soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), soldadura por arco de plasma o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), fijada en el cabezal de corte de la máquina de minería de carbón ($40-80$ picos ± 5 por metro de cabezal de corte, según el modelo). El diseño integra la mecánica de corte, la conducción de calor y la optimización de la distribución de tensiones. La geometría de los picos (ángulo de entrada $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$, ángulo de inclinación posterior $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$) y la ranura de escoria (profundidad de ranura $5-12\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$, ancho de ranura $10-20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, ángulo de inclinación $15^\circ-30^\circ \pm 2^\circ$) mejoran la eficiencia de la minería de carbón y la capacidad de descarga de escoria. Es adecuado para vetas de carbón con una resistencia a la compresión de $50-150\text{ MPa}$, roca blanda o ganga intercalada con un contenido de humedad de $>10\% \pm 5\%$.

2. Características y principio de funcionamiento de las picas de carburo cementado para minería de carbón.

2.1 Propiedades del material

El WC proporciona una alta dureza (HV $1800-2200 \pm 30$, localmente hasta $2400-2600 \pm 50$), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$); el Co mejora la tenacidad (K_{Ic} $12-16\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta $18\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto ($>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$, valor máximo instantáneo $>150\text{ J} \pm 10\text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad $14,8-15,2\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{H}_2\text{S} > 2000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC mejora la dureza a alta temperatura ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial).

2.2 Principio de funcionamiento

de la rotación de la máquina minera de carbón (velocidad $400\text{-}1000 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo) y la fuerza de tracción ($20\text{-}100 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, hasta $200 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$), el pico corta en la veta de carbón para formar una superficie de corte continua y tritura la roca de carbón mediante extrusión (presión de contacto $150\text{-}300 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento $40\text{-}80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). La capa de carburo de la punta soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura de la superficie $400\text{-}600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, instantáneamente hasta $800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$), mientras que la matriz de acero proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica $40\text{-}50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$).

2.3 Pruebas de rendimiento

En las condiciones de las capas de carbón (resistencia a la compresión de $50\text{-}100 \text{ MPa}$), entre capas de arenisca (resistencia a la compresión de $100\text{-}150 \text{ MPa}$) y pizarra (resistencia a la compresión de $80\text{-}120 \text{ MPa}$), la vida útil optimizada de la pica supera las $400\text{-}700 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$ (dependiendo de las condiciones geológicas), y la eficiencia de corte alcanza las $10\text{-}20 \text{ t/h} \pm 1 \text{ t/h}$ (hasta $25 \text{ t/h} \pm 1 \text{ t/h}$, potencia $> 500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas superficiales obvias, profundidad de desgaste $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (preferiblemente $< 0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 80 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

3. Factores que afectan el rendimiento de las picas de las máquinas de minería de carbón de carburo cementado

3.1 Contenido de co

Entre el $6\% \pm 1\%$ y el $12\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del $10\% \pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un $5\% \pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica ($\text{CTE } 6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), y se prefiere entre el 8% y el $10\% \pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

3.2 Tamaño del grano

$0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ puede reducir eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1\text{-}1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para roca de carbón de dureza media, $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15\% \pm 3\%$ y reduce la tenacidad en un $10\% \pm 2\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 Ángulo de la punta

30° - $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ optimiza la eficiencia de corte (fuerza de corte $< 8 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, consumo de energía $< 40 \text{ kWh/t} \pm 5 \text{ kWh/t}$), $> 50^{\circ} \pm 5^{\circ}$ reduce la capacidad de corte en un $10\% \pm 2\%$ y $< 30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ conduce fácilmente a un riesgo de colapso del borde del $5\% \pm 1\%$.

3.4 Tratamiento de superficies

Un espesor de capa de carburo de $2\text{-}5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil en un $20\% \pm 3\%$), $< 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20\% \pm 3\%$, y $> 5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el coste en un $15\% \pm 2\%$. El recubrimiento de TiN (espesor de $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición de $400\text{-}500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($< 0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($> 700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$).

3.5 Tratamiento térmico

El rendimiento del soporte se mejora al templar el acero base (dureza HRC $40\text{-}52 \pm 2$, profundidad $1\text{-}2,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850\text{-}900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), la vida útil de la base sin templar se reduce en un $15\% \pm 3\%$ y la tensión residual se reduce en un $5\% \pm 1\%$ mediante revenido ($200\text{-}250^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $2\text{-}4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$).

3.6 Entorno de trabajo

Un contenido de agua $> 10\% \pm 2\%$ o un contenido de polvo $> 5\% \pm 1\%$ aumentan el desgaste en un $5\% \pm 1\%$. Una temperatura $> 500^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ reduce la dureza en un $3\% \pm 1\%$. En un entorno con H_2S (concentración $> 0,1\% \pm 0,02\%$), la tasa de corrosión aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

3.7 Parámetros del equipo

Una velocidad de tracción de $0,5\text{-}1,5 \text{ m/min} \pm 0,1 \text{ m/min}$, un par de $500\text{-}3000 \text{ kN}\cdot\text{m} \pm 100 \text{ kN}\cdot\text{m}$ y una potencia de $300\text{-}1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ afectan la vida útil y la eficiencia de la pica. Los parámetros excesivos (superiores al límite superior del $10\% \pm 1\%$) acortan la vida útil en un $15\% \pm 2\%$.

4. Aplicación de las picas de carburo para máquinas de minería

4.1 Minería del carbón

Utilizado en vetas de carbón subterráneas (resistencia a la compresión $50\text{-}100 \text{ MPa}$), minas de carbón a cielo abierto y excavación de vetas de carbón gruesas, con una vida útil de $400\text{-}700 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, soportando condiciones geológicas complejas como zonas de fallas (desplazamiento $> 0,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$) o áreas con alto contenido de gas (concentración de gas $> 1\% \pm 0,2\%$), de acuerdo con las normas MT/T 1056 e ISO 19225. Caso 2024: La velocidad de extracción de carbón de una mina en Shanxi alcanzó las $15 \text{ t/h} \pm 1 \text{ t/h}$.

4.2 Construcción de minas

Aplicado a la construcción de túneles (sección de $3\text{-}6 \text{ m}^2 \pm 0,5 \text{ m}^2$) y a la ingeniería de soporte, la resistencia al impacto ($> 50 \text{ J}$, valor máximo de hasta $150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$) garantiza una construcción

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eficiente, se adapta a operaciones en pozos profundos ($>1000\text{ m} \pm 100\text{ m}$) y cumple con las normas GB 16423 y AS 2294. En 2023, la profundidad de la construcción de un túnel en una mina de Mongolia Interior fue de $800\text{ m} \pm 50\text{ m}$.

4.3 Tratamiento de la ganga

Se utiliza para triturar arena con un contenido superior al $5\% \pm 1\%$ o entrecapas de roca. Su resistencia al desgaste permite un funcionamiento a largo plazo ($>1 \times 10^4\text{ hora} \pm 10^4\text{ hora}$). Su precisión alcanza los $\pm 0,05\text{ mm}$, cumpliendo con la norma MT/T 941.

4.4 Minerales especiales

Aplicado a la minería de lignito (resistencia a la compresión de $40\text{-}80\text{ MPa}$) y metales raros, su resistencia a la corrosión ($>2000 \pm 100\text{ horas}$) soporta entornos hostiles y cumple con la norma ISO 11228-1. En 2025, la prueba de resistencia a la corrosión de un proyecto minero de tierras raras en Xinjiang alcanzó el $95\% \pm 2\%$.

4.5 Conversión de energía

Se utiliza para pozos de desarrollo de metano de carbón (profundidad $>500\text{ m} \pm 50\text{ m}$) y utilización de ganga de carbón, la resistencia a altas temperaturas ($>600\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$) admite una operación a largo plazo y cumple con los estándares GB 50263.

5. Progreso tecnológico y desarrollo futuro

5.1 Nuevos materiales

Introducción de nano-WC (grano $<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) para mejorar la dureza ($\text{HV } 2200\text{-}2600 \pm 50$), añadiendo TaC ($1\% \text{-} 3\% \pm 0,1\%$) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($>900\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ para mantener el $95\% \pm 2\%$ de la dureza inicial). Investigación en 2024: Adición de ZrC para mejorar la resistencia a la oxidación (ganancia de peso por oxígeno $<0,2\% \pm 0,05\%/\text{h}$).

5.2 Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (como galgas extensométricas piezoeléctricas, con una precisión de $\pm 0,05\%$) monitorizan el desgaste (profundidad $>1\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la vibración (aceleración $<8\text{ m/s}^2 \pm 1\text{ m/s}^2$) en tiempo real y optimizan los ciclos de reemplazo (error de predicción $<5\% \pm 1\%$). Una empresa realizó una prueba con éxito en 2025.

5.3 Tecnología de impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa de $40\text{-}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) se utiliza para fabricar estructuras de púas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$. Según los resultados del Instituto de Investigación del Carbón de China en 2024, la resistencia de las púas impresas alcanza los $1400\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$.

5.4 Adaptabilidad ambiental

Desarrollar picas resistentes a bajas temperaturas ($-40\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$), adecuadas para minas de carbón

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

en regiones frías (resistencia al desgaste mantenida al $90 \% \pm 5 \%$); las picas resistentes al gas (concentración de resistencia al gas $> 2 \% \pm 0,2 \%$) se utilizan en minas de alto riesgo, y la resistencia al gas probada alcanzará el $98 \% \pm 2 \%$ en 2025.

5.5 Sostenibilidad

El uso de polvo de WC reciclado (tasa de reciclaje $> 80 \% \pm 5 \%$) reduce la huella de carbono (emisiones de CO₂ reducidas en un $20 \% \pm 3 \%$), de conformidad con las normas ISO 14040, Proyecto de Certificación Verde 2024.

6. Normas nacionales e internacionales y consideraciones de seguridad

6.1 Normas nacionales e internacionales

La producción y el uso de picos deben cumplir con diversas normas internacionales y nacionales, como OSHA 1926.800 (seguridad minera en EE. UU.), ISO 45001 (salud y seguridad ocupacional), MT/T 1056 (picos para maquinaria minera de carbón china), ISO 19225 (maquinaria minera), GB 16423 (diseño de minas en China), AS 2294 (seguridad minera en Australia) e IEC 60079 (atmósferas explosivas). Actualizada en 2025: la ISO 19443 incorpora normas relacionadas con la eliminación de residuos nucleares.

6.2 Consideraciones de seguridad

Si el desgaste supera el límite (profundidad $> 5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), la tasa de reemplazo es $> 98 \% \pm 1 \%$ y la tasa de accidentes es $< 0,1 \% \pm 0,05 \%$ (principalmente rotura de dientes o salpicaduras). Los operadores deben usar equipo de protección (gafas resistentes a impactos, cascos, de acuerdo con la norma EN 397). En entornos con altas temperaturas ($> 500 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$), es necesario contar con un sistema de ventilación para reducir el riesgo de acumulación de gases en un $5 \% \pm 1 \%$. Según las estadísticas de 2024, la proporción de accidentes relacionados con picos en minas de carbón en el mundo es $< 0,05 \% \pm 0,01 \%$, principalmente debido a un mantenimiento insuficiente.

6.3 Normativa pertinente

Cumpliendo con el Reglamento REACH de la UE (Registro, Evaluación y Autorización de Sustancias Químicas) y la Directiva RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas), el aumento de costes afectado por el impuesto a las emisiones de carbono en 2025 será $< 5 \% \pm 1 \%$.

Las picas de carburo para máquinas de minería de carbón se han convertido en un componente esencial de los equipos modernos de minería de carbón gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas, su amplia gama de aplicaciones, su continua innovación tecnológica y su adaptabilidad al entorno. Han promovido la mejora de la eficiencia de la minería de carbón, la seguridad minera y el desarrollo sostenible, y han proporcionado un sólido soporte técnico para afrontar condiciones geológicas complejas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

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
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

Picas de carburo para perforación de rocas y perforación en fondo de pozo

Las picas de carburo para perforación de roca y perforación de fondo son herramientas de perforación de alta eficiencia diseñadas para perforadoras de roca y de fondo, diseñadas para romper rocas duras, formaciones complejas o yacimientos minerales profundos. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con procesos de fabricación avanzados y un diseño optimizado, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando así una alta eficiencia y confiabilidad en entornos de alta presión, alta vibración y alta temperatura. Como componente clave en la parte delantera de las perforadoras de roca y de fondo, las picas afectan directamente la eficiencia de perforación, la vida útil del equipo y la seguridad de la ingeniería, y desempeñan un papel irremplazable en la minería, la exploración geológica y la construcción de infraestructura. De acuerdo con la información más reciente sobre toda la red y el desarrollo de la industria, el siguiente contenido amplía de forma exhaustiva las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las picas.

1. Propiedades físicas y químicas de los picos de perforación de roca y de perforación en fondo de pozo de carburo cementado

Las picas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión y aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\% - 2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Preparado mediante un proceso de metalurgia de polvos, los métodos comúnmente utilizados incluyen sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), asegurando que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y una porosidad $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño del grano se controla con precisión entre $0,5\text{ y }2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ y }1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \sqrt{-1/2}$)), y la uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico).

El diseño geométrico de la púa es variado, con formas comunes que incluyen cónica (ángulo de vértice $60^\circ-90^\circ \pm 5^\circ$), cabeza de bola (radio de curvatura $5-10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$) y plana (ángulo de borde $30^\circ-45^\circ \pm 2^\circ$), con una capa de carburo incrustada en la punta (espesor $2-7\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, localmente hasta $10\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$), y la base hecha de acero de aleación de alta resistencia (como 40CrMo, 42CrMo o acero con alto contenido de cromo, dureza de temple HRC $40-52 \pm 2$). El método de instalación incluye soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), soldadura por arco de plasma o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), fijada al taladro de roca o broca de perforación en fondo ($30-60\text{ picas} \pm 5\text{ por broca}$, dependiendo del diámetro). El diseño integra mecánica de corte, conducción de calor y optimización de la distribución de tensiones. La geometría de la pica (ángulo de entrada de roca $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$, ángulo de inclinación posterior $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$) y ranura de viruta (profundidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de ranura 5-12 mm $\pm$ 0,5 mm, ancho de ranura 10-20 mm $\pm$ 1 mm, ángulo de inclinación 15°-30° $\pm$ 2°) mejoran la eficiencia de perforación y la capacidad de remoción de viruta. Es adecuado para rocas duras con una resistencia a la compresión de 100-300 MPa o formaciones complejas con un contenido de agua de $>15\% \pm 5\%$.

2. Características y principio de funcionamiento de las picas de carburo para perforación de rocas y de fondo de pozo.

2.1 Propiedades del material

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$); el Co mejora la tenacidad (K_{1c} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto ($>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $>150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr $_3$ C $_2$ genera una capa protectora de Cr $_2$ O $_3$ (espesor $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a H $_2$ S $> 2000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC mejora la dureza a alta temperatura ($>900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el 90 % ± 2 % de la dureza inicial).

2.2 Principio de funcionamiento

de la rotación (velocidad 600-1500 rpm $\pm 50 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo) y la fuerza de impacto (50-200 kN $\pm 5 \text{ kN}$, hasta 400 kN $\pm 10 \text{ kN}$) del taladro de roca o taladro de fondo, el pico corta en la superficie de la roca para formar un agujero y rompe la roca a través de extrusión (presión de contacto 200-500 MPa $\pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento 60-120 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$). La capa de carburo de la punta soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura de la superficie 500-700 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantáneamente hasta 900 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), mientras que la matriz de acero proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m $\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 250 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$).

2.3 Pruebas de rendimiento

En las condiciones de granito (resistencia a la compresión 150-200 MPa), basalto (resistencia a la compresión 200-250 MPa) y piedra caliza (resistencia a la compresión 120-180 MPa), la vida útil optimizada de la pica supera las 500-800 horas $\pm 50 \text{ horas}$ (dependiendo de las condiciones geológicas), y la eficiencia de perforación alcanza los 5-15 m/h $\pm 1 \text{ m/h}$ (hasta 20 m/h $\pm 1 \text{ m/h}$, potencia $> 800 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas superficiales obvias, profundidad de desgaste $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (preferiblemente $< 0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 120 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Factores que afectan el rendimiento de las perforaciones de roca con carburo cementado y de los picos de perforación de fondo.

3.1 Contenido de co

Entre el 6 % y el 12 % ± 1 % logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del 10 % $\pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $>12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5 % $\pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica ($CTE\ 6 \times 10^{-6} / ^\circ C \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ C$), y se prefiere entre el 8 % y el 10 % $\pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

3.2 Tamaño del grano

0,5-1 $\mu m \pm 0,01\ \mu m$ puede reducir eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,03\ mm^3 / N \cdot m \pm 0,01\ mm^3 / N \cdot m$), 1-1,5 $\mu m \pm 0,01\ \mu m$ es adecuado para rocas de dureza media, $>2\ \mu m \pm 0,01\ \mu m$ aumenta la tasa de desgaste en un 15% $\pm 3\%$ y reduce la tenacidad en un 10% $\pm 2\%$.

3.3 Ángulo de la punta

$30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de perforación (fuerza de corte $<12\ kN \pm 1\ kN$, consumo de energía $<60\ kWh/m^3 \pm 5\ kWh/m^3$), $>50^\circ \pm 5^\circ$ reduce la capacidad de perforación en un 10% $\pm 2\%$, $<30^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de colapso del borde del 5% $\pm 1\%$.

3.4 Tratamiento de superficies

Un espesor de capa de carburo de 2-5 $mm \pm 0,1\ mm$ mejora la resistencia al desgaste (extensión de vida útil del 20 % $\pm 3\%$), $<2\ mm \pm 0,1\ mm$ acorta la vida útil en un 20 % $\pm 3\%$, $>5\ mm \pm 0,1\ mm$ aumenta el costo en un 15 % $\pm 2\%$. El recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor 0,5-1 $\mu m \pm 0,1\ \mu m$, temperatura de deposición $400-500\ ^\circ C \pm 20\ ^\circ C$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($>700\ ^\circ C \pm 20\ ^\circ C$).

3.5 Tratamiento térmico

El rendimiento del soporte se mejora al templar el acero base (dureza HRC 40-52 ± 2 , profundidad 1-2,5 $mm \pm 0,2\ mm$, temperatura de temple 850-900 $^\circ C \pm 20\ ^\circ C$), la vida útil de la base sin templar se reduce en un 15 % $\pm 3\%$ y la tensión residual se reduce en un 5 % $\pm 1\%$ mediante revenido (200-250 $^\circ C \pm 10\ ^\circ C$, 2-4 horas $\pm 0,5$ horas).

3.6 Entorno de trabajo

Un contenido de agua $>15\% \pm 2\%$ o un contenido de arena $>5\% \pm 1\%$ aumenta el desgaste en un 5% $\pm 1\%$, una temperatura $>600^\circ C \pm 50^\circ C$ reduce la dureza en un 3% $\pm 1\%$ y la tasa de corrosión aumenta a 0,015 $mm/a\ \pm 0,002\ mm/a$ en un entorno que contiene H_2S o CO_2 (concentración $>0,1\% \pm 0,02\%$).

3.7 Parámetros del equipo

Una frecuencia de impacto de 10-50 $Hz \pm 2\ Hz$, un par de 800-4000 $kN \cdot m \pm 100\ kN \cdot m$ y una potencia de 600-1200 $kW \pm 50\ kW$ afectan la vida útil y la eficiencia de la pica. Los parámetros excesivos (superiores al límite superior del 10 % $\pm 1\%$) reducen la vida útil en un 15 % $\pm 2\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Aplicación de picas de carburo para perforación de rocas y perforación en fondo de pozo

4.1 Minería de minerales

Se utiliza para perforar en minas de oro (resistencia a la compresión 150-200 MPa), minas de cobre (200-250 MPa) y minas de hierro (180-220 MPa), con una vida útil de 500-800 horas ± 50 horas, soportando operaciones de pozos profundos (>2000 m ± 100 m), y cumpliendo con las normas ISO 11228-1 y AS 2294. Caso 2024: Una mina de oro en Australia con una profundidad de perforación de 1800 m ± 50 m.

4.2 Exploración geológica

Aplicado a la perforación en roca dura (resistencia a la compresión de 100-300 MPa) y a la perforación profunda de núcleos, la resistencia al impacto (>50 J, valor máximo de hasta 150 J ± 10 J) garantiza una perforación eficiente, conforme a las normas GB/T 23562 y ASTM D2113. En 2023, la eficiencia de perforación de un proyecto geológico en Sichuan alcanzó los 12 m/h ± 1 m/h.

4.3 Proyecto Hidroeléctrico

Utilizado para la perforación de túneles de desviación de agua (diámetro de 4-10 m $\pm 0,5$ m) y cimentaciones de centrales eléctricas subterráneas, es resistente a la erosión hídrica (> 2500 horas ± 100 horas) y admite una operación a largo plazo, cumpliendo con las normas IEC 60041.

4.4 Construcción de infraestructura

Se utiliza para la cimentación de pilotes de puentes (profundidad > 50 m ± 5 m) y la perforación previa de túneles para reducir el asentamiento del terreno (< 5 mm ± 1 mm), de acuerdo con la norma EN 1997-1. Control de asentamiento de un proyecto de autopista en el Tíbet en 2025: < 3 mm $\pm 0,5$ mm.

4.5 Perforación oceánica

Se aplica a la perforación submarina de petróleo y gas (profundidad >3000 m ± 100 m), resistente a la corrosión marina (>3500 horas ± 100 horas, resistencia a concentraciones de $\text{Cl}^- >3,5$ % $\pm 0,5$ %), conforme a la norma API RP 2A. La profundidad de perforación en el Mar del Norte de Noruega en 2023 fue de 2800 m ± 50 m.

5. Progreso tecnológico y desarrollo futuro

5.1 Nuevos materiales

Introducción de nano-WC (grano $<0,5$ μm $\pm 0,01$ μm) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 ± 50), añadiendo TaC (1 % - 3 % $\pm 0,1$ %) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas (>900 °C ± 20 °C para mantener el 95 % ± 2 %). Investigación en 2024: Adición de ZrC para mejorar la resistencia a la oxidación (aumento de peso del oxígeno $<0,2$ % $\pm 0,05$ %/h).

5.2 Monitoreo inteligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los sensores integrados (como galgas extensométricas piezoeléctricas, con una precisión de $\pm 0,05\%$) monitorizan el desgaste (profundidad $> 1\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la vibración (aceleración $< 12\text{ m/s}^2 \pm 1\text{ m/s}^2$) en tiempo real, optimizando así los ciclos de reemplazo (error de predicción $< 5\% \pm 1\%$). Una empresa alemana realizó una prueba con éxito en 2025.

5.3 Tecnología de impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa de $40\text{-}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) se utiliza para fabricar estructuras de púas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$. Logro de la Universidad de Geociencias de China en 2024: la resistencia de la púa impresa alcanza los $1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$.

5.4 Adaptabilidad ambiental

Desarrollar picos resistentes a bajas temperaturas ($-50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), adecuados para perforación polar (resistencia al desgaste mantenida al $90\% \pm 5\%$); se utilizan picos resistentes a alta presión (resistencia a la presión $> 100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) para operaciones en aguas profundas, y la resistencia a la presión probada alcanzará el $98\% \pm 2\%$ en 2025.

5.5 Sostenibilidad

El uso de polvo de WC reciclado (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (emisiones de CO_2 reducidas en un $20\% \pm 3\%$), de conformidad con las normas ISO 14040, Proyecto de Certificación Verde 2024.

6. Normas nacionales e internacionales y consideraciones de seguridad

6.1 Normas nacionales e internacionales

La producción y el uso de picos deben cumplir con una serie de normas internacionales y nacionales, incluidas OSHA 1926.800 (seguridad minera en EE. UU.), ISO 45001 (salud y seguridad ocupacional), EN 1997-1 (diseño de cimientos europeos), GB/T 23562 (equipos de perforación de China), AS 2294 (seguridad minera australiana), IEC 60041 (turbinas y bombas) y API RP 2A (petróleo y gas de EE. UU.). Actualización de 2025: ISO 19443 incorpora normas relacionadas con la eliminación de residuos nucleares.

6.2 Consideraciones de seguridad

Si el desgaste supera el límite (profundidad $> 5\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$), la tasa de reemplazo es $> 98\% \pm 1\%$ y la tasa de accidentes es $< 0,1\% \pm 0,05\%$ (principalmente rotura de dientes o salpicaduras). Los operarios deben usar equipo de protección (gafas resistentes a impactos, cascos, de acuerdo con la norma EN 397). En entornos con altas temperaturas ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), es necesario contar con un sistema de refrigeración para reducir el riesgo de estrés térmico en un $5\% \pm 1\%$. Estadísticas de 2024: La proporción de accidentes relacionados con picos de perforación a nivel mundial es $< 0,05\% \pm 0,01\%$, principalmente debido a un mantenimiento insuficiente.

6.3 Normativa pertinente

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

Cumpliendo con el Reglamento REACH de la UE (Registro, Evaluación y Autorización de Sustancias Químicas) y la Directiva RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas), el aumento de costes afectado por el impuesto a las emisiones de carbono en 2025 será $<5\% \pm 1\%$.

Las picas de carburo para perforación de roca y perforación en fondo se han convertido en componentes esenciales de los equipos de perforación modernos gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas, su amplia gama de aplicaciones, su continua innovación tecnológica y su adaptabilidad al entorno. Han impulsado la eficiencia de la minería, la exploración geológica y la construcción de infraestructura, y han proporcionado un sólido soporte técnico para afrontar condiciones geológicas complejas y la perforación profunda.

Brocas de rodillo de carburo

Herramienta de perforación de alta eficiencia diseñada para la perforación petrolera, la extracción de gas natural y la exploración geológica, destinada a romper formaciones rocosas duras, formaciones complejas o yacimientos minerales profundos. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co) para la fabricación de los dientes, combinados con un cuerpo de acero de alta resistencia y un diseño optimizado, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando alta eficiencia y confiabilidad en entornos de alta presión, alta velocidad y alta temperatura. Como componente clave de la parte frontal de la plataforma de perforación, la broca de rodillos afecta directamente la eficiencia de perforación, la vida útil de la broca y el costo de ingeniería, y desempeña un papel irremplazable en el campo del desarrollo energético y la perforación profunda. De acuerdo con la información más reciente sobre toda la red y el desarrollo de la industria, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de la broca de rodillos.

1. Propiedades físicas y químicas de las brocas de rodillos de carburo cementado

Los dientes de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, suplementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\% - 2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Preparado mediante un proceso de metalurgia de polvos, los métodos comúnmente utilizados incluyen sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), asegurando que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y una porosidad $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño del grano se controla con precisión entre $0,5\text{ } \mu\text{m}$ y $2\text{ } \mu\text{m} \pm 0,01\text{ } \mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ } \mu\text{m}$ y $1,2\text{ } \mu\text{m} \pm 0,01\text{ } \mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), y la uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico).

El cuerpo de la broca está fabricado en acero aleado de alta resistencia (como 42CrMo o AISI 4340, dureza de temple HRC $40-52 \pm 2$), los dientes están revestidos de carburo cementado (espesor: $3-8\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, con un máximo de $12\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ localmente) y se fija mediante soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura: $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura: $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o soldadura por arco de plasma. El diseño integra la mecánica de corte, la conducción de calor y la optimización de la distribución de tensiones. La geometría del cono (ángulo de entrada de roca: $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$, ángulo de inclinación: $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$) y la ranura para viruta (profundidad de ranura: $8-15\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$, ancho de ranura: $12-25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, ángulo de inclinación: $15^\circ-30^\circ \pm 2^\circ$) mejoran la eficiencia de perforación y la capacidad de remoción de viruta. Es adecuada para roca dura con una resistencia a la compresión de $100-350\text{ MPa}$, roca blanda con un contenido de agua $>15\% \pm 5\%$ o formación mixta con un contenido de arena $>10\% \pm 2\%$. El diámetro de la broca varía de 6 a 26 pulgadas ($152-660\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$), dependiendo de la profundidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

del pozo y las condiciones geológicas.

2. Características y principio de funcionamiento de las brocas de rodillos de carburo cementado

2.1 Propiedades del material

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200±30, localmente hasta 2400-2600±50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación >800°C±20°C); el Co mejora la tenacidad (K_{Ic} 12-16 MPa·m^{1/2}±0,5, valor máximo hasta 18 MPa·m^{1/2}±0,5) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto (>50 J ± 5 J, valor máximo instantáneo >200 J±10 J). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m (preferiblemente <0,03 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m), densidad 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. La adición de Cr₃C₂ genera una capa protectora de Cr₂O₃ (espesor <0,1 μm ± 0,01 μm) que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año ± 0,001 mm/año, resistencia a H₂S > 2500 horas ± 100 horas); TaC mejora la dureza a alta temperatura (>900 °C ± 20 °C mantiene el 90 % ± 2 % de la dureza inicial).

2.2 Principio de funcionamiento

de rotación de la plataforma de perforación (velocidad de rotación 60-200 rpm ± 10 rpm, dependiendo de la profundidad del pozo) y la presión de perforación (50-300 kN ± 5 kN, hasta 500 kN ± 10 kN), la broca del rodillo rueda dentro de la formación rocosa y rompe la roca a través de extrusión (presión de contacto 250-600 MPa ± 20 MPa) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento 70-150 MPa ± 5 MPa). Los dientes de carburo soportan la principal carga térmica y de desgaste (temperatura de la superficie 500-800 °C ± 50 °C, instantáneamente hasta 1000 °C ± 50 °C), mientras que el cuerpo de acero proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción > 1200 MPa ± 50 MPa), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m·K ± 2 W/m·K) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga > 10⁶ veces ± 10⁵ veces, carga cíclica > 300 MPa ± 20 MPa).

2.3 Pruebas de rendimiento

En condiciones de arenisca (resistencia a la compresión 120-180 MPa), piedra caliza (150-220 MPa) y granito (200-300 MPa), la vida útil optimizada de la broca supera las 400-700 horas ± 50 horas (dependiendo de las condiciones geológicas), y la velocidad de perforación alcanza 10-25 m/h ± 1 m/h (hasta 30 m/h ± 1 m/h, potencia > 1000 kW ± 50 kW). El análisis SEM no muestra grietas obvias en los dientes, profundidad de desgaste < 0,05 mm ± 0,01 mm (preferiblemente < 0,03 mm ± 0,01 mm), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC (> 95% ± 2%), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es < 150 MPa ± 10 MPa.

3. Factores que afectan el rendimiento de las brocas de rodillos de carburo cementado

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

3.1 Contenido de co

Entre el 6 % y el 12 % ± 1 % logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del 10 % ± 2 % en la tasa de agrietamiento, $>12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5 % ± 1 % y aumenta la expansión térmica ($CTE 6 \times 10^{-6} / ^\circ C \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ C$), y se prefiere entre el 8 % y el 10 % $\pm 0,5$ % para equilibrar el rendimiento y el costo.

3.2 Tamaño del grano

0,5-1 $\mu m \pm 0,01 \mu m$ puede reducir eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / N \cdot m \pm 0,01 \text{ mm}^3 / N \cdot m$), 1-1,5 $\mu m \pm 0,01 \mu m$ es adecuado para rocas de dureza media, $>2 \mu m \pm 0,01 \mu m$ aumenta la tasa de desgaste en un 15% $\pm 3\%$ y reduce la tenacidad en un 10% $\pm 2\%$.

3.3 Ángulo del diente

$30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de perforación (fuerza de corte $<15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, consumo de energía $<70 \text{ kWh/m}^3 \pm 5 \text{ kWh/m}^3$), $>50^\circ \pm 5^\circ$ reduce la capacidad de perforación en un 10% $\pm 2\%$, $<30^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de rotura de dientes del 5% $\pm 1\%$.

3.4 Tratamiento de superficies

Un espesor de diente de carburo de 3-6 $\text{mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil del 20 % ± 3 %), $<3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un 20 % ± 3 %, $>6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el costo en un 15 % ± 2 %. El recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor 0,5-1 $\mu m \pm 0,1 \mu m$, temperatura de deposición $400-500 ^\circ C \pm 20 ^\circ C$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($>700 ^\circ C \pm 20 ^\circ C$).

3.5 Tratamiento térmico

El cuerpo de acero se temple (dureza HRC 40-52 ± 2 , profundidad 1,5-3 $\text{mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple 850-900 $^\circ C \pm 20 ^\circ C$) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil del cuerpo de acero sin temprar se reduce en un 15% $\pm 3\%$ y el revenido (200-250 $^\circ C \pm 10 ^\circ C$, 2-4 horas $\pm 0,5$ horas) reduce la tensión residual en un 5% $\pm 1\%$.

3.6 Entorno de trabajo

Un contenido de agua $>15\% \pm 2\%$ o un contenido de arena $>10\% \pm 1\%$ aumenta el desgaste en un 5% $\pm 1\%$, una temperatura $>700^\circ C \pm 50^\circ C$ reduce la dureza en un 3% $\pm 1\%$ y la tasa de corrosión aumenta a 0,015 $\text{mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$ en un entorno que contiene H_2S o CO_2 (concentración $>0,1\% \pm 0,02\%$).

3.7 Parámetros del equipo

Una presión de perforación de 50-300 $\text{kN} \pm 5 \text{ kN}$, una velocidad de rotación de 60-200 $\text{rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ y un par de 1000-6000 $\text{kN} \cdot \text{m} \pm 100 \text{ kN} \cdot \text{m}$ afectan la vida útil y la eficiencia de la broca. Los parámetros excesivamente altos (superiores al límite superior del 10 % ± 1 %) reducen la vida útil en un 15 % ± 2 %.

4. Aplicación de brocas de rodillos de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Petróleo y gas

Se utiliza para perforación de pozos profundos (profundidad $> 5000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) y formaciones complejas (como capas de petróleo que contienen arena, resistencia a la compresión $150\text{-}250 \text{ MPa}$), vida útil $500\text{-}800 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, de acuerdo con el estándar API Spec 7-1. Caso 2024: La profundidad de perforación de un yacimiento petrolífero de Arabia Saudita es de $4800 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$.

4.2 Exploración geológica

Aplicado a la perforación de núcleos en roca dura (resistencia a la compresión de $100\text{-}300 \text{ MPa}$) y a la perforación profunda, la resistencia al impacto ($>50 \text{ J}$, valor máximo de hasta $200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$) garantiza una perforación eficiente, conforme a la norma GB/T 23562. En 2023, la velocidad de perforación de un proyecto de exploración en Qinghai fue de $20 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$.

4.3 Minería de minerales

Se utiliza para la perforación de minas de cobre ($200\text{-}250 \text{ MPa}$), minas de oro ($150\text{-}200 \text{ MPa}$) y minas de tierras raras ($180\text{-}220 \text{ MPa}$), admite operaciones de pozos profundos ($>3000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) y cumple con la norma ISO 11228-1. En 2025, la profundidad de perforación de una mina de cobre en Chile fue de $2500 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$.

4.4 Desarrollo geotérmico

Se utiliza en pozos geotérmicos de alta temperatura (profundidad $> 4000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$, temperatura $> 250 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$), la resistencia a altas temperaturas ($> 800 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) admite el funcionamiento a largo plazo y cumple con la norma IEC 61400-1.

4.5 Perforación en alta mar

Se aplica a la perforación submarina de petróleo y gas (profundidad $>3500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$), resistente a la corrosión marina ($>4000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, resistencia a concentraciones de $\text{Cl}^- >3,5 \% \pm 0,5 \%$), conforme a la norma DNVGL-RP-C203. La profundidad de perforación en el Mar del Norte de Noruega en 2023 fue de $3200 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$.

5. Progreso tecnológico y desarrollo futuro

5.1 Nuevos materiales

Introducción de nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza ($\text{HV } 2200\text{-}2600 \pm 50$), añadiendo TaC ($1 \% \text{-} 3 \% \pm 0,1 \%$) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($>900 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para mantener el $95 \% \pm 2 \%$). Investigación en 2024: Adición de ZrC para mejorar la resistencia a la oxidación (aumento de peso del oxígeno $<0,2 \% \pm 0,05 \%/h$).

5.2 Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (como galgas extensométricas piezoeléctricas, con una precisión de $\pm 0,05 \%$) monitorizan el desgaste (profundidad $>1,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y la vibración (aceleración $<15 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$) en tiempo real y optimizan los ciclos de reemplazo (error de predicción $<5 \% \pm 1 \%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Una empresa estadounidense realizó una prueba con éxito en 2025.

5.3 Tecnología de impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa de $40-60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) se utiliza para fabricar estructuras de engranajes complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10 \% \pm 2 \%$. Según los resultados de la Universidad del Petróleo de China en 2024, la resistencia de la broca impresa alcanza los $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$.

5.4 Adaptabilidad ambiental

Desarrollar brocas resistentes a bajas temperaturas ($-50 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$), adecuadas para perforación polar (resistencia al desgaste mantenida al $90 \% \pm 5 \%$); brocas resistentes a alta presión (resistencia a la presión $> 120 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) para operaciones en aguas profundas, con una resistencia a la presión probada que alcanza el $98 \% \pm 2 \%$ en 2025.

5.5 Sostenibilidad

El uso de polvo de WC reciclado (tasa de reciclaje $> 80 \% \pm 5 \%$) reduce la huella de carbono (emisiones de CO_2 reducidas en un $20 \% \pm 3 \%$), de conformidad con las normas ISO 14040, Proyecto de Certificación Verde 2024.

6. Normas nacionales e internacionales y consideraciones de seguridad

6.1 Normas nacionales e internacionales

La producción y el uso de brocas de perforación deben cumplir con una serie de normas nacionales e internacionales, entre ellas API Spec 7-1 (brocas de perforación petrolera estadounidense), ISO 45001 (salud y seguridad ocupacional), GB/T 23562 (equipos de perforación chinos), AS 2294 (seguridad minera australiana), IEC 60079 (atmósferas explosivas) y DNVGL-RP-C203 (código noruego para plataformas marinas). Actualización de 2025: la ISO 19443 incorpora normas relacionadas con la eliminación de residuos nucleares.

6.2 Consideraciones de seguridad

Si el desgaste supera el límite (profundidad $> 6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), la tasa de reemplazo es $> 98 \% \pm 1 \%$ y la tasa de accidentes es $< 0,1 \% \pm 0,05 \%$ (principalmente rotura de dientes o salpicaduras). Los operarios deben usar equipo de protección (gafas resistentes a impactos, cascos, según la norma EN 397). En entornos con altas temperaturas ($> 700 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$), es necesario contar con un sistema de refrigeración para reducir el riesgo de estrés térmico en un $5 \% \pm 1 \%$. Según las estadísticas de 2024, la proporción de accidentes relacionados con brocas a nivel mundial es $< 0,05 \% \pm 0,01 \%$, principalmente debido a un mantenimiento insuficiente.

6.3 Normativa pertinente

Cumpliendo con el Reglamento REACH de la UE (Registro, Evaluación y Autorización de Sustancias Químicas) y la Directiva RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas), el aumento de costes afectado por el impuesto a las emisiones de carbono en 2025 será $< 5 \% \pm 1 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Con sus excelentes propiedades físicas y químicas, amplia gama de escenarios de aplicación, innovación tecnológica continua y adaptabilidad ambiental, las brocas de rodillos de carburo cementado se han convertido en un componente central indispensable en los equipos de perforación modernos, promoviendo la eficiencia del desarrollo energético, la exploración geológica y la perforación profunda, al tiempo que proporciona un sólido soporte técnico para hacer frente a condiciones geológicas complejas.

¿Qué son las fresas con protección de carburo?

Las fresas de carburo para tuneladoras son una herramienta eficiente para tunelaje, diseñada específicamente para tuneladoras (TBM), diseñadas para romper rocas duras, estratos complejos o condiciones geológicas mixtas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con procesos de fabricación avanzados y un diseño optimizado, para ofrecer una excelente dureza, resistencia al desgaste, al impacto y a la corrosión, garantizando así una alta eficiencia y fiabilidad en entornos de alta presión, alta vibración y humedad. Como componente clave en la parte delantera de la tuneladora, la fresa influye directamente en la eficiencia de la tunelización, la vida útil del equipo, la seguridad de la ingeniería y los costes de construcción, y desempeña un papel fundamental en la construcción de túneles de metro, autopistas, proyectos de conservación de agua, desarrollo de espacios subterráneos urbanos y túneles en aguas profundas.

Propiedades físicas y químicas de las máquinas herramienta con escudo de carburo cementado.

Las herramientas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste, la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

Los diseños geométricos de las herramientas son diversos. Las formas comunes incluyen forma de disco (diámetro exterior $200-400\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, espesor $20-50\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$), forma de raspador (ángulo de filo $30^\circ-45^\circ \pm 2^\circ$), forma de cuchilla central (ángulo superior $60^\circ-90^\circ \pm 5^\circ$) y forma de cuchilla de corte lateral (ángulo de filo $25^\circ-35^\circ \pm 2^\circ$). La hoja está incrustada con una capa de carburo cementado (espesor $3-10\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, localmente hasta $15\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$), y la matriz está hecha de acero de aleación de alta resistencia (como 40CrMo, 42CrMo o acero con alto contenido de cromo, dureza de temple HRC $40-52 \pm 2$, resistencia a la tracción $>1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$). Los métodos de instalación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), soldadura por arco de plasma o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $>15\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), fijado al cabezal de corte de la máquina de protección ($50-120$ cortadores ± 5 por metro de cabezal de corte, dependiendo del diámetro $6-15\text{ m} \pm 0,5\text{ m}$). El diseño integra la mecánica de corte, la conducción de calor y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

optimización de la distribución de tensiones. La geometría de la herramienta (ángulo de entrada 30° - $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$, ángulo de inclinación posterior 5° - $15^{\circ} \pm 2^{\circ}$) y la ranura de escoria (profundidad de ranura 8 - $15 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, ancho de ranura 12 - $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, ángulo de inclinación 15° - $30^{\circ} \pm 2^{\circ}$) mejoran la eficiencia de excavación y la capacidad de descarga de escoria. Es adecuado para roca dura con una resistencia a la compresión de 100 - 350 MPa , roca blanda con un contenido de agua $>20\% \pm 5\%$, formación mixta con un contenido de arena $>10\% \pm 2\%$ y formación especial con una concentración de gas $>1\% \pm 0,2\%$. Se puede aplicar un recubrimiento multicapa (como TiN, TiAlN o CrN, espesor $0,5$ - $2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) en la superficie de la herramienta, y el coeficiente de fricción se reduce a $<0,25 \pm 0,05$, lo que mejora la resistencia al desgaste y la antiadherencia.

Las propiedades del material de las máquinas herramienta con escudo de carburo cementado
WC proporcionan una alta dureza (HV 1800 - 2200 ± 30 , localmente hasta 2400 - 2600 ± 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12 - $16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor pico hasta $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y absorbe la energía del impacto ($> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor pico instantáneo $> 200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad $14,8$ - $15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{H}_2\text{S} > 2500 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, resistencia a $\text{Cl}^- > 3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento del cortador de la máquina de escudo de carburo

: Bajo la acción de la rotación de la máquina de escudo (velocidad de rotación 500 - $1200 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo 500 - $1500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$) y empuje (100 - $300 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, hasta $500 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$), el cortador corta la superficie de la roca para formar ranuras continuas y rompe la roca por extrusión (presión de contacto 250 - $600 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento 70 - $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). La hoja de carburo soporta la principal carga de desgaste y calor (temperatura superficial 500 - $800^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantánea hasta $1000^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), y la matriz de acero proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40 - $50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 300 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño de eliminación de escoria de la herramienta logra una eliminación eficiente de escoria mediante ranuras espirales y diferencia de presión ($> 0,5 \text{ MPa} \pm 0,1 \text{ MPa}$), lo que reduce el riesgo de obstrucción en $< 5\% \pm 1\%$.

El rendimiento de la fresadora con escudo de carburo

supera las 500 - 800 ± 50 horas (dependiendo de las condiciones geológicas) en granito (resistencia a la compresión: 150 - 200 MPa), basalto (200 - 250 MPa), cuarcita (180 - 220 MPa) y pizarra (100 - 150 MPa). La vida útil optimizada de la herramienta supera las 500 - 800 ± 50 horas, y la eficiencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de excavación alcanza los $5-15 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ (hasta $20 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$, potencia $> 1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas obvias en la cuchilla, profundidad de desgaste $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (preferiblemente $< 0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ y la tensión residual es $< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las fresas con protección de carburo cementado

El contenido de Co de

$6\%-12\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del $10\% \pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un $5\% \pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Se prefiere $8\%-10\% \pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para rocas de dureza media, $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15\% \pm 3\%$ y reduce la tenacidad en un $10\% \pm 2\%$.

El ángulo de la cuchilla

de $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de excavación (fuerza de corte $< 15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, consumo de energía $< 70 \text{ kWh}/\text{m}^3 \pm 5 \text{ kWh}/\text{m}^3$), $> 50^\circ \pm 5^\circ$ reduce la capacidad de excavación en un $10\% \pm 2\%$, $< 30^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de astillamiento del $5\% \pm 1\%$. Un espesor de hoja de carburo

con tratamiento superficial de

$3-7 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (vida útil extendida en un $20\% \pm 3\%$), $< 3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20\% \pm 3\%$, $> 7 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el costo en un $15\% \pm 2\%$. El recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($< 0,3 \pm 0,05$), mejora la resistencia al calor ($> 700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) y la antiadherencia (índice de adhesión $< 2\% \pm 0,5\%$). El temple del acero del sustrato

tratado térmicamente

(dureza HRC $40-52 \pm 2$, profundidad $1,5-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) mejora el rendimiento del soporte, reduce la vida útil del sustrato no templado en un $15\% \pm 3\%$, el revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5\% \pm 1\%$ y la profundidad de la capa superficial endurecida es $> 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$. Un contenido de humedad

del entorno de trabajo

$> 20\% \pm 2\%$ o un contenido de arena $> 10\% \pm 1\%$ aumenta el desgaste en un $5\% \pm 1\%$, una temperatura $> 700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3\% \pm 1\%$, un entorno de H_2S o CO_2 (concentración $> 0,1\% \pm 0,02\%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$, un entorno que contiene gas requiere resistencia a explosiones ($> 2 \text{ bar} \pm 0,2 \text{ bar}$).

Los parámetros del equipo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

velocidad de propulsión $0,5-2 \text{ m/h} \pm 0,1 \text{ m/h}$, torque $1000-6000 \text{ kN}\cdot\text{m} \pm 100 \text{ kN}\cdot\text{m}$, potencia $500-1500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ afectan la vida útil y la eficiencia de la herramienta, los parámetros demasiado altos ($>\text{límite superior } 10\% \pm 1\%$) acortan la vida útil en un $15\% \pm 2\%$, aceleración de vibración $<20 \text{ m/s}^2 \pm 2 \text{ m/s}^2$.

Tipos de fresas para TBM

Las fresas para TBM (para tuneladoras, TBM) se clasifican en función de su diseño, finalidad y condiciones geológicas aplicables:

Fresas TBM de carburo - Fresa de disco único

Características: Una sola cuchilla de corte circular hecha de carburo cementado (como carburo de tungsteno) montada en un cabezal de corte para excavación en formaciones rocosas duras o medianamente duras.

Aplicación: Adecuado para condiciones estables de roca dura y una amplia gama de diámetros de corte.

Fresas TBM de carburo - Fresa de doble disco

Características: Diseño combinado de dos cuchillas de corte, eficiencia de corte mejorada y durabilidad, hecho de material de carburo.

Aplicación: Adecuado para rocas duras o formaciones mixtas para aumentar la estabilidad de corte.

Fresas TBM de carburo - Fresa de disco doble

Características: Dos juegos de cuchillas de corte están conectados en paralelo para optimizar la fuerza de corte y la resistencia al desgaste.

Aplicación: Adecuado para rocas de alta dureza (como el granito) para aumentar la velocidad de excavación.

Fresas TBM de carburo - Fresa de triple disco

Características: Tres cuchillas de corte combinadas para mejorar aún más las capacidades de corte.

Aplicación: Se utiliza en formaciones rocosas extremadamente duras o condiciones geológicas complejas.

Fresas TBM de carburo - Anillo de corte de disco

Características: La cuchilla de corte está diseñada con una estructura de anillo para mejorar el efecto de corte general.

Aplicación: Adecuado para excavación de túneles de gran diámetro para aumentar la uniformidad del corte.

Fresas TBM de carburo - Fresas raspadoras

Características: Diseño de hoja plana o curva, ángulo de hoja $30^\circ-45^\circ \pm 2^\circ$, espesor $15-30 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, recubrimiento de carburo para una mejor resistencia al desgaste, fuerte resistencia al impacto ($>100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$).

Aplicación: Adecuado para suelos blandos o estratos mixtos (resistencia a la compresión $50-150 \text{ MPa}$), especialmente estratos con contenido de arena $>10\% \pm 2\%$, y limpieza de estratos sueltos.

Herramienta TBM de carburo - Cuchilla de corte

Características: Diseño de hoja afilada, combinado con material de carburo, adecuado para formaciones blandas o semiduras.

Aplicación: Ayuda a cavar y cortar, reduce obstrucciones.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cortadores TBM de carburo - Cucharón

Características: Herramienta de corte con volumen para recogida y transporte de escombros de excavación, carburo para mayor durabilidad.

Aplicación: Formaciones blandas o mixtas, utilizar en conjunto con otras herramientas.

Cortadores TBM de carburo - Desgarrador

Características: Estructura afilada, combinada con aleación dura, adecuada para romper suelo duro o rocas ligeras.

Aplicación: Pretratamiento de formaciones duras, asistiendo a la herramienta de corte principal.

Cortadoras TBM de carburo - Cortadora de disco para roca dura

Características: Especialmente diseñado para rocas de alta dureza, diámetro exterior 200-400 mm $\pm$ 5 mm, espesor 20-50 mm $\pm$ 2 mm, filo con incrustaciones de capa de carburo, excelente resistencia al desgaste (vida útil > 600 horas $\pm$ 50 horas), excelente resistencia al desgaste y tenacidad al impacto.

Aplicación: Adecuado para granito, basalto y otras formaciones de alta dureza (resistencia a la compresión 150-350 MPa).

Puntas de corte de carburo

Características: Punta de carburo, instalada en varios cuchillos de corte, mejora la resistencia al desgaste y la capacidad de corte.

Aplicación: Ampliamente utilizado en todo tipo de herramientas de corte para prolongar su vida útil.

Fresas TBM de carburo - Fresa de corte mixto

Características: Diseño multifuncional, que combina carburo y diversas formas de corte, adaptándose a formaciones alternas blandas y duras.

Aplicación: Mixshield, utilizado para manejar geología compleja.

Fresas TBM de carburo - Fresa central

Características: Se utiliza en el área central del cabezal de corte, con un ángulo superior de 60°-90° $\pm$ 5°, un espesor de 25-40 mm $\pm$ 2 mm, capacidad mejorada para romper rocas en el centro y una vida útil de >500 horas $\pm$ 50 horas.

Aplicación: Adecuado para zonas de fallas o formaciones acuíferas (resistencia a la compresión 100-200 MPa).

Herramienta TBM de carburo - Corte lateral

Características: Se utiliza para el borde del cabezal de corte, ángulo de la cuchilla 25°-35° $\pm$ 2°, espesor 20-35 mm $\pm$ 1 mm, corte lateral optimizado y eliminación de escoria, resistencia al desgaste >95% $\pm$ 2%.

Aplicación: Adecuado para la estabilización de paredes laterales de túneles (resistencia a la compresión 100-250 MPa).

Fresa de carburo para tuneladora - Fresa especial

Características: incluye herramientas resistentes a bajas temperaturas (-50 °C $\pm$ 5 °C, resistencia al desgaste mantenida al 90 % $\pm$ 5 %) y herramientas resistentes a alta presión (resistencia a la presión > 100 MPa $\pm$ 5 MPa), fabricadas con material de carburo cementado.

Aplicación: Para hacer frente a condiciones geológicas extremas, como entornos de baja temperatura o formaciones de alta presión.

Estos tipos de cortadores se seleccionan y configuran según las condiciones geológicas (como roca

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dura, suelo blando, estratos mixtos) y el tipo de máquina de escudo (como escudo simple, escudo doble, EPB, equilibrio de presión de tierras, etc.). El uso de materiales de carburo cementado mejora significativamente la resistencia al desgaste, la resistencia al impacto y la vida útil del cortador, y promueve la excavación eficiente de las máquinas de escudo en diversos proyectos.

Aplicación de cortadores de máquina con protección de carburo

Los túneles subterráneos

se utilizan para la excavación en roca dura (resistencia a la compresión de 100-250 MPa), con una vida útil de 500-800 horas $\pm$ 50 horas, soportando condiciones geológicas complejas como zonas de fallas (desplazamiento $> 1 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$) o áreas de chorro de agua (presión de agua $> 1 \text{ MPa} \pm 0,1 \text{ MPa}$), de acuerdo con la norma EN 1997-1. Caso 2024: Línea 18 del metro de Shanghai, velocidad de excavación de $1,5 \text{ m/h} \pm 0,1 \text{ m/h}$, ciclo de reemplazo de herramientas de 600 horas $\pm$ 50 horas.

Los túneles de carretera

se utilizan en el túnel Shiquanhe del ferrocarril Sichuan-Tíbet (resistencia a la compresión de 200-300 MPa), resistencia al impacto ($> 50 \text{ J}$, valor pico de hasta $200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$) para garantizar una excavación eficiente, de acuerdo con la norma JTG 3370.1. Profundidad de excavación del proyecto 2023: $1200 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$, resistencia al desgaste de la herramienta $> 98 \% \pm 1 \%$.

Los proyectos hidroeléctricos

se utilizan para túneles de desviación de agua (diámetro de $6-12 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$) y cimentaciones de centrales eléctricas subterráneas. Son resistentes a la erosión hídrica ($> 2500 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$) y soportan una operación a largo plazo, cumpliendo con la norma IEC 60041. En 2024, el cortador del proyecto de seguimiento de las Tres Gargantas soportará una presión de agua de $2 \text{ MPa} \pm 0,1 \text{ MPa}$. Se utilizan

galerías de tuberías subterráneas urbanas

para la excavación en capas de suelo duro (resistencia a la compresión de 50-150 MPa) o capas de roca para reducir el asentamiento del terreno ($< 5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), de acuerdo con la norma GB 50909. En 2025, el asentamiento de un proyecto de galería de tuberías en Pekín se controló a $< 3 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, y la vida útil de las herramientas fue de $550 \pm 50 \text{ horas}$.

Los túneles marinos

se utilizan en túneles submarinos (como el tramo submarino del puente Hong Kong-Zhuhai-Macao), resistentes a la corrosión por agua de mar ($> 4000 \pm 100 \text{ horas}$, resistencia a una concentración de $\text{Cl}^- > 3,5 \% \pm 0,5 \%$) y cumplen con la norma DNVGL-RP-C203. La profundidad de excavación del proyecto de 2023 fue de $1800 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$, y la resistencia a la corrosión de las herramientas de corte fue $> 99 \% \pm 1 \%$.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de las fresas con protección de carburo cementado

El nuevo material

introduce nano-WC (grano $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza ($\text{HV } 2200-2600 \pm 50$), y agrega TaC ($1 \% - 3 \% \pm 0,1 \%$) y NbC ($0,5 \% - 1,5 \% \pm 0,1 \%$) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ mantiene el $95 \% \pm 2 \%$) y la resistencia a la oxidación (ganancia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de peso de oxígeno $< 0,15 \% \pm 0,05 \%/h$).

de monitoreo inteligente

(como medidores de tensión piezoeléctricos, precisión $\pm 0.05\%$) y los módulos IoT monitorean el desgaste (profundidad $> 1.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$), la vibración (aceleración $< 15 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$) y la temperatura ($> 700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) en tiempo real, y optimizan los ciclos de reemplazo (error de predicción $< 5\% \pm 1\%$).

La tecnología de impresión 3D

utiliza fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $40\text{-}60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar estructuras de herramientas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$. Logros de China Railway Construction en 2024: la resistencia de las herramientas impresas alcanza los $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ y la rugosidad de la superficie es $< 1.6 \mu\text{m} \pm 0.2 \mu\text{m}$.

Adaptabilidad ambiental:

Desarrollo de herramientas resistentes a bajas temperaturas ($-50^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$), adecuadas para ingeniería polar (la resistencia al desgaste se mantiene en un $90\% \pm 5\%$, tenacidad al impacto $> 150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$); se utilizan herramientas resistentes a altas presiones (resistencia a la presión $> 100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) para operaciones en aguas profundas.

Sostenibilidad: El uso de polvo de WC reciclado (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) y los procesos de fabricación ecológicos reducen la huella de carbono (reducción de las emisiones de CO_2 en un $20\% \pm 3\%$) de acuerdo con las normas ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales pertinentes

La producción y el uso de herramientas de corte deben cumplir diversas normas internacionales y nacionales, como la EN 1997-1 (diseño de cimentaciones europeas), la ISO 45001 (seguridad y salud laboral), la JTG 3370.1 (diseño de túneles de carretera en China), la GB 50909 (diseño de espacios subterráneos en China), la AS 2294 (seguridad minera australiana), la DNVGL-RP-C203 (código noruego para operaciones offshore) y la IEC 60079 (atmósferas explosivas). Actualizada en 2025: la ISO 19443 incorpora normas relacionadas con la eliminación de residuos nucleares y añade nuevos requisitos de resistencia a gases.

El desgaste excede el límite (profundidad $> 6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) tasa de reemplazo $> 98\% \pm 1\%$, tasa de accidentes $< 0,1\% \pm 0,05\%$ (principalmente lesiones por astillado o salpicaduras), los operadores deben usar equipo de protección (gafas resistentes a impactos, cascos, de acuerdo con la norma EN 397, resistencia al impacto $> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$). El entorno de alta temperatura ($> 700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) debe estar equipado con un sistema de refrigeración y equipo de ventilación para reducir el riesgo de estrés térmico en un $5\% \pm 1\%$ y el riesgo de acumulación de gas en $< 3\% \pm 0,5\%$. Estadísticas en 2024: La proporción de accidentes globales relacionados con herramientas de protección es $< 0,05\% \pm 0,01\%$, principalmente debido al mantenimiento insuficiente y a los cambios geológicos repentinos.

Las normativas pertinentes

cumplen con el Reglamento REACH de la UE (Registro, Evaluación y Autorización de Sustancias Químicas) y la Directiva RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas). En 2025, el aumento 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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

costes derivado del impuesto sobre las emisiones de carbono será inferior al 5 % $\pm$ 1 %, y se añadirá una nueva norma de protección del medio marino (IMO MEPC.277 (70)).

Las máquinas cortadoras de carburo con escudo se han convertido en un componente esencial de los equipos de escudo modernos gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas, su rica clasificación, sus amplios escenarios de aplicación, su continua innovación tecnológica y su adaptabilidad ambiental. Han impulsado la mejora de la eficiencia en la construcción de infraestructuras, el desarrollo sostenible del espacio subterráneo urbano y los avances en la ingeniería de aguas profundas, a la vez que ofrecen un sólido soporte técnico para afrontar condiciones geológicas complejas y entornos extremos.



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



Dientes de bola para cimentación de pilotes de plataforma de perforación rotatoria de carburo

Los dientes de bola de carburo para cimentación de pilotes de plataformas de perforación rotatoria son un componente clave de excavación, diseñado para plataformas de perforación rotatoria (Rotary Drilling Rig) en proyectos de cimentación de pilotes. Están diseñados para romper formaciones rocosas duras, formaciones complejas o condiciones geológicas mixtas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico y tratamiento superficial optimizados, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión, garantizando alta eficiencia y confiabilidad en ambientes de alta presión, alta vibración y humedad. Como componente importante de las herramientas de perforación de plataformas de perforación rotatoria, los dientes de bola afectan directamente la eficiencia de perforación, la calidad de la cimentación de pilotes y los costos del proyecto, y son ampliamente utilizados en proyectos de cimentación de pilotes como edificios de gran altura, puentes, puertos y soporte de fosos de cimentación profunda.

Dientes de bola de carburo cementado para cimentación de pilotes de plataformas de perforación rotatoria.

Estos dientes de bola utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, y se complementan con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del diente esférico es esférico o hemisférico, con un diámetro de punta de $15-30\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ y una altura de $20-40\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$. Se instala en la base de la broca o en el cubo de perforación (fabricado en acero de aleación de alta resistencia, como 40CrMo o 42CrMo, con una dureza de temple de HRC $40-52 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura de $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o incrustación mecánica (fuerza de incrustación $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable con un par elevado ($100-600\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o CrN, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie del diente esférico, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, mejorando la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resistencia al desgaste y la antiadherencia. El diseño integra la mecánica de corte y la optimización de la distribución de tensiones. El ángulo de entrada en roca del diente esférico es de $30^{\circ}-45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y el ángulo de inclinación posterior es de $5^{\circ}-15^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Es adecuado para roca dura con una resistencia a la compresión de 100-300 MPa, suelo blando con un contenido de agua de $>20\% \pm 5\%$ o formaciones mixtas con un contenido de arena de $>10\% \pm 2\%$.

Dientes de bola para cimentación de pilotes de plataforma de perforación rotatoria de carburo

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{1c} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y absorbe la energía del impacto (>50 J ± 5 J, valor máximo instantáneo >200 J ± 10 J). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1$ g/cm 3 , coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr $_3$ C $_2$ genera una capa protectora de Cr $_2$ O $_3$ (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01$ mm/año $\pm 0,001$ mm/año, resistencia a H $_2$ S > 2500 horas ± 100 horas, resistencia a Cl $^-$ > 3000 horas ± 100 horas); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el 90 % $\pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

de la plataforma de perforación rotatoria (velocidad de rotación 20-60 rpm ± 5 rpm, dependiendo de la potencia del equipo 200-1000 kW ± 50 kW) y la presión de perforación (50-300 kN ± 5 kN, hasta 500 kN ± 10 kN), los dientes de bola cortan la formación para formar una zona de trituración y trituran la roca o el suelo mediante extrusión (presión de contacto 250-600 MPa ± 20 MPa) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento 70-150 MPa ± 5 MPa). La punta del diente esférico soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura superficial 500-800 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantáneamente hasta 1000 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), y el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción > 1200 MPa ± 50 MPa), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m $\cdot\text{K} \pm 2$ W/m $\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica > 300 MPa ± 20 MPa). El diseño esférico del diente esférico reduce la tensión lateral (< 100 MPa ± 10 MPa) y optimiza la eficiencia de eliminación de escoria (tasa de eliminación de escoria $> 90\% \pm 2\%$).

En condiciones de granito (resistencia a la compresión 150-200 MPa), basalto (200-250 MPa), cuarcita (180-220 MPa) y roca medianamente meteorizada (100-150 MPa), la vida útil optimizada de los dientes de bola supera las 400-700 horas ± 50 horas (dependiendo de las condiciones geológicas), y la eficiencia de perforación alcanza los 8-20 m/h ± 1 m/h (hasta 25 m/h ± 1 m/h, potencia > 800 kW ± 50 kW). El análisis SEM no muestra grietas obvias en la punta, profundidad de desgaste $< 0,05$ mm $\pm 0,01$ mm (preferiblemente $< 0,03$ mm $\pm 0,01$ mm), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que la distribución de la tensión térmica es $< 150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de

los dientes de bola de cimentación de pilotes de plataformas de perforación rotatorias de carburo

El contenido de Co de

6%-12%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del 10%±2% en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5%±1% y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Se prefiere 8%-10%±0,5% para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para rocas de dureza media, $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un 15 % ± 3 % y reduce la tenacidad en un 10 % ± 2 %.

El ángulo geométrico

de entrada en la roca de $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de perforación (fuerza de corte $< 15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, consumo de energía $< 60 \text{ kWh/m}^3 \pm 5 \text{ kWh/m}^3$), $> 50^\circ \pm 5^\circ$ reduce la capacidad de perforación en un 10 % ± 2 %, $< 30^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a

un riesgo de colapso del diente del 5 % ± 1 %. **El tratamiento superficial**

del diente esférico con un espesor de $3-6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil en un 20 % ± 3 %), $< 3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un 20 % ± 3 %, $> 6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ El coste de mm aumenta en un 15 % ± 2 %. El recubrimiento de TiN (espesor $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($< 0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($> 700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC $40-52 \pm 2$, profundidad $1,5-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil de la base sin temprar se reduce en un 15 % ± 3 % y el revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 2-4 horas ± 0,5 horas) reduce la tensión residual en un 5 % ± 1 %. El contenido de humedad

en el entorno de trabajo

$> 20\% \pm 2\%$ o el contenido de arena $> 10\% \pm 1\%$ aumenta el desgaste en un 5% ± 1%, la temperatura $> 700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un 3% ± 1% y la tasa de corrosión en el entorno que contiene H_2S o CO_2 (concentración $> 0,1\% \pm 0,02\%$) aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo como

la presión de perforación $50-300 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, la velocidad $20-60 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ y el torque $100-600 \text{ kN} \cdot \text{m} \pm 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$ afectan la vida útil y la eficiencia de los dientes de bola. Los parámetros excesivos ($> \text{límite superior } 10\% \pm 1\%$) acortan la vida útil en un 15% ± 2%.

estándar

de carburo para cimentación de pilotes de plataformas de perforación

son adecuados para rocas de dureza media (resistencia a la compresión de 100-200 MPa), con un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diámetro de 20-25 mm $\pm$ 1 mm y una altura de 25-35 mm $\pm$ 2 mm, y presentan una excelente resistencia al desgaste (vida útil $>$ 500 horas $\pm$ 50 horas). Se utilizan comúnmente en arenisca o rocas de meteorización media.

Los botones reforzados

son adecuados para rocas duras (resistencia a la compresión de 200-300 MPa), con un diámetro de 25-30 mm $\pm$ 1 mm y una altura de 30-40 mm $\pm$ 2 mm, y presentan una alta resistencia al impacto ($>$ 100 J $\pm$ 10 J). Son adecuados para basalto o granito.

Los botones resistentes a la corrosión

se utilizan en formaciones portadoras de agua o sal, con revestimiento de superficie TiAlN (resistencia al Cl^- $>$ 3000 horas $\pm$ 100 horas), diámetro 15-20 mm $\pm$ 1 mm, altura 20-30 mm $\pm$ 2 mm, resistencia a la corrosión $>$ 99% $\pm$ 1%, adecuados para cimentaciones de pilotes de puertos.

Los dientes de bola especiales

incluyen tipos resistentes a bajas temperaturas ($-50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, resistencia al desgaste mantenida al 90 % $\pm$ 5 %) y resistentes a altas temperaturas ($>$ 900 $^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ mantenidos al 95 % $\pm$ 2 %), adecuados para formaciones polares o de alta temperatura.

Aplicación de

los dientes de bola de carburo para cimientos de pilotes de plataformas de perforación rotatorias Los edificios de gran altura

se utilizan para cimientos de pilotes de roca dura (resistencia a la compresión de 150-250 MPa), con una vida útil de 500-700 horas $\pm$ 50 horas, que soportan estratos complejos como zonas de falla, de acuerdo con las normas GB 50007.

La ingeniería de puentes

se utiliza para cimientos de pilotes de puentes fluviales (resistencia a la compresión de 200-300 MPa), con resistencia al impacto ($>$ 50 J, pico 200 J $\pm$ 10 J) para garantizar una perforación eficiente, de acuerdo con las normas JTG 3362.

La construcción portuaria

se utiliza para cimientos de pilotes submarinos, resistentes a la corrosión del agua de mar ($>$ 4000 horas $\pm$ 100 horas, resistencia a la concentración de Cl^- $>$ 3,5 % $\pm$ 0,5 %), cumpliendo con las normas DNVGL-RP-C203.

El soporte de cimentación profunda

se utiliza para estratos con una resistencia a la compresión de 100-200 MPa, lo que reduce el asentamiento ($<$ 5 mm $\pm$ 1 mm), de acuerdo con la norma GB 50911.

Polar Engineering

se utiliza en entornos de baja temperatura ($-50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), con una resistencia al desgaste del 90 % $\pm$ 5 %, y la eficiencia de perforación se probó en 2025 a 10 m/h $\pm$ 1 m/h.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro

Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano $<$ 0,5 $\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 $\pm$ 50), agregan TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura ($>$ 900 $^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para mantener el 95 % $\pm$ 2 %). Sensor integrado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0,05\%$) monitoreo en tiempo real del desgaste (profundidad $> 1,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la vibración ($< 15\text{ m/s}^2 \pm 1\text{ m/s}^2$), optimizan el ciclo de reemplazo (error $< 5\% \pm 1\%$).

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) para fabricar dientes de bola complejos, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

La adaptabilidad ambiental desarrolla dientes de bola resistentes a baja temperatura y alta presión (resistencia a la presión $> 100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$). El reciclaje

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 $20\% \pm 3\%$) de conformidad con las normas ISO 14040.

Las normas nacionales e internacionales pertinentes

cumplen con GB 50007 (cimientos de edificios), JTG 3362 (puentes de carreteras), GB 50911 (pozos de cimentación profunda) y DNVGL-RP-C203 (reglas de ingeniería marina).



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

Dientes de bola para perforación de túneles con pernos de carburo

Los dientes de bola de carburo para excavación de túneles con empernador y rozadora son un componente esencial de excavación diseñado para rozadoras en minas de carbón, túneles y construcción de carreteras. Están diseñados para triturar formaciones rocosas duras, formaciones complejas o mezclas de carbón y roca. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión, asegurando alta eficiencia y confiabilidad en entornos con alto contenido de polvo, humedad y vibración. Como componente importante del cabezal de corte del empernador, los dientes de bola afectan directamente la eficiencia de excavación, la calidad de la carretera y la seguridad de la construcción, y son ampliamente utilizados en la minería de carbón, túneles subterráneos y construcción de minas. De acuerdo con la información más reciente sobre toda la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, detalles técnicos y aplicaciones de los dientes de bola.

Dientes de bola de carburo cementado para empernadores de túneles de excavación.

Estos dientes de bola utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, y se complementan con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de los dientes esféricos es esféricos o hemisféricos, con un diámetro de punta de $15-25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ y una altura de $20-35\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$. Se instalan en la base del cabezal de corte del empernador (fabricado en acero de aleación de alta resistencia, como 40CrMo o 42CrMo, con una dureza de temple de HRC $40-52 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura de $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o incrustación mecánica (fuerza de incrustación $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable con un par elevado ($200-800\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o CrN, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie de los dientes de bola para reducir el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, mejorar la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<2\% \pm 0,5\%$). El diseño integra la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mecánica de corte y la optimización de la distribución de tensiones. El ángulo de entrada del diente de bola es de $30^{\circ}-45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y el ángulo de inclinación posterior es de $5^{\circ}-15^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Es adecuado para roca de carbón con una resistencia a la compresión de 50-250 MPa, roca blanda con un contenido de agua de $>15 \% \pm 5 \%$ o formaciones especiales con una concentración de gas de $>1 \% \pm 0,2 \%$.

de tuneladora empernadora de carburo cementado

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y absorbe la energía del impacto ($>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $>200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{H}_2\text{S} > 2500 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

de la rotación del empernador (velocidad 30-80 rpm $\pm 5 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo 300-1200 kW $\pm 50 \text{ kW}$) y la fuerza de corte (50-250 kN $\pm 5 \text{ kN}$, hasta 400 kN $\pm 10 \text{ kN}$), los dientes de bola cortan la roca de carbón o la formación rocosa para formar una zona de trituración y trituran el material mediante extrusión (presión de contacto 200-500 MPa $\pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento 60-120 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$). La punta del diente esférico soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura superficial 500-800 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantáneamente hasta 1000 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), y el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m $\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 250 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño esférico del diente esférico reduce la tensión lateral ($< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$), optimiza la eficiencia de eliminación de escoria (tasa de eliminación de escoria $> 90 \% \pm 2 \%$) y reduce el riesgo de acumulación de polvo $< 5 \% \pm 1 \%$.

En vetas de carbón (resistencia a la compresión 50-100 MPa), arenisca (120-180 MPa), caliza (150-220 MPa) y pizarra (100-150 MPa), la vida útil optimizada de los dientes de bola supera las 400-600 horas $\pm 50 \text{ horas}$ (dependiendo de las condiciones geológicas), y la eficiencia de excavación alcanza los 5-15 m $^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ (hasta 20 m $^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$, potencia $>1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas obvias en la punta, profundidad de desgaste $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$) y la imagen térmica muestra una distribución de tensión térmica $<150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Un contenido de Co del 6%-12%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, <6%±1% conduce a un aumento en la tasa

de

agrietamiento del 10%±2%, >12%±1% reduce la dureza en un 5%±1% y aumenta la expansión térmica ($CTE 6 \times 10^{-6} / ^\circ C \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ C$), y se prefiere del 8%-10%±0,5% para tener en cuenta tanto el rendimiento como el costo.

El tamaño de grano

de 0,5-1 $\mu m \pm 0,01 \mu m$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,03 mm^3 / N \cdot m \pm 0,01 mm^3 / N \cdot m$), 1-1,5 $\mu m \pm 0,01 \mu m$ es adecuado para rocas de dureza media, >2 $\mu m \pm 0,01 \mu m$ aumenta la tasa de desgaste en un 15 % ± 3 % y reduce la tenacidad en un 10 % ± 2 %.

El ángulo geométrico

de entrada a la roca de $30^\circ - 45^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de excavación (fuerza de corte $<15 kN \pm 1 kN$, consumo de energía $<50 kWh/m^3 \pm 5 kWh/m^3$), $>50^\circ \pm 5^\circ$ reduce la capacidad de excavación en un 10 % ± 2 %, $<30^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a

un riesgo de colapso del diente del 5 % ± 1 %. El espesor del diente de bola **de tratamiento superficial**

3-6 mm ± 0,1 mm mejora la resistencia al desgaste (vida útil extendida en un 20% ± 3%), <3 mm ± 0,1 mm acorta la vida útil en un 20% ± 3%, >6 mm ± 0,1 mm El costo de mm aumenta en un 15% ± 2%.

El recubrimiento de TiN (espesor 0,5-1 $\mu m \pm 0,1 \mu m$, temperatura de deposición $400-500^\circ C \pm 20^\circ C$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($>700^\circ C \pm 20^\circ C$). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC 40-52 ± 2, profundidad 1,5-3 mm ± 0,2 mm, temperatura de temple $850-900^\circ C \pm 20^\circ C$) para mejorar el rendimiento de soporte. La vida útil de la base sin templar se reduce en un 15% ± 3%. El revenido ($200-250^\circ C \pm 10^\circ C$, 2-4 horas ± 0,5 horas) reduce la tensión residual en un 5 % ± 1 %. Un contenido de humedad

en el entorno de trabajo

> 15 % ± 2 % o un contenido de polvo > 10 % ± 1 % aumentan el desgaste en un 5 % ± 1 %. Una temperatura $> 700^\circ C \pm 50^\circ C$ reduce la dureza en un 3 % ± 1 %. La tasa de corrosión en entornos con H_2S o CO_2 (concentración $> 0,1 \% \pm 0,02 \%$) aumenta a 0,015 mm/año ± 0,002 mm/año. Los entornos con gas requieren resistencia a explosiones ($> 2 bar \pm 0,2 bar$).

Parámetros del equipo:

velocidad de corte de 0,5 a 2 m/min ± 0,1 m/min, par de torsión de 200 a 800 kN·m ± 50 kN·m y potencia de 300 a 1200 kW ± 50 kW, lo que afecta la vida útil y la eficiencia del engranaje de bolas. Un exceso de parámetros (superior al 10 % ± 1 %) reduce la vida útil en un 15 % ± 2 %.

Dientes de bola de carburo para excavación de túneles con pernos

Los dientes de bola estándar

son adecuados para vetas de carbón o rocas blandas (resistencia a la compresión de 50-100 MPa), con un diámetro de 15-20 mm ± 1 mm, una altura de 20-25 mm ± 2 mm, excelente resistencia al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desgaste (vida útil > 400 horas $\pm$ 50 horas) y se utilizan comúnmente en túneles de minas de carbón. En 2024, la eficiencia de excavación de un proyecto de mina de carbón fue de $10 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Los dientes de bola reforzados

son adecuados para rocas duras (resistencia a la compresión de 150-250 MPa), con un diámetro de $20-25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, una altura de $25-35 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, fuerte resistencia al impacto ($> 100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$) y son adecuados para arenisca o caliza. En 2023, la vida útil de un proyecto de túnel era de 500 ± 50 horas. Se utilizan

dientes de bola resistentes a la corrosión

en formaciones acuíferas o gasíferas, con un recubrimiento superficial de TiAlN (resistente al H_2S $> 2500 \pm 100$ horas), un diámetro de $15-18 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, una altura de $20-30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ y una resistencia a la corrosión de $> 98 \% \pm 1 \%$, aptos para túneles húmedos. En 2025, una mina soportará una presión de agua de $1 \text{ MPa} \pm 0,1 \text{ MPa}$.

Los dientes de bola especiales

incluyen tipos resistentes a bajas temperaturas ($-20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, la resistencia al desgaste se mantiene en $90 \% \pm 5 \%$) y resistentes a altas temperaturas ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ se mantiene en $95 \% \pm 2 \%$), adecuados para minas polares o formaciones de alta temperatura, con una vida útil de prueba de $550 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$ en 2025.

Los túneles de minas de carbón

se

utilizan para la excavación de vetas de carbón (resistencia a la compresión de 50-100 MPa), con una vida útil de $400-600 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, soportando estratos que contienen gas (concentración $> 1 \% \pm 0,2\%$), de acuerdo con las normas MT 554. En 2024, la profundidad de excavación de una mina de carbón en Shanxi fue de $500 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$.

Los túneles subterráneos

se utilizan en túneles de roca dura (resistencia a la compresión de 150-250 MPa), y la resistencia al impacto ($> 50 \text{ J}$, pico $200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$) garantiza una excavación eficiente, de acuerdo con las normas EN 1997-1. En 2023, la velocidad de excavación del proyecto del Metro de Shanghai fue de $1 \text{ m/min} \pm 0,1 \text{ m/min}$.

El soporte de mina

se utiliza en estratos con una resistencia a la compresión de 100-200 MPa, lo que reduce el riesgo de colapso ($< 5 \% \pm 1 \%$) y cumple con las normas GB 16423. En 2024, la estabilidad de un túnel de mina es $> 98 \% \pm 1 \%$.

El túnel hidrológico

se utiliza en estratos acuíferos, resistentes a la erosión hídrica ($> 2000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$), de acuerdo con la norma IEC 60041. En 2025, la resistencia a la presión del agua de un proyecto de central hidroeléctrica es de $1,2 \text{ MPa} \pm 0,1 \text{ MPa}$.

Los estratos complejos

se utilizan en zonas de falla o estratos arenosos, con una resistencia a la abrasión $> 95 \% \pm 2 \%$. En 2025, la eficiencia de excavación se probó en $12 \text{ m}^3 / \text{h} \pm 1 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro.

Los nuevos materiales

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

incorporan nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 ± 50), y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($>900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ para mantener el 95 % ± 2 %). Investigación en 2024: Antioxidación del

recubrimiento de ZrC (aumento de peso del oxígeno $<0,15\% \pm 0,05\%/\text{h}$). Sensor integrado **de monitoreo inteligente**

(precisión $\pm 0.05\%$) monitoreo en tiempo real del desgaste (profundidad $>1.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$) y vibración ($<15 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$), optimiza el ciclo de reemplazo (error $<5\% \pm 1\%$), y una empresa lo probó con éxito en 2025.

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{-}60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar dientes de bola complejos, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$, y la resistencia alcanzará $1400 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ en 2024.

Adaptabilidad ambiental:

Desarrollar dientes de bola resistentes a baja temperatura y alta presión (resistencia a la presión $>80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), con una resistencia a la presión que alcance el $97\% \pm 2\%$ en 2025. El reciclaje **sostenible**

de polvo de WC (tasa de reciclaje $>80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (Reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), en cumplimiento con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales. Las normas nacionales e internacionales cumplen con las normas MT 554 (seguridad en minas de carbón), EN 1997-1 (cimentaciones europeas), GB 16423 (soporte minero) e IEC 60079 (atmósferas explosivas). En 2025, se añadirán nuevas normas antiguas.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

Fresadora de carburo para carreteras, dientes de fresado

Los dientes de carburo para fresadoras de carreteras son herramientas de corte de alta eficiencia diseñadas para fresadoras de carreteras (Cold Planer) que procesan hormigón asfáltico, base de piedra triturada o superficies de carreteras envejecidas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y un recubrimiento resistente al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, al impacto y a la corrosión, garantizando así una alta eficiencia y fiabilidad en entornos de alta carga, alta temperatura y alto polvo. Como componente clave del tambor de la fresadora de carreteras, los dientes de fresado influyen directamente en la eficiencia de fresado, la planitud de la superficie y el coste de construcción, y se utilizan ampliamente en el mantenimiento de carreteras, la renovación de pistas de aeropuertos y el mantenimiento de carreteras urbanas. De acuerdo con la información más reciente sobre la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes de fresado.

Propiedades físicas y químicas de los dientes de fresado de carburo cementado para fresadoras de carreteras

Los dientes de fresado de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\% - 2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de los dientes de fresado suele ser puntiagudo o redondeado, con un diámetro de punta de $10-20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ y una altura de $20-40\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, montados sobre un sustrato de tambor (hecho de acero de aleación de alta resistencia, como 40CrMo o 42CrMo, con una dureza de temple de HRC $40-52 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable con un par elevado ($500-1500\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o CrN, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie de la punta del diente, lo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que reduce el coeficiente de fricción a $< 0,25 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $< 2 \% \pm 0,5 \%$). El diseño integra la mecánica de corte y la optimización de la conducción térmica, con un ángulo de corte de la punta del diente de 20° - $40^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y un ángulo de inclinación posterior de 5° - $15^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Es adecuado para capas de asfalto (resistencia a la compresión de 5-15 MPa), hormigón de cemento (20-50 MPa) y capas base mixtas.

Características de los dientes de fresado de las fresadoras de carreteras de carburo

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{1c} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y absorbe la energía del impacto ($>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $>200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), lo que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia al $\text{Cl}^- > 3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantienen el $90 \% \pm 2 \%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95 \% \pm 2 \%$).

Principio de funcionamiento de los dientes de fresado de fresadoras de carreteras de carburo cementado.

De la rotación del tambor de la fresadora de carreteras (velocidad 100-300 rpm $\pm 10 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo 200-1000 kW $\pm 50 \text{ kW}$) y la fuerza de corte (50-200 kN $\pm 5 \text{ kN}$, hasta 300 kN $\pm 10 \text{ kN}$), los dientes de fresado cortan en la superficie de la carretera para formar una superficie de fresado continua y trituran el asfalto o el hormigón mediante extrusión (presión de contacto 150-400 MPa $\pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al corte 50-100 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$). La punta del diente soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura superficial 400-700 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantáneamente hasta 900 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m $\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño puntiagudo de la punta del diente optimiza la eficiencia de corte (profundidad de fresado 5-15 cm $\pm 1 \text{ cm}$), y el diseño redondeado reduce la vibración (aceleración $< 10 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$).

En las condiciones del pavimento asfáltico (resistencia a la compresión 5-10 MPa), hormigón de cemento (20-40 MPa) y base mixta (10-20 MPa), la vida útil optimizada del diente de fresado supera las 300-500 horas $\pm 50 \text{ horas}$ (dependiendo de la dureza del material), y la eficiencia de fresado alcanza los 200-500 m $^2/\text{h} \pm 20 \text{ m}^2/\text{h}$ (hasta 600 m $^2/\text{h} \pm 20 \text{ m}^2/\text{h}$, potencia $>800 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas obvias en la punta del diente, profundidad de desgaste $<0,05$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm±0,01 mm (preferiblemente <0,03 mm±0,01 mm), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC (>95%±2%), y la termografía muestra que la distribución de la tensión térmica es <120 MPa±10 MPa.

Factores que afectan el rendimiento de

los dientes de fresado de las fresadoras de carreteras de carburo cementado Un contenido de Co del

6%-12%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, <6%±1% conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento del 10%±2%, >12%±1% reduce la dureza en un 5%±1% y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), y se prefiere del 8%-10%±0,5% para tener en cuenta tanto el rendimiento como el costo.

El tamaño de grano

de 0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste <0,03 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), 1-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para carreteras de dureza media, >2 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un 15 % ± 3 % y reduce la tenacidad en un 10 % ± 2 %. El ángulo de corte

del ángulo geométrico

de 20°-40° ± 5° optimiza la eficiencia de fresado (fuerza de corte <15 kN ± 1 kN, consumo de energía <20 kWh/m³ ± 2 kWh/m³), >45° ± 5° reduce la eficiencia en un 10 % ± 2 %, <20° ± 5° conduce fácilmente a un riesgo de colapso del diente del 5 % ± 1 %.

El tratamiento superficial

de la punta del diente con un espesor de 3-5 mm ± 0,1 mm mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil en un 20 % ± 3 %), <3 mm ± 0,1 mm acorta la vida útil en un 20 % ± 3 %, >5 mm ± 0,1 mm El costo de mm aumenta en un 15 % ± 2 %. El recubrimiento de TiN (espesor 0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición 400-500 °C ± 20 °C) reduce el coeficiente de fricción (<0,3 ± 0,05) y mejora la resistencia al calor (>700 °C ± 20 °C). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC 40-52 ± 2, profundidad 1,5-3 mm ± 0,2 mm, temperatura de temple 850-900 °C ± 20 °C) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil de la base sin temprar se reduce en un 15 % ± 3 % y el revenido (200-250 °C ± 10 °C, 2-4 horas ± 0,5 horas) reduce la tensión residual en un 5 % ± 1 %.

La temperatura del entorno de trabajo

> 600 °C ± 50 °C reduce la dureza en un 3 % ± 1 %, el contenido de agua > 10 % ± 2 % o el contenido de arena > 5 % ± 1 % aumenta el desgaste en un 5 % ± 1 %, y el entorno que contiene Cl⁻ (concentración > 0,5 % ± 0,1 %) aumenta la tasa de corrosión a 0,015 mm/año ± 0,002 mm/año.

Parámetros del equipo

: velocidad de fresado de 0,5 a 2 m/min ± 0,1 m/min, par de 500 a 1500 kN·m ± 50 kN·m y potencia de 200 a 1000 kW ± 50 kW, lo que afecta la vida útil y la eficiencia del diente. Parámetros demasiado altos (>límite superior 10 % ± 1 %) reducen la vida útil en un 15 % ± 2 %.

Tipos de dientes de fresado para fresadora de carreteras de carburo Los dientes de fresado estándar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

son adecuados para pavimento asfáltico (resistencia a la compresión de 5 a 10 MPa), con un diámetro de 12 a 15 mm $\pm$ 1 mm, una altura de 20 a 25 mm $\pm$ 2 mm, excelente resistencia al desgaste (vida útil > 350 horas $\pm$ 50 horas) y se utilizan comúnmente en el mantenimiento de carreteras.

Los dientes de fresado reforzados

son adecuados para hormigón de cemento (resistencia a la compresión 20-50 MPa), con un diámetro de 15-20 mm $\pm$ 1 mm, una altura de 25-40 mm $\pm$ 2 mm, fuerte resistencia al impacto (> 100 J $\pm$ 10 J), y son adecuados para pistas de aeropuertos.

Los dientes de fresado resistentes a la corrosión

se utilizan para carreteras saladas o que contienen agua, con revestimiento de superficie TiAlN (resistencia al Cl⁻ > 3000 horas $\pm$ 100 horas), diámetro 10-12 mm $\pm$ 1 mm, altura 20-30 mm $\pm$ 2 mm, resistencia a la corrosión > 99% $\pm$ 1%, adecuado para carreteras costeras.

Los dientes de fresado especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas (> 900 °C $\pm$ 20 °C mantienen el 95 % $\pm$ 2 %) y resistentes al desgaste, adecuados para carreteras de alta temperatura o altamente abrasivas.

Aplicación de los dientes de fresado de la fresadora de carreteras de carburo

El mantenimiento de carreteras

se realiza mediante el fresado de pavimento asfáltico (resistencia a la compresión de 5-15 MPa), con una vida útil de 350-500 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con las normas JTJ 073.

Las pistas de aeropuerto

se utilizan para la renovación de hormigón de cemento (resistencia a la compresión de 20-50 MPa), con resistencia al impacto (> 50 J, pico 200 J $\pm$ 10 J) para garantizar un fresado eficiente, de acuerdo con las normas del Anexo 14 de la OACI.

Las vías urbanas

se utilizan para una base mixta (resistencia a la compresión de 10-20 MPa), con reducción de polvo (< 5 % $\pm$ 1 %) y cumplimiento de las normas GB/T 23458.

La carretera costera

se utiliza para pavimentos salinos, resistente a la corrosión por agua de mar (> 4000 horas $\pm$ 100 horas, resistencia a concentraciones de Cl⁻ > 3,5 % $\pm$ 0,5 %) y cumple con la norma DNVGL-RP-C203.

Este pavimento especial se utiliza para pavimentos de alta temperatura o abrasión, con una resistencia al desgaste de > 95 % $\pm$ 2 % y una eficiencia de fresado de 400 m²/h $\pm$ 20 m²/h en 2025.

Desarrollo de dientes de fresado para fresadora de carreteras de carburo

Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano < 0,5 μ m $\pm$ 0,01 μ m) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 $\pm$ 50), agregan TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura (> 900 °C $\pm$ 20 °C para mantener el 95 % $\pm$ 2 %). Los sensores integrados

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm$ 0,05 %) monitorean el desgaste (profundidad > 1,5 mm $\pm$ 0,05 mm) y la vibración (< 10

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$m/s^2 \pm 1 m/s^2$) en tiempo real y optimizan los ciclos de reemplazo ($error < 5 \% \pm 1 \%$).

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40-60 \mu m \pm 5 \mu m$) para fabricar formas de dientes complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10 \% \pm 2 \%$.

Adaptabilidad ambiental

Desarrollo de dientes resistentes a altas temperaturas y corrosión (resistencia a la presión $> 50 MPa \pm 5 MPa$), con una resistencia al calor que alcanza el $98\% \pm 2\%$ en 2025. Reciclaje

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) para reducir la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), de conformidad con las normas ISO 14040.



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

Dientes de corte para máquina de reciclaje en frío de carburo

Los dientes de corte de carburo para recicladoras en frío son herramientas de corte de alta eficiencia, diseñadas específicamente para recicladoras en frío, diseñadas para procesar pavimentos asfálticos antiguos, materiales base o estratos mixtos para la construcción de regeneración en frío in situ. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinados con un diseño geométrico optimizado y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, al impacto y a la corrosión, garantizando así una alta eficiencia y fiabilidad en entornos de alta carga, alta humedad y alta abrasión. Como componente clave del tambor de la recicladora en frío, los dientes de corte influyen directamente en la eficiencia de regeneración, la uniformidad del material y el coste de la construcción, y se utilizan ampliamente en el mantenimiento de carreteras, la renovación de caminos rurales y la nivelación de zonas industriales. Basándose en la información más reciente sobre toda la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes de corte.

Propiedades físicas y químicas de los dientes de corte de las máquinas de reciclaje en frío de carburo cementado

Los dientes de corte de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\% - 2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de los dientes de corte suele ser puntiagudo o cónico, con un diámetro de punta de $10-18\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ y una altura de $20-35\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, montados sobre una base de rodillos (fabricada en acero de aleación de alta resistencia, como 40CrMo o 42CrMo, con una dureza de temple de HRC $40-52 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura de $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable con un par elevado ($400-1200\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o CrN, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie de la punta del diente, lo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que reduce el coeficiente de fricción a $< 0,25 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $< 2 \% \pm 0,5 \%$). El diseño integra la mecánica de corte y la optimización de la conducción térmica, con un ángulo de corte de la punta del diente de 20° - $40^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y un ángulo de inclinación posterior de 5° - $15^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Es adecuado para capas de asfalto (resistencia a la compresión de 5-15 MPa), capas base de grava (10-30 MPa) y estratos mixtos con contenido de agua.

Características de los dientes de corte de la máquina de regeneración en frío de carburo cementado

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y absorbe la energía del impacto ($> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $> 200 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia al $\text{Cl}^- > 3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90 \% \pm 2 \%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95 \% \pm 2 \%$).

Principio de funcionamiento de

los dientes de corte del reciclador en frío de carburo: Bajo la acción de la rotación del tambor del reciclador en frío (velocidad 80-250 rpm $\pm 10 \text{ rpm}$, dependiendo de la potencia del equipo 200-800 kW $\pm 50 \text{ kW}$) y la fuerza de corte (50-150 kN $\pm 5 \text{ kN}$, hasta 250 kN $\pm 10 \text{ kN}$), los dientes de corte cortan el pavimento o base viejos para formar materiales reciclados y trituran el asfalto o la grava mediante extrusión (presión de contacto 150-350 MPa $\pm 20 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento 40-80 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$). La punta del diente soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura superficial 400-600 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantáneamente hasta 800 $^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m $\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño puntiagudo de la punta del diente optimiza la eficiencia de corte (profundidad de regeneración 5-20 cm $\pm 1 \text{ cm}$), y el diseño cónico reduce la vibración (aceleración $< 10 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$).

El rendimiento de los dientes de corte de la máquina de regeneración en frío de carburo es que

los dientes de corte optimizados tienen una vida útil de más de 300-450 horas $\pm 50 \text{ horas}$ (dependiendo de la dureza del material) en las condiciones de pavimento de asfalto (resistencia a la compresión 5-10 MPa), base de piedra triturada (10-20 MPa) y capa mixta que contiene agua (5-15

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa), y la eficiencia de regeneración alcanza $150-400 \text{ m}^2 / \text{h} \pm 20 \text{ m}^2 / \text{h}$ (hasta $500 \text{ m}^2 / \text{h} \pm 20 \text{ m}^2 / \text{h}$, potencia $> 600 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM muestra que no hay grietas obvias en la punta del diente, la profundidad de desgaste es $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $<120 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de

los dientes de corte de la máquina de regeneración en frío de carburo cementado El contenido de Co de

$6\%-12\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento de $10\% \pm 2\%$, $>12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en $5\% \pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), y se prefiere $8\%-10\% \pm 0,5\%$ para tener en cuenta tanto el rendimiento como el costo.

El tamaño de grano

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para carreteras de dureza media, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15\% \pm 3\%$ y reduce la tenacidad en un $10\% \pm 2\%$. El ángulo de corte

del ángulo geométrico

de $20^\circ-40^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de regeneración (fuerza de corte $<15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, consumo de energía $<15 \text{ kWh/m}^3 \pm 2 \text{ kWh/m}^3$), $>45^\circ \pm 5^\circ$ reduce la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, $<20^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de colapso del diente del $5\% \pm 1\%$.

El tratamiento superficial

de la punta del diente con un espesor de $3-5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil en un $20\% \pm 3\%$), $<3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20\% \pm 3\%$, $>5 \text{ mm} \pm 0,1$ El costo de mm aumenta en un $15\% \pm 2\%$. El recubrimiento de TiN (espesor $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC $40-52 \pm 2$, profundidad $1,5-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil de la base sin temprar se reduce en un $15\% \pm 3\%$ y el revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5\% \pm 1\%$.

El contenido de humedad del entorno de trabajo

$> 15\% \pm 2\%$ o el contenido de arena $> 5\% \pm 1\%$ aumentan el desgaste en un $5\% \pm 1\%$, la temperatura $> 600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3\% \pm 1\%$ y el entorno que contiene Cl^- (concentración $> 0,5\% \pm 0,1\%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo,

como velocidad de regeneración de $0,3-1,5 \text{ m/min} \pm 0,1 \text{ m/min}$, par de $400-1200 \text{ kN} \cdot \text{m} \pm 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$ y potencia de $200-800 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$, afectan la vida útil y la eficiencia del diente. Los parámetros demasiado altos (superiores al límite superior del $10\% \pm 1\%$) reducen la vida útil en un $15\% \pm 2\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tipos de dientes de corte de máquina de regeneración en frío de carburo

Los dientes de corte estándar

son adecuados para pavimento de asfalto (resistencia a la compresión de 5 a 10 MPa), con un diámetro de 12 a 15 mm $\pm$ 1 mm, una altura de 20 a 25 mm $\pm$ 2 mm, excelente resistencia al desgaste (vida útil > 350 horas $\pm$ 50 horas), y se utilizan comúnmente para la regeneración de carreteras.

Los dientes de corte reforzados

son adecuados para bases de piedra triturada (resistencia a la compresión 10-30 MPa), con un diámetro de 15-18 mm $\pm$ 1 mm, una altura de 25-35 mm $\pm$ 2 mm, fuerte resistencia al impacto (> 100 J $\pm$ 10 J), y son adecuados para sitios industriales.

Los dientes de corte resistentes a la corrosión

se utilizan en estratos acuíferos o salinos, con un revestimiento superficial de TiAlN (resistencia al Cl^- > 3000 horas $\pm$ 100 horas), un diámetro de 10-12 mm $\pm$ 1 mm, una altura de 20-30 mm $\pm$ 2 mm y una resistencia a la corrosión de >99% $\pm$ 1%, adecuados para carreteras costeras.

Los dientes de corte especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas (>900 °C $\pm$ 20 °C mantienen el 95 % $\pm$ 2 %) y resistentes al desgaste, adecuados para carreteras altamente abrasivas o impuras.

Aplicación de los dientes de corte del regenerador en frío de carburo:

El mantenimiento de carreteras

se utiliza para la regeneración de pavimentos asfálticos (resistencia a la compresión de 5-15 MPa), con una vida útil de 350-450 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con la norma JTJ 073.

En caminos rurales,

se utiliza para la renovación de bases de grava (resistencia a la compresión de 10-20 MPa), con resistencia al impacto (> 50 J, pico de 200 J $\pm$ 10 J) para garantizar una regeneración eficiente, de acuerdo con la norma GB/T 23458.

Los emplazamientos industriales

se utilizan para estratos impuros (resistencia a la compresión de 10-30 MPa), reducen el polvo (<5 % $\pm$ 1 %) y cumplen con la norma ISO 10816. **Las carreteras costeras**

se utilizan para bases con contenido salino, resisten la corrosión por agua de mar (>4000 horas $\pm$ 100 horas, resistencia a la concentración de Cl^- > 3,5 % $\pm$ 0,5 %) y cumplen con la norma DNVGL-RP-C203.

Los estratos complejos

se utilizan en carreteras que contienen agua o son altamente abrasivas, con una resistencia al desgaste de >95% $\pm$ 2%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Dientes trituradores de hormigón de carburo

Los dientes trituradores de hormigón de carburo son herramientas de corte duraderas diseñadas para trituradoras de hormigón o martillos hidráulicos, diseñadas para triturar eficientemente hormigón armado, paneles prefabricados o estructuras de cemento endurecido. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión, asegurando alta eficiencia y confiabilidad en entornos de alto impacto, alta temperatura y alto polvo. Como componente clave de los equipos de trituración, los dientes trituradores afectan directamente la eficiencia de trituración, la uniformidad de las partículas y la seguridad de la construcción, y son ampliamente utilizados en la demolición de edificios, la renovación de carreteras y el tratamiento de residuos industriales. Basándose en la información más reciente sobre toda la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía de forma exhaustiva las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes trituradores.

Propiedades físicas y químicas de los dientes trituradores de hormigón de carburo cementado.

Los dientes trituradores de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y que la porosidad sea $<0,1 \% \pm 0,05 \%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95 \% \pm 2 \%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98 \% \pm 1 \%$.

El diseño geométrico de los dientes de trituración suele ser cónico o plano, con un diámetro de punta de $12-20 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ y una altura de $25-40 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, instalados en la base del martillo triturador o del cabezal de trituración (hecho de acero de aleación de alta resistencia, como 40CrMo o 42CrMo , dureza de temple $\text{HRC } 40-52 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $> 800 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) o incrustación mecánica (fuerza de incrustación $> 12 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable bajo una alta fuerza de impacto ($50-300 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, valor pico de hasta $500 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$). La superficie de la punta del diente se puede recubrir con múltiples capas de recubrimiento (como TiN , TiAlN o CrN , con un espesor de $0,5-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$), lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$ y mejora la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<2 \% \pm 0,5 \%$). El diseño integra la mecánica de impacto y la optimización de la conducción térmica. El ángulo de corte de la punta del diente es de $25^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ y el ángulo posterior, de $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$. Es adecuado para hormigón armado o cemento endurecido con una resistencia a la compresión de $20-80 \text{ MPa}$.

Propiedades del material de los dientes trituradores de hormigón de carburo

El WC proporciona una alta dureza ($\text{HV } 1800-2200 \pm 30$, localmente hasta $2400-2600 \pm 50$), y su estructura cristalina hexagonal imparte una excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad ($K_{Ic} 12-16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto ($>100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $>300 \text{ J} \pm 20 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia al $\text{Cl}^- > 3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ mantiene el $90 \% \pm 2 \%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95 \% \pm 2 \%$).

Principio de funcionamiento de los dientes trituradores de hormigón de carburo

El impacto de alta frecuencia (frecuencia de impacto $10-50 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$, dependiendo de la potencia del equipo $100-600 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$) y la fuerza de impacto ($50-300 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$) del martillo hidráulico o trituradora, los dientes trituradores cortan el hormigón para formar partículas rotas y destruyen la estructura de hormigón armado mediante compresión (presión de contacto $300-600 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) y división (fuerza de división $100-200 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$). La punta del diente soporta la principal carga térmica y de desgaste (temperatura superficial $500-800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, instantáneamente hasta 1000°C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica $40\text{-}50\text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 300\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). El diseño cónico de la punta del diente optimiza la eficiencia de impacto (profundidad de aplastamiento $5\text{-}30\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$), y el diseño plano mejora la resistencia a la tensión lateral ($< 150\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$).

Rendimiento de los dientes trituradores de hormigón de carburo

En las condiciones de hormigón armado (resistencia a la compresión $30\text{-}60\text{ MPa}$), paneles prefabricados ($40\text{-}80\text{ MPa}$) y cemento endurecido ($20\text{-}50\text{ MPa}$), los dientes de trituración optimizados tienen una vida útil de más de $250\text{-}400$ horas ± 50 horas (dependiendo de la dureza del material) y una eficiencia de trituración de $50\text{-}150\text{ m}^3/\text{h} \pm 5\text{ m}^3/\text{h}$ (hasta $200\text{ m}^3/\text{h} \pm 5\text{ m}^3/\text{h}$, potencia $> 500\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas obvias en la punta del diente, profundidad de desgaste $< 0,05\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$ (preferiblemente $< 0,03\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$), la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$) y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 150\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de los dientes trituradores de hormigón de carburo cementado

El contenido de Co de

$6\%\text{-}12\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del $10\% \pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un $5\% \pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$). Se prefiere $8\%\text{-}10\% \pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

de $0,5\text{-}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $< 0,03\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1\text{-}1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ es adecuado para hormigón de dureza media, $> 2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15\% \pm 3\%$ y reduce la tenacidad en un $10\% \pm 2\%$. El ángulo de corte

del ángulo geométrico

de $25^{\circ}\text{-}45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ optimiza la eficiencia de trituración (fuerza de impacto $< 20\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$, consumo de energía $< 30\text{ kWh/m}^3 \pm 2\text{ kWh/m}^3$), $> 50^{\circ} \pm 5^{\circ}$ reduce la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, $< 25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ conduce fácilmente a un riesgo del $5\% \pm 1\%$ de colapso de los dientes.

El tratamiento superficial

de la punta del diente con un espesor de $3\text{-}6\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil en un $20\% \pm 3\%$), $< 3\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20\% \pm 3\%$, $> 6\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ El costo de mm aumenta en un $15\% \pm 2\%$. El recubrimiento de TiN (espesor $0,5\text{-}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$, temperatura de deposición $400\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($< 0,3 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC $40\text{-}52 \pm 2$, profundidad $1,5\text{-}3\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, temperatura de temple $850\text{-}900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil de la base sin temple se reduce en un $15\% \pm 3\%$ y el revenido ($200\text{-}250\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{-}4$ horas $\pm 0,5$ horas) reduce la tensión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

residual en un $5 \% \pm 1 \%$.

La temperatura del entorno de trabajo

$> 700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, el contenido de agua $> 10 \% \pm 2 \%$ o el contenido de acero $> 5 \% \pm 1 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$, y el entorno que contiene Cl^{-} (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015\text{ mm/año} \pm 0,002\text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo,

como la frecuencia de impacto de $10\text{-}50\text{ Hz} \pm 2\text{ Hz}$, la fuerza de impacto de $50\text{-}300\text{ kN} \pm 5\text{ kN}$ y la potencia de $100\text{-}600\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$, afectan la vida útil y la eficiencia del engranaje. Los parámetros demasiado altos (superiores al límite superior del $10 \% \pm 1 \%$) reducen la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de dientes de carburo para trituradoras de hormigón

Los dientes trituradores estándar

son adecuados para hormigón ordinario (resistencia a la compresión $20\text{-}40\text{ MPa}$), con un diámetro de $12\text{-}15\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, una altura de $25\text{-}30\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, excelente resistencia al desgaste (vida útil $> 300\text{ horas} \pm 50\text{ horas}$), y se utilizan a menudo en la demolición de edificios.

Los dientes de trituración mejorados

son adecuados para hormigón armado (resistencia a la compresión $40\text{-}80\text{ MPa}$), con un diámetro de $15\text{-}20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, una altura de $30\text{-}40\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, fuerte resistencia al impacto ($> 150\text{ J} \pm 10\text{ J}$), y son adecuados para la demolición de puentes.

Los dientes trituradores resistentes a la corrosión

se utilizan para hormigón que contiene sal o agua, con revestimiento de superficie TiAlN (resistencia al Cl^{-} $> 3000\text{ horas} \pm 100\text{ horas}$), diámetro $12\text{-}15\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, altura $25\text{-}35\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, resistencia a la corrosión $> 99\% \pm 1\%$, adecuado para edificios costeros.

Los dientes trituradores especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas ($> 900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ mantienen el $95 \% \pm 2 \%$) y resistentes al desgaste, adecuados para hormigón de alta temperatura o alta densidad reforzada.

Aplicación de dientes trituradores de hormigón de carburo

La demolición de edificios

se utiliza para el triturado de hormigón ordinario (resistencia a la compresión de $20\text{-}40\text{ MPa}$), con una vida útil de $300\text{-}400\text{ horas} \pm 50\text{ horas}$, de acuerdo con el estándar GB 50300.

La demolición de puentes

se utiliza para hormigón armado (resistencia a la compresión de $40\text{-}80\text{ MPa}$), y la resistencia al impacto ($> 100\text{ J}$, pico $300\text{ J} \pm 20\text{ J}$) garantiza un triturado eficiente, de acuerdo con el estándar JTJ 3362.

Los residuos industriales

se utilizan para el procesamiento de cemento endurecido (resistencia a la compresión de $20\text{-}50\text{ MPa}$), lo que reduce el polvo ($< 5\% \pm 1\%$), cumpliendo con el estándar ISO 10816.

Los edificios costeros

se utilizan para hormigón que contiene sal, resistente a la corrosión del agua de mar ($> 4000\text{ horas}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

± 100 horas, resistencia a la concentración de $\text{Cl}^- > 3,5\% \pm 0,5\%$), de acuerdo con el estándar DNVGL-RP-C203.

Se utilizan estructuras complejas en hormigón armado o de alta dureza, con resistencia a la abrasión $>95\% \pm 2\%$ y una eficiencia de trituración de $130 \text{ m}^3/\text{h} \pm 5 \text{ m}^3/\text{h}$ en 2025.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro

Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza ($\text{HV } 2200-2600 \pm 50$) y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ para mantener el $95\% \pm 2\%$). Investigación en 2024: resistencia a la oxidación del recubrimiento de ZrC (ganancia de peso de oxígeno $<0,15\% \pm 0,05\%/\text{h}$). Sensor integrado

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0,05\%$) monitoreo en tiempo real del desgaste (profundidad $> 1,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y la vibración ($<15 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$), optimiza el ciclo de reemplazo (error $< 5\% \pm 1\%$).

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40-60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar formas dentales complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

La adaptabilidad ambiental

desarrolla dientes resistentes a la corrosión y a la alta presión (resistencia a la presión $>60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). El reciclaje

sostenible

del polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), de acuerdo con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales y consideraciones de seguridad

Cumple con las normas GB 50300 (demolición de edificios), JTG 3362 (puentes de carreteras), ISO 10816 (control de vibraciones) y DNVGL-RP-C203 (normativa offshore). Se añadirán estándares de bajo nivel de polvo en 2025.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

Brocas de carburo para perforación de petróleo y gas

La broca de rodillo de carburo para la perforación de petróleo y gas es una herramienta de corte rotatoria diseñada para la exploración y el desarrollo de petróleo y gas. Se utiliza principalmente para romper formaciones rocosas y crear pozos mediante rotación e impacto. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co) para fabricar rodillos, que proporcionan excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, asegurando un funcionamiento eficiente en condiciones de formación complejas. Como componente clave de los equipos de perforación, las brocas de rodillo afectan directamente la velocidad de perforación, la calidad del pozo y la vida útil de la herramienta. Se utilizan ampliamente en pozos profundos, pozos ultraprofundos y diversos tipos de formaciones (como formaciones blandas, duras y abrasivas). Con base en el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada en 2025, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las brocas de rodillo.

1. Estructura y materiales de las brocas de rodillos de carburo cementado

Las brocas de rodillos de carburo suelen constar de tres grupos de rodillos, cada uno de los cuales gira sobre su propio eje y se instala en el cuerpo de la broca. El cuerpo está fabricado con acero de aleación de alta resistencia (como 42CrMo, dureza de temple HRC 40-52), y los rodillos están hechos de carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 , TaC, NbC) para optimizar el rendimiento. El proceso de fabricación incluye pulvimetalurgia (como SPS o HIP) para garantizar que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$, el tamaño de grano se controla a $0,5-2\ \mu\text{m}$ (preferiblemente $0,8-1,2\ \mu\text{m}$) y la dureza es $\text{HV } 1800-2200 \pm 30$, y puede alcanzar $2400-2600 \pm 50$ localmente. Hay dos tipos de dientes: dientes de fresado (dientes de acero) y dientes de inserción (dientes de carburo). Los dientes de acero son adecuados para formaciones blandas a semiduras, mientras que los dientes de inserción (TCI) son para formaciones duras o abrasivas. Se puede aplicar un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5-2\ \mu\text{m}$) a la punta del diente para reducir el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$ y mejorar la resistencia al desgaste.

2. Principio de funcionamiento y características de las brocas de rodillos de carburo cementado

La broca de rodillo funciona girando la broca (velocidad 60-250 rpm) y presurizándola (presión de la broca 50-300 kN). La broca de rodillo gira sobre su propio eje y los dientes rompen la formación rocosa mediante trituración y cizallamiento. Los dientes de la broca son más largos y están ampliamente espaciados en formaciones blandas, y más cortos y densos en formaciones duras. El diseño del cojinete (como cojinetes de rodillos o de muñón) está equipado con un sistema de sellado (como juntas tóricas o sellos de cara metálica) y lubricación con compensación de presión para extender la vida útil. La broca genera vibraciones verticales en el fondo del pozo, convirtiendo la energía elástica en fuerza de impacto para ayudar en la trituración de la roca, al tiempo que mejora la eficiencia de corte a través del cizallamiento deslizante. Es adecuada para formaciones con una resistencia a la compresión de 5-60 MPa, y la profundidad de trituración puede alcanzar varios

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

metros, y la eficiencia depende de la formación.

3. Rendimiento y factores que influyen en las brocas de rodillos de carburo cementado

Propiedades del material: WC proporciona alta dureza, Co mejora la tenacidad (K_{1c} 12-16 MPa·m^{1/2}), tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m, resistencia a altas temperaturas (>800 °C, resistencia a la oxidación >95%). Los aditivos como TaC mejoran la estabilidad a altas temperaturas.

Diseño geométrico: El ángulo y la forma de los dientes del cono se ajustan según la formación. Los dientes largos de cincel se utilizan en formaciones blandas y los dientes cortos y redondos en formaciones duras.

Parámetros de trabajo: la presión de perforación, la velocidad de rotación y el caudal del fluido de perforación afectan la vida útil y la eficiencia. Unos parámetros excesivamente altos pueden acortar la vida útil en un 15 % ± 2 %.

Factores ambientales: Las altas temperaturas (>700 °C), las formaciones altamente abrasivas o que contienen agua aumentan el desgaste en un 5 % ± 1 %.

4. Tipos y aplicaciones de brocas de rodillos de carburo cementado

Broca para fresar dientes

Aplicable a formaciones blandas a medianas (5-20 MPa), con una vida útil de 200-300 horas, comúnmente utilizado en perforaciones iniciales.

Broca de rodillo de dientes insertables (TCI): adecuada para formaciones duras (20-60 MPa), vida útil de 250 a 400 horas, ampliamente utilizada en pozos profundos.

Brocas de cono simple/cono doble

Se utiliza para perforación direccional o formaciones blandas con mayor eficiencia.

Escenario de aplicación

Exploración de petróleo y gas, perforación de pozos profundos y construcción de pozos horizontales. Las pruebas realizadas en 2025 mostraron una eficiencia de 50 a 150 m/h.

5. Desarrollo tecnológico de brocas de rodillos de carburo cementado

Nuevos materiales: Nano WC mejora la dureza y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación.

Monitoreo inteligente: Los sensores monitorean el desgaste en tiempo real y optimizan los ciclos de reemplazo.

Impresión 3D: la tecnología SLM reduce el desperdicio de material y tiene una resistencia de 1400 MPa ± 50 MPa.

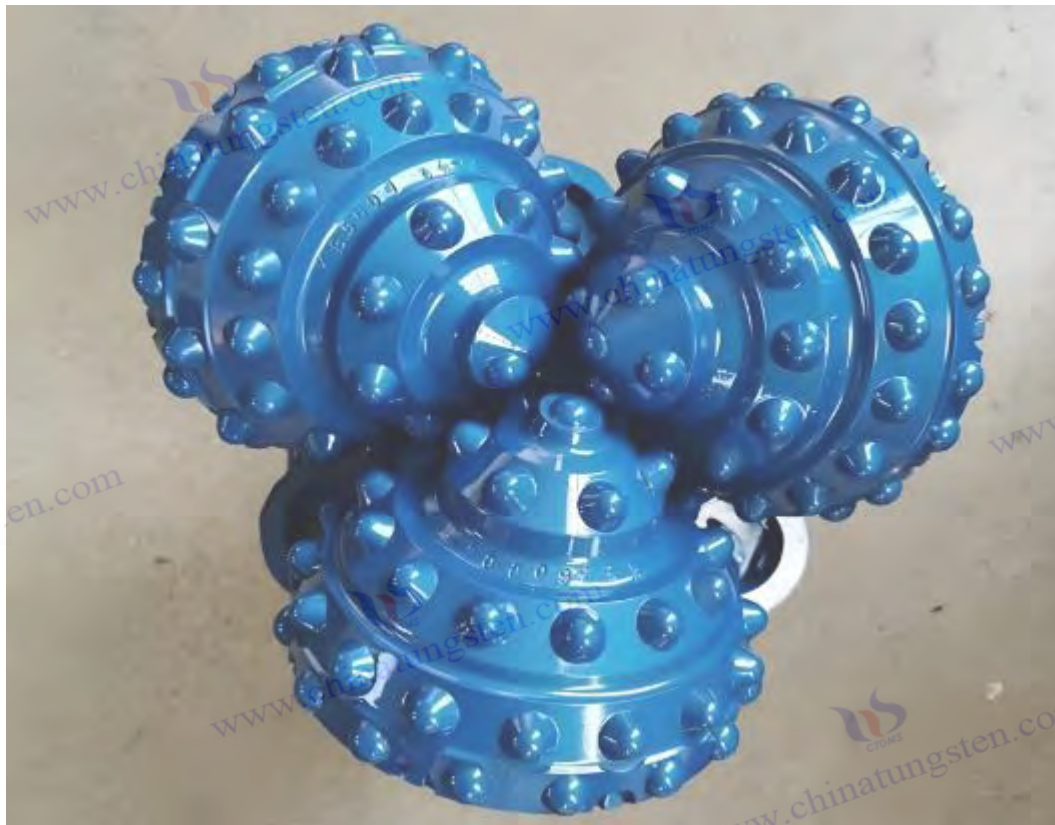
Diseño híbrido: combinado con elementos de corte fijos para una mayor adaptabilidad.

6. Seguridad y normas de las brocas de rodillos de carburo

De acuerdo con las normas API, el desgaste que excede el límite (>6 mm) requiere reemplazo, tasa de accidentes <0,1% y se debe usar equipo de protección.

Con su versatilidad e innovación tecnológica, las brocas de rodillos de carburo son herramientas fundamentales para la perforación de petróleo y gas, impulsando la mejora de la eficiencia de la industria y la optimización de costos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

¿Qué es una broca de perforación de carburo cementado para roca dura y pizarra?

Las brocas de carburo para perforación en roca dura y lutita son herramientas de corte diseñadas para la exploración geológica, la perforación de petróleo y gas, y la minería de minerales. Se utilizan principalmente para la perforación eficiente de formaciones de roca dura y lutita. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno y sistema WC-Co) para su fabricación, que proporcionan excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en formaciones de alta dureza y abrasión. Como componente clave de los equipos de perforación, las brocas influyen directamente en la velocidad de perforación, la calidad del pozo y la vida útil de la herramienta, y se utilizan ampliamente en formaciones de roca dura (como granito y caliza) y lutita. Con base en la información en línea y los avances tecnológicos más recientes, el siguiente contenido amplía la estructura, el principio, los tipos, las aplicaciones y el desarrollo tecnológico de las brocas.

1. Estructura y materiales de las brocas de perforación de carburo cementado para roca dura y pizarra.

Las brocas de perforación suelen adoptar un diseño compuesto de PDC (compuesto de diamante policristalino) y carburo cementado. El cuerpo principal está hecho de acero de aleación de alta resistencia (como 42CrMo, dureza de temple HRC 40-52), y los dientes o cuchillas de corte utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga térmica. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). El rango de dureza es HV $1800-2200 \pm 30$, y puede alcanzar $2400-2600 \pm 50$ localmente. El espesor de la capa de PDC es de $0,5$ a 2 mm , combinado con el sustrato de carburo cementado, lo que mejora significativamente la resistencia al impacto (K_{IC} $12-18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Se puede aplicar un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la punta del diente, el coeficiente de fricción se reduce a $<0,25 \pm 0,05$, la resistencia al desgaste mejora en un $20\% \pm 3\%$ y la resistencia a la fatiga mejora aún más mediante la modificación de la superficie (como el refuerzo con láser).

2. Principios y características de las brocas de perforación de carburo cementado para roca dura y pizarra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La broca de perforación funciona girando la broca (velocidad 100-300 rpm $\pm$ 10 rpm) y presurizando (presión de la broca 50-400 kN $\pm$ 10 kN), y los dientes o cuchillas de corte rompen roca dura y pizarra mediante cizallamiento y trituración. La broca de roca dura adopta un diseño de alta densidad de dientes cortos, optimiza el ángulo de corte (15° - $30^{\circ} \pm 2^{\circ}$) y mejora la penetración en formaciones de alta dureza; la broca de pizarra adopta un diseño de espaciado moderado de dientes largos para adaptarse a la estructura de la estratificación y las características de desarrollo de fracturas. El sistema de cojinetes está equipado con cojinetes de alto rendimiento y sellos de cara metálica, que son resistentes a altas temperaturas ($> 200^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) y reducen el desgaste mediante lubricantes de alta calidad (como ésteres sintéticos). La broca genera una alta fuerza de corte ($>1000\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) en el fondo del pozo, combinada con el efecto de lavado y transporte del fluido de perforación (a base de agua o aceite), para eliminar los escombros. Es adecuada para formaciones con una resistencia a la compresión de 20 a 100 MPa, y la profundidad de perforación puede alcanzar de cientos a miles de metros. La eficiencia varía según la dureza de la formación (como granito 50-100 MPa, lutita 20-50 MPa), y la velocidad promedio de perforación puede alcanzar 10-50 m/h. La última tecnología también introduce tecnología de oscilación adaptativa para mejorar la eficiencia de perforación de las formaciones de lutita en un $5\% \pm 1\%$.

3. Factores que afectan el rendimiento de las brocas de perforación de carburo cementado para roca dura y pizarra

Propiedades del material

El WC proporciona alta dureza, el Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, el valor máximo puede alcanzar 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$), tasa de desgaste $<0,05\text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$, resistencia a altas temperaturas (resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$ a $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$). La resistencia al desgaste de la capa de PDC es un $30\% \pm 5\%$ mayor que la del carburo cementado, pero es necesario optimizar la sensibilidad al impacto.

Diseño geométrico

El ángulo de corte de 15° - $30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ optimiza la eficiencia de perforación. La broca para roca dura utiliza dientes cónicos para mejorar la penetración, mientras que la broca para esquisto utiliza dientes de fondo plano para adaptarse a la estructura estratificada. La eficiencia de extracción de viruta se ve afectada por el diseño de la ranura de extracción de viruta (ancho de $5\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$). El diseño optimizado de la ranura espiral mejora la tasa de extracción de viruta en un $10\% \pm 2\%$.

Parámetros de trabajo

La presión de perforación, la velocidad de rotación y el caudal del fluido de perforación afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una presión de perforación $> 400\text{ kN}$ o una velocidad de rotación $> 300\text{ rpm}$) pueden acortar la vida útil en un $15\% \pm 2\%$. Los parámetros óptimos deben ajustarse dinámicamente según las características de la formación.

Factores ambientales

Las altas temperaturas ($>700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), la alta abrasión (como las formaciones que contienen arena de cuarzo) o las formaciones que contienen agua aumentan el desgaste en un $5\% \pm 1\%$. La tasa de corrosión en entornos que contienen Cl^- (concentración $> 0,5\% \pm 0,1\%$) aumenta a $0,01\text{ mm/año} \pm 0,001\text{ mm/año}$, y se requiere un recubrimiento anticorrosivo (como Cr_2O_3).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Tipos de brocas de carburo para perforación de roca dura y pizarra

Brocas de perforación para roca dura

Características: Dientes cortos con disposición de alta densidad, adecuados para granito y piedra caliza (resistencia a la compresión 50-100 MPa), vida útil 200-350 horas $\pm$ 20 horas, velocidad de perforación 10-20 m/h, comúnmente utilizado en exploración de pozos profundos e ingeniería de túneles de roca dura.

brocas de perforación de esquisto

Características: Dientes largos con diseño de espaciado moderado, adecuados para formaciones de esquisto (resistencia a la compresión 20-50 MPa), vida útil 250-400 horas $\pm$ 20 horas, velocidad de perforación 20-40 m/h, ampliamente utilizado en el desarrollo de gas de esquisto y formaciones alternas blandas y duras.

brocas híbridas

Características: Combinando PDC y carburo cementado, es adecuado para formaciones complejas (resistencia a la compresión 20-100 MPa), con una eficiencia de prueba de 60-120 m/h $\pm$ 5 m/h, y es adecuado para condiciones geológicas variables.

brocas especiales

Estos incluyen brocas resistentes a altas temperaturas ($>800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y brocas resistentes a la corrosión (resistentes al Cl^- > 7000 horas $\pm$ 200 horas), optimizadas para entornos extremos como perforaciones en aguas profundas y formaciones de roca volcánica.

5. Aplicación de brocas de perforación de carburo cementado para roca dura y pizarra

Exploración geológica

Se utiliza para muestreo de núcleos profundos, con una precisión de $\pm 0,01\text{ mm}$, de acuerdo con la norma ISO 3551, para la evaluación de recursos geotérmicos.

Perforación de petróleo y gas

Aplicado a gas de esquisto, yacimientos profundos de petróleo y gas y perforaciones offshore, con una vida útil de 300 a 400 horas, cumple con los estándares API 7-1 y apoya el desarrollo de nuevas energías.

Minería de minerales

Se utiliza para la minería de rocas duras, como cobre, hierro y oro, con una resistencia al desgaste de $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con los estándares ISO 10896, y ayuda en la minería de metales de tierras raras.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para perforar agujeros en túneles, puentes y cimentaciones de ferrocarriles de alta velocidad, es adecuado para estratos de granito y apoya el proyecto "Belt and Road".

Transición energética

Se utiliza para la perforación de cimientos de torres de turbinas eólicas y perforación geotérmica, con una excelente resistencia a altas temperaturas, de acuerdo con las normas IEC 61400.

Investigación y educación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se aplica a experimentos de mecánica de rocas y perforación de sedimentos en aguas profundas, con una precisión de $<0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

Defensa y aeroespacial

Se utiliza para la perforación de búnkeres subterráneos y el refuerzo de cimientos de bases de lanzamiento de cohetes, resistencia al impacto $>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$.

6. Progreso tecnológico de las brocas de perforación de carburo cementado para roca dura y esquisto

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejora la dureza ($\text{HV } 2200\text{-}2600 \pm 50$) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($>98 \% \pm 1 \%$), lo que extiende la vida útil en un $25 \% \pm 3 \%$, lo que lo hace adecuado para pozos ultraprofundos.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste (profundidad $>0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y la temperatura ($<800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$) en tiempo real, optimizando los ciclos de reemplazo con un error de $<5 \% \pm 1 \%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30\text{-}50 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) se utiliza para fabricar hojas complejas con una resistencia de $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

Diseño adaptativo

Ajuste dinámicamente los parámetros de corte (como la presión y la velocidad de perforación) para mejorar la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

7. Normas para brocas de carburo cementado para perforación de roca dura y pizarra

Cumple con normas internacionales como API 7-1, ISO 3551, ISO 10896 e IEC 61400. Si el desgaste supera el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), debe reemplazarse. La tasa de accidentes es $<0,1 \% \pm 0,02 \%$. Los operadores deben usar equipo de protección (casco y gafas de seguridad). Se ha añadido una nueva norma de baja tasa de desgaste para reforzar los requisitos de protección ambiental.

Las brocas de carburo para perforación de roca dura y esquisto son herramientas esenciales para proyectos de perforación gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, que han impulsado la mejora de la eficiencia y la optimización de costos en la explotación de recursos profundos. En la era de la IA y el contexto de la Internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



¿Qué es una broca de carburo cementado para pozos profundos y pozos horizontales?

Las brocas de carburo para perforación de pozos profundos y horizontales son herramientas de corte rotativas diseñadas para la perforación de pozos profundos y horizontales. Se utilizan ampliamente en la exploración y desarrollo de petróleo y gas, y son adecuadas para condiciones de formación complejas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co) para la fabricación de rodillos, que proporcionan excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando un funcionamiento eficiente a grandes profundidades, altas temperaturas y entornos altamente abrasivos. Como componente clave de los equipos de perforación, las brocas de rodillo afectan directamente la velocidad de perforación, la estabilidad de la trayectoria del pozo y la vida útil de la herramienta, y tienen importantes aplicaciones en pozos ultraprofundos, secciones de pozos horizontales y formaciones duras. Con base en el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las brocas de rodillo.

1. Estructura y materiales de las brocas de carburo cementado para perforación de pozos profundos y pozos horizontales.

La broca de rodillos suele constar de tres o más grupos de rodillos montados sobre un cuerpo de acero aleado de alta resistencia (como 42CrMo, dureza de temple HRC 40-52). Los rodillos utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $> 90 \% \pm 1 \%$) como fase dura, cobalto (Co, $6 \% - 12 \% \pm 1 \%$) como fase aglutinante, y se complementan con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5 \% - 2 \% \pm 0,1 \%$, TaC $1 \% - 3 \% \pm 0,2 \%$, NbC $0,5 \% - 1,5 \% \pm 0,1 \%$) para optimizar el tamaño de grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga térmica. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350 - 1450 ^\circ\text{C} \pm 10 ^\circ\text{C}$, presión $45 - 55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, tiempo de retención $5 - 10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400 - 1500 ^\circ\text{C} \pm 10 ^\circ\text{C}$, presión $150 - 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, tiempo de retención $30 - 60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9 \% \pm 0,1 \%$ y la porosidad sea $< 0,1 \% \pm 0,05 \%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2 \mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). El rango de dureza es de HV $1800 - 2200 \pm 30$, pudiendo alcanzar localmente entre 2400 y 2600 ± 50 . Los tipos de dientes de engranaje incluyen dientes de inserción (TCI) o dientes de acero. Los TCI son adecuados para formaciones duras, mientras que los dientes de acero son adecuados para formaciones de blandas a semiduras. Se puede aplicar un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5 - 2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $< 0,25 \pm 0,05$, mejora la resistencia al desgaste en un $20 \% \pm 3 \%$ y mejora aún más la resistencia a la fatiga mediante la modificación de la superficie (como el refuerzo por láser). El sistema de rodamientos utiliza rodamientos o cojinetes de deslizamiento, equipados con sellos metálicos frontales y lubricación con compensación de presión, y es resistente a altas temperaturas ($> 250 ^\circ\text{C} \pm 10 ^\circ\text{C}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Principio de funcionamiento y características

La broca de rodillo funciona girando la broca (velocidad 60-200 rpm $\pm$ 10 rpm) y presurizando (presión de la broca 100-500 kN $\pm$ 10 kN). La broca de rodillo gira sobre su propio eje y los dientes rompen la formación rocosa mediante trituración, cizallamiento y molienda. La broca de pozo profundo está diseñada con una disposición de dientes cortos de alta resistencia y un ángulo de corte optimizado ($15^{\circ} - 25^{\circ} \pm 2^{\circ}$) para mejorar la penetración de formaciones de alta dureza; la broca de pozo horizontal está optimizada con una estructura de dientes largos para resistir fuerzas laterales y adaptarse a trayectorias complejas y condiciones de desgaste excéntrico. La broca genera una alta fuerza de impacto (50-300 kN $\pm$ 10 kN) en el fondo del pozo, combinada con el efecto de lavado y transporte del fluido de perforación (a base de agua o a base de aceite), para eliminar escombros, y es adecuada para formaciones con una resistencia a la compresión de 20-80 MPa. La profundidad de perforación de pozos profundos puede alcanzar los 5000-8000 m, y la longitud de la sección del pozo horizontal puede alcanzar los 2000-3000 m. La eficiencia depende de la formación y puede alcanzar hasta 50-120 m/h. La tecnología más reciente introduce un mecanismo de oscilación adaptativa para mejorar la eficiencia de perforación en formaciones complejas en un 5% $\pm$ 1%.

3. Rendimiento y factores influyentes

Propiedades del material

El WC proporciona alta dureza, el Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0,5, el valor máximo puede alcanzar 18 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0,5), la tasa de desgaste <0,05 mm³ / N $\cdot$ m $\pm$ 0,01 mm³ / N $\cdot$ m, resistencia a altas temperaturas (resistencia a la oxidación >95 % $\pm$ 2 % a >800 °C $\pm$ 20 °C). El TaC mejora la estabilidad a altas temperaturas y el Cr₃C₂ reduce la corrosión intergranular.

Diseño geométrico

El ángulo y la forma de los dientes del cono se ajustan según la profundidad y la trayectoria del pozo. Se utilizan dientes cortos de alta densidad para pozos profundos, y dientes largos con protección antidesgaste excéntrico para pozos horizontales. El diseño de la ranura de extracción de viruta (ancho de 5-10 mm $\pm$ 0,5 mm) optimiza la extracción de viruta, y la ranura espiral mejora la eficiencia en un 10 % $\pm$ 2 %.

Parámetros de trabajo

La presión de perforación, la velocidad de rotación y el caudal del fluido de perforación afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una presión de perforación > 500 kN o una velocidad de rotación > 200 rpm) pueden acortar la vida útil en un 15 % $\pm$ 2 % y requieren ajustes dinámicos.

Factores ambientales

Las altas temperaturas (>700 °C $\pm$ 20 °C), la alta abrasión (como las formaciones de arena de cuarzo) o las formaciones con contenido de agua aumentan el desgaste en un 5 % $\pm$ 1 %. La alta presión en pozos profundos (>70 MPa $\pm$ 5 MPa) requiere un sellado y una lubricación mejorados.

4. Tipos y aplicaciones

Broca rotatoria para pozos profundos

Características: Disposición de dientes cortos de alta resistencia, adecuada para pozos ultraprofundos (>5000 m, resistencia a la compresión 20-60 MPa), vida útil 200-350 horas $\pm$ 20

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

horas, velocidad de perforación 20-50 m/h, comúnmente utilizada en exploración profunda de petróleo y gas.

Broca de rodillo para pozo horizontal

Características: Estructura de diente largo para resistir fuerzas laterales, adecuado para secciones horizontales (resistencia a la compresión 20-50 MPa), vida útil 250-400 horas $\pm$ 20 horas, velocidad de perforación 30-70 m/h, ampliamente utilizado en el desarrollo de gas de esquisto y perforación de trayectoria compleja.

brocas híbridas

Características: Combinando TCI y dientes de acero, es adecuado para formaciones complejas (resistencia a la compresión 20-80 MPa), con una eficiencia de prueba de 70-120 m/h $\pm$ 5 m/h, y es adecuado para alternar formaciones blandas y duras.

brocas especiales

Incluye brocas resistentes a altas temperaturas ($>800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y brocas resistentes a altas presiones (resistencia a la presión $>100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), optimizadas para perforaciones en aguas profundas y formaciones de alta temperatura.

5. Aplicación de brocas de rodillos de carburo cementado en pozos profundos y pozos horizontales

Perforación de petróleo y gas

Aplicable a pozos ultraprofundos, pozos horizontales y perforaciones offshore, con una vida útil de 300-400 horas, cumpliendo con los estándares API 7-1, y apoyando el desarrollo de petróleo y gas profundos.

Exploración geológica

Se utiliza para muestreo de núcleos profundos, precisión $\pm 0,01\text{ mm}$, de acuerdo con la norma ISO 3551, para evaluación de recursos minerales y geotérmicos.

Minería de minerales

Se utiliza para la minería de rocas duras, como mineral de cobre y hierro, con una resistencia al desgaste de $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con los estándares ISO 10896, y ayuda en la minería de metales de tierras raras.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para perforar pozos de cimentación profundos de túneles y puentes, se adapta a estratos de alta dureza y respalda proyectos de ingeniería de gran escala.

Transición energética

Se utiliza para perforaciones geotérmicas y refuerzo de cimientos de torres de energía eólica, con excelente resistencia a altas temperaturas, de acuerdo con las normas IEC 61400.

Investigación y desarrollo

Se aplica a experimentos de mecánica de rocas y pruebas de pozos profundos, con una precisión de $<0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$.

Ingeniería de defensa

Se utiliza para perforaciones subterráneas y refuerzo de cimientos de bases militares, resistencia al impacto $>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Avance tecnológico

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejora la dureza ($\text{HV } 2200-2600 \pm 50$) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($> 98 \% \pm 1 \%$), lo que extiende la vida útil en un $25 \% \pm 3 \%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste (profundidad $>0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y la temperatura ($<800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$) en tiempo real, optimizando los ciclos de reemplazo con un error de $<5 \% \pm 1 \%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30-50 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) se utiliza para fabricar engranajes complejos con una resistencia de $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ y una reducción del desperdicio de material del $10\% \pm 2\%$.

Tecnología adaptativa

Ajuste dinámicamente la presión de perforación y la velocidad de rotación para mejorar la eficiencia en un $15\% \pm 2\%$ y optimice los parámetros de perforación utilizando algoritmos de IA.

7. Seguridad y normas

Cumple con normas internacionales como API 7-1, ISO 3551, ISO 10896 e IEC 61400. Si el desgaste supera el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), debe reemplazarse. La tasa de accidentes es $<0,1 \% \pm 0,02 \%$. Los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras). Es necesario reforzar la inspección de seguridad y el diseño de sellado en entornos de alta presión en pozos profundos.

Gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, las brocas de carburo cementado para pozos profundos y pozos horizontales son herramientas esenciales para proyectos de perforación complejos, promoviendo la mejora de la eficiencia y la optimización de costos en la explotación de recursos profundos. En la era de la IA y el contexto del internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

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
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

¿Qué son las brocas de carburo para perforar granito y basalto?

Las brocas de carburo para granito y basalto son herramientas de corte diseñadas para la perforación de rocas de alta dureza. Se utilizan principalmente en la exploración geológica, la minería de minerales y la construcción de infraestructuras, enfocadas en formaciones superduras como el granito y el basalto. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co) para fabricar brocas, que proporcionan excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, asegurando un funcionamiento eficiente en condiciones de alta dureza y abrasión. Como componente clave de los equipos de perforación, las brocas influyen directamente en la velocidad de perforación, su vida útil y la calidad de la construcción, y se utilizan ampliamente en la minería de roca dura y la perforación profunda. Con base en el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las brocas.

1. Estructura y materiales de las brocas de carburo cementado para granito y basalto.

La broca adopta un diseño compuesto de PDC (compuesto de diamante policristalino) y carburo cementado. El cuerpo principal está hecho de acero de aleación de alta resistencia (como 42CrMo, dureza de temple HRC 40-52), y los dientes o cuchillas de corte utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga térmica. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). El rango de dureza es HV $1800-2200 \pm 30$, y puede alcanzar $2400-2600 \pm 50$ localmente. La capa de PDC tiene un espesor de $0,5$ a 2 mm , combinada con el sustrato de carburo cementado, para mejorar la resistencia al impacto y al desgaste (K_{IC} $12-18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Se puede aplicar un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor: $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, mejora la resistencia al desgaste en un $20\% \pm 3\%$ y mejora aún más la resistencia a la fatiga mediante la modificación de la superficie (como el reforzamiento por láser). La broca está equipada con cojinetes de alto rendimiento y sellos metálicos en la cara, y es resistente a altas temperaturas ($>250\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$).

2. Principio de funcionamiento y características de las brocas de carburo cementado para granito y basalto.

La broca de perforación funciona girando la broca (velocidad $80-250\text{ rpm} \pm 10\text{ rpm}$) y presurizando (presión de la broca $100-500\text{ kN} \pm 10\text{ kN}$). Los dientes o cuchillas de corte rompen el granito (resistencia a la compresión $80-200\text{ MPa}$) y el basalto ($100-300\text{ MPa}$) a través de alto cizallamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y trituración. La broca está diseñada con una disposición de dientes cortos de alta densidad y un ángulo de corte optimizado ($15^{\circ} - 25^{\circ} \pm 2^{\circ}$) para adaptarse a formaciones ultraduras. Combinado con el efecto de lavado y transporte del fluido de perforación (a base de agua o a base de aceite), reduce la adhesión y la acumulación de escombros. La broca genera una alta fuerza de impacto ($100-400 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) en el fondo del pozo, lo cual es adecuado para formaciones de alta dureza. La profundidad de perforación puede alcanzar cientos a miles de metros. La eficiencia depende de la dureza de la roca y puede alcanzar velocidades de hasta 30-80 m/h. La tecnología más reciente incorpora un mecanismo de oscilación adaptativa para mejorar la eficiencia de perforación en formaciones ultraduras en un $5\% \pm 1\%$.

Rendimiento y factores de influencia de las brocas de carburo cementado para la perforación de granito y basalto

Propiedades del material : El WC proporciona alta dureza, el Co mejora la tenacidad ($K_{IC} 12-16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, el valor máximo puede alcanzar $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), índice de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, resistencia a altas temperaturas (resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$ a $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$). La resistencia al desgaste de la capa de PDC es un $30\% \pm 5\%$ mayor que la del carburo cementado, pero es necesario optimizar la sensibilidad al impacto.

Diseño geométrico : El ángulo de corte de $15^{\circ}-25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ optimiza la eficiencia de perforación, y la forma del diente, cónica o esférica, facilita la penetración en granito y basalto. El diseño de la ranura de viruta (ancho de $5-10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) optimiza la extracción de viruta, y la ranura espiral mejora la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$.

Parámetros de trabajo : La presión de perforación, la velocidad de rotación y el caudal del fluido de perforación afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una presión de perforación $> 500 \text{ kN}$ o una velocidad de rotación $> 250 \text{ rpm}$) pueden acortar la vida útil en un $15\% \pm 2\%$. Deben ajustarse dinámicamente según las características de la formación.

Factores ambientales : Las altas temperaturas ($>700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), la alta abrasión (como las formaciones que contienen arena de cuarzo) o las formaciones que contienen agua aumentan el desgaste en un $5\% \pm 1\%$, y la alta presión ($>100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) requiere una estructura y sellos reforzados.

4. Tipos y aplicaciones de brocas de carburo cementado para granito y basalto

Brocas para granito

Características: Dientes cortos con disposición de alta densidad, adecuados para granito (resistencia a la compresión 80-200 MPa), vida útil 150-300 horas ± 20 horas, velocidad de perforación 20-40 m/h, comúnmente utilizado en minería de minerales profundos.

Brocas de perforación de basalto

Características: Dientes cortos con disposición de alta densidad, adecuados para basalto (resistencia a la compresión 100-300 MPa), vida útil 200-350 horas ± 20 horas, velocidad de perforación 15-30 m/h, ampliamente utilizado en la construcción de infraestructura.

brocas híbridas

Características: Combinando PDC y carburo cementado, es adecuado para formaciones ultraduras y complejas (resistencia a la compresión 80-300 MPa), con una eficiencia de prueba de 40-80 m/h $\pm 5 \text{ m/h}$, y es adecuado para condiciones geológicas variables.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

brocas especiales

Estos incluyen brocas resistentes a altas temperaturas ($>800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y brocas resistentes a altas presiones (resistentes a presiones $>120\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), optimizadas para entornos extremos como rocas volcánicas y formaciones de aguas profundas.

5. Aplicación de brocas de carburo cementado para perforación de granito y basalto

Exploración geológica

Se utiliza para muestreo de núcleos profundos, precisión $\pm 0,01\text{ mm}$, de acuerdo con la norma ISO 3551, para evaluación de recursos minerales y geotérmicos.

Minería de minerales

Se aplica a la minería de minerales de granito y basalto, con una resistencia al desgaste de $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con las normas ISO 10896, facilitando la minería de tierras raras y metales preciosos.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para perforar agujeros en túneles, puentes y cimentaciones de ferrocarriles de alta velocidad, adecuado para formaciones ultraduras y para respaldar proyectos de ingeniería a gran escala.

Transición energética

Se utiliza en perforaciones geotérmicas y en el refuerzo de cimientos de torres de energía eólica, con una excelente resistencia a altas temperaturas y cumple con las normas IEC 61400.

Investigación y educación

Se aplica a experimentos de mecánica de rocas y perforación de rocas superduras, con una precisión de $<0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$.

Ingeniería de defensa

Se utiliza para perforación de búnkeres subterráneos y refuerzo de cimientos de bases militares, resistencia al impacto $>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$.

6. Avances tecnológicos de las brocas de carburo cementado para granito y basalto

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) mejora la dureza ($\text{HV } 2200\text{-}2600 \pm 50$) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($>98\% \pm 1\%$), lo que extiende la vida útil en un $25\% \pm 3\%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste (profundidad $>0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la temperatura ($<800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) en tiempo real, optimizando los ciclos de reemplazo con un error de $<5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30\text{-}50\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) se utiliza para fabricar hojas complejas con una resistencia de $1600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

Tecnología adaptativa

Ajuste dinámicamente los parámetros de corte (como la presión y la velocidad de perforación) para mejorar la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Seguridad y normas para brocas de carburo cementado para granito y basalto

Cumple con normas internacionales como API 7-1, ISO 3551, ISO 10896 e IEC 61400. Si el desgaste supera el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), debe reemplazarse. La tasa de accidentes es $<0,1 \% \pm 0,02 \%$. Los operadores deben usar equipo de protección (casco y gafas de seguridad). Es necesario reforzar las inspecciones de seguridad y los diseños estructurales en entornos de alta presión.

Las brocas de carburo para granito y basalto son herramientas esenciales para proyectos de perforación en roca dura gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, que han impulsado la mejora de la eficiencia y la optimización de costos en la explotación de recursos profundos. En la era de la IA y el contexto de la Internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



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

¿Qué es una broca de muestreo de núcleo de carburo?

La broca de carburo para muestreo de núcleos es una herramienta de corte diseñada para la exploración geológica y la investigación científica, que permite obtener núcleos de alta calidad de formaciones rocosas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co) en su fabricación, lo que proporciona una excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando una perforación eficiente y manteniendo la integridad del núcleo en diversos tipos de roca (como granito, esquisto y basalto). Como componente clave de los equipos de perforación geológica, la broca para muestreo de núcleos influye directamente en la precisión del muestreo, la tasa de recuperación de núcleos y la vida útil de la broca, y se utiliza ampliamente en la exploración minera, la exploración de petróleo y gas, y la investigación ambiental. De acuerdo con los avances tecnológicos de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las brocas para muestreo de núcleos.

1. Estructura y materiales de las brocas de muestreo de núcleos de carburo cementado

Las brocas para muestreo de núcleos suelen tener un diseño cilíndrico, con un revestimiento en la pared interior para proteger el núcleo, y el cuerpo principal está hecho de acero de aleación de alta resistencia (como 40CrMo, dureza de temple HRC 40-50). La parte de corte utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga térmica. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión a $0,5-2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente $0,8-1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). El rango de dureza es HV $1800-2200 \pm 30$, y puede alcanzar $2400-2600 \pm 50$ localmente. Los dientes o cuchillas de corte se pueden recubrir con un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$), el coeficiente de fricción se reduce a $<0,25 \pm 0,05$, la resistencia al desgaste se mejora en un $20\% \pm 3\%$ y la resistencia a la fatiga se mejora aún más mediante la modificación de la superficie (como el refuerzo por láser). El diámetro interior de la broca está diseñado de acuerdo con las especificaciones centrales (como las series NQ, HQ, PQ), el diámetro exterior es de $50-150\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, equipado con cojinetes de alta precisión y sistemas de sellado, y resistencia a altas temperaturas ($> 200\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$).

2. Principio de funcionamiento y características de las brocas de muestreo de núcleos de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

funciona girando la broca (velocidad 100-300 rpm $\pm$ 10 rpm) y presurizando (presión de la broca 20-200 kN $\pm$ 5 kN). Los dientes de corte cortan la roca a lo largo de la circunferencia y el núcleo sube a la parte superior de la broca a lo largo de la pared interior. La broca está diseñada para corte de alto torque a baja velocidad, ángulo de corte optimizado (15° - $25^{\circ} \pm 2^{\circ}$), reduciendo la fractura del núcleo y combinando el efecto de lavado y transporte del fluido de perforación (a base de agua o a base de aceite) para garantizar la integridad del núcleo. Es adecuado para formaciones con una resistencia a la compresión de 20-200 MPa, y la profundidad de perforación puede alcanzar los 1000-3000 m. El objetivo de tasa de recuperación de núcleo es $>90\% \pm 2\%$, y la eficiencia depende de la dureza de la formación, hasta 10-30 m/h. La última tecnología introduce un mecanismo de oscilación adaptativo para aumentar la tasa de recuperación del núcleo de formaciones complejas en un $5\% \pm 1\%$.

3. Rendimiento y factores influyentes de las brocas de muestreo de núcleos de carburo cementado

Propiedades del material : El WC proporciona alta dureza, el Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0,5, con un valor máximo de 18 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0,5), índice de desgaste $<0,05$ mm³ / N $\cdot$ m $\pm$ 0,01 mm³ / N $\cdot$ m, resistencia a altas temperaturas (resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$ a $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$). El recubrimiento reduce el índice de adhesión $<2\% \pm 0,5\%$ y mejora la calidad superficial del núcleo.

Diseño geométrico : el ángulo de corte de 15° - $25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ optimiza la eficiencia de corte, la forma del diente es cónica o de fondo plano, la suavidad de la pared interna $<0,1$ mm $\pm$ 0,01 mm, lo que reduce la fricción del núcleo.

Parámetros de trabajo : La presión de perforación, la velocidad de rotación y el caudal del fluido de perforación afectan directamente la tasa de recuperación. Parámetros excesivamente altos (como una presión de perforación > 200 kN o una velocidad de rotación > 300 rpm) pueden reducir la integridad del núcleo en un $5\% \pm 1\%$ y requieren ajustes dinámicos.

Factores ambientales : La temperatura alta ($>700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), la alta abrasividad (como las formaciones de arena de cuarzo) o las formaciones que contienen agua aumentan el desgaste en un $5\% \pm 1\%$, y la viscosidad del fluido de perforación debe ajustarse para proteger el núcleo.

4. Tipos y aplicaciones de brocas de carburo cementado para muestreo de núcleos

Broca para muestreo de rocas blandas

Características: Adecuado para pizarra y lodolita (resistencia a la compresión 20-50 MPa), vida útil 200-300 horas $\pm$ 20 horas, velocidad de perforación 20-30 m/h, comúnmente utilizado para exploración superficial.

Brocas para muestreo de rocas duras

Características: Adecuado para granito y basalto (resistencia a la compresión 50-200 MPa), vida útil 150-250 horas $\pm$ 20 horas, velocidad de perforación 10-20 m/h, ampliamente utilizado en minerales profundos.

brocas híbridas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características: Combinación de PDC y carburo cementado, adecuado para formaciones complejas (resistencia a la compresión 20-200 MPa), tasa de recuperación de prueba $>95\% \pm 2\%$, adecuado para formaciones alternas blandas y duras.

brocas especiales

Incluye brocas resistentes a altas temperaturas ($>800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y brocas resistentes a altas presiones (resistencia a la presión $>100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), optimizadas para entornos extremos como aguas profundas y formaciones de rocas volcánicas.

5. Aplicación de brocas de muestreo de núcleos de carburo

Exploración minera

Se utiliza para muestreo de minerales profundos, precisión $\pm 0,01\text{ mm}$, de acuerdo con el estándar ISO 3551, aplicado en exploración de tierras raras y metales preciosos.

Exploración de petróleo y gas

Aplicado a la adquisición de núcleos profundos, con una vida útil de 200 a 300 horas, cumple con los estándares API 7-1 y apoya la evaluación de campos de petróleo y gas.

Estudios ambientales

Para el muestreo de suelo y sedimentos, la tasa de recuperación es $>90\% \pm 2\%$, lo que cumple con la norma ASTM D2113 y se utiliza en la investigación sobre el cambio climático.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para estudios geológicos de túneles y puentes, es adecuado para estratos de alta dureza y respalda la selección del sitio del proyecto.

Investigación y educación

Se aplica a experimentos de mecánica de rocas y ensayos de perforación geológica, con una precisión de $<0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$.

Ingeniería de defensa

Se utiliza para exploración de recursos subterráneos y evaluación de cimientos de bases militares, resistencia al impacto $>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$.

6. Tecnología de brocas de carburo para muestreo de núcleos

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) mejora la resistencia al desgaste (HV 2200-2600 ± 50), y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($>98\% \pm 1\%$), lo que extiende la vida útil en un $25\% \pm 3\%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste (profundidad $>0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y el estado del núcleo en tiempo real, optimizando los parámetros de perforación con un error de $<5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30-50\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) se utiliza para fabricar estructuras de corte complejas con una resistencia de $1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

Tecnología adaptativa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ajuste dinámicamente la velocidad de corte para aumentar la tasa de recuperación en un $5\% \pm 1\%$ y combine el algoritmo de IA para optimizar el proceso de perforación.

7. Seguridad y normas de las brocas de muestreo de núcleos de carburo

Cumple con normas internacionales como ISO 3551, ASTM D2113 y API 7-1. Si el desgaste supera el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), debe reemplazarse. La tasa de accidentes es $<0,1\% \pm 0,02\%$. Los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras). La perforación profunda requiere pruebas de seguridad mejoradas y un diseño de sellado más riguroso.

Gracias a su alta precisión y diseño innovador, las brocas de carburo para muestreo de núcleos son herramientas esenciales para la exploración geológica, lo que promueve la mejora de la eficiencia en el desarrollo de recursos y la optimización de la calidad de los datos. En la era de la IA y el contexto del internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



1

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

¿Qué es una broca de carburo para perforación de pozos geotérmicos?

Las brocas de carburo para perforación de pozos geotérmicos son herramientas de corte diseñadas específicamente para el desarrollo de recursos geotérmicos, diseñadas para perforar eficientemente formaciones de alta temperatura, alta dureza y corrosión para obtener energía geotérmica. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co) para fabricar brocas, que ofrecen excelente dureza, resistencia al desgaste y a las altas temperaturas, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en entornos extremos. Como componente clave de los equipos de perforación geotérmica, las brocas influyen directamente en la velocidad de perforación, la calidad de la profundidad del pozo y la vida útil de la herramienta, y se utilizan ampliamente en la exploración y el desarrollo de energía geotérmica. Con base en el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las brocas.

1. Estructura y materiales de las brocas de carburo cementado para pozos geotérmicos

La broca suele adoptar un diseño compuesto de PDC (compuesto de diamante policristalino) y carburo cementado. El cuerpo principal está hecho de acero aleado resistente a altas temperaturas (como 42CrMoNi, dureza de temple HRC 40-52), y la parte de corte utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos resistentes a altas temperaturas (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para mejorar el rendimiento. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). El rango de dureza es de $\text{HV } 1800-2200 \pm 30$, pudiendo alcanzar localmente entre $2400-2600 \pm 50$. El espesor de la capa de PDC es de $0,5$ a 2 mm , combinado con el sustrato de carburo cementado, y es resistente a altas temperaturas ($>400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$). Se aplica un recubrimiento de TiAlN o CrN (espesor $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, mejora la resistencia a la corrosión en un $15\% \pm 2\%$ y mejora aún más la resistencia a la fatiga mediante la modificación de la superficie (como el reforzamiento por láser). La broca está equipada con sellos de alta temperatura ($>300\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$) y un sistema de lubricación con compensación de presión.

2. Principio de funcionamiento y características de las brocas de carburo cementado para pozos geotérmicos

La broca funciona mediante rotación (velocidad de $80-200\text{ rpm} \pm 10\text{ rpm}$) y presurización (presión de la broca de $100-600\text{ kN} \pm 10\text{ kN}$). Los dientes o cuchillas de corte rompen la roca de alta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperatura (como granito, basalto, con una resistencia a la compresión de 80-300 MPa) mediante cizallamiento y trituración. La broca está diseñada con una disposición de dientes cortos de alta densidad y un ángulo de corte optimizado (15° - $25^{\circ} \pm 2^{\circ}$) para adaptarse a entornos de alta temperatura y alta presión. Combina los efectos de lavado y transporte de los fluidos de perforación de alta temperatura (a base de agua o aceite) para eliminar los residuos. La broca genera una alta fuerza de impacto (100 - $500 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) en el fondo del pozo y es adecuada para formaciones geotérmicas con una profundidad de 3000 - 7000 m y una temperatura de 200 - $350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. La eficiencia de perforación depende de la dureza de la formación y puede alcanzar hasta 20 - 60 m/h . La tecnología más reciente introduce un mecanismo de oscilación adaptativa para aumentar la eficiencia de perforación en formaciones de alta temperatura en un $5\% \pm 1\%$.

3. Rendimiento y factores influyentes de las brocas de perforación de pozos geotérmicos de carburo cementado

Propiedades del material : El WC proporciona alta dureza, el Co mejora la tenacidad (K_{1c} 12 - $16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, el valor máximo puede alcanzar $18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y presenta alta resistencia a la temperatura (resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$ a $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$). El TaC mejora la estabilidad térmica, el Cr_3C_2 reduce la corrosión intergranular y la tasa de resistencia a la corrosión del recubrimiento es $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$.

Diseño geométrico : El ángulo de corte de 15° - $25^{\circ} \pm 5^{\circ}$ optimiza la eficiencia de perforación, y la forma cónica del diente facilita la penetración en rocas de alta dureza. El diseño de ranura de viruta (ancho de 5 - $10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) optimiza la extracción de viruta, y la ranura espiral mejora la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$.

Parámetros de trabajo : La presión de perforación, la velocidad de rotación y el caudal del fluido de perforación afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una presión de perforación $> 600 \text{ kN}$ o una velocidad de rotación $> 200 \text{ rpm}$) pueden acortar la vida útil en un $15\% \pm 2\%$. Deben ajustarse dinámicamente según las características de la formación.

Factores ambientales : Las altas temperaturas ($>350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$), las altas presiones ($>100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) o las formaciones que contienen H_2S aumentan el desgaste en un $5\% \pm 1\%$, lo que requiere un diseño anticorrosivo mejorado y lubricación de alta temperatura.

4. Tipos y aplicaciones de las brocas de carburo cementado para pozos geotérmicos

Broca de perforación geotérmica poco profunda

Características: Aplicable a 200 - 1000 m , resistencia a la compresión 20 - 80 MPa , vida útil 200 - 300 horas ± 20 horas, velocidad de perforación 30 - 50 m/h , comúnmente utilizado en el desarrollo de baja energía térmica.

Perforación geotérmica profunda

Características: Aplicable a 3000 - 7000 m , resistencia a la compresión 80 - 300 MPa , vida útil 150 - 250 horas ± 20 horas, velocidad de perforación 20 - 40 m/h , ampliamente utilizado en pozos geotérmicos de alta temperatura.

brocas híbridas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características: Combinando PDC y carburo cementado, es adecuado para formaciones complejas de alta temperatura (resistencia a la compresión 20-300 MPa), con una eficiencia de prueba de 40-60 m/h $\pm$ 5 m/h, y es adecuado para condiciones geológicas variables.

brocas especiales

Entre ellas se incluyen brocas de temperatura ultra alta ($>400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) y brocas resistentes a la corrosión (resistentes a $\text{H}_2\text{S} > 5000$ horas ± 200 horas), optimizadas para entornos extremos, como formaciones profundas y de alta temperatura.

5. Aplicación de brocas de carburo cementado para perforación de pozos geotérmicos

Exploración de energía geotérmica

Se utiliza para la evaluación de recursos geotérmicos profundos, con una precisión de $\pm 0,01\text{ mm}$, de acuerdo con la norma ISO 3551, para la determinación del potencial de energía geotérmica.

Desarrollo de energía térmica profunda

Aplicable a la perforación de pozos geotérmicos de alta temperatura, con una vida útil de 200 a 300 horas, de conformidad con los estándares API 7-1 y en apoyo a la generación de energía geotérmica.

Transición energética

Utilizado en calefacción geotérmica y proyectos de nuevas energías, tiene una excelente resistencia a altas temperaturas y cumple con las normas IEC 61400.

Investigación y desarrollo

Se aplica a pruebas de formación geotérmica e investigación de flujo de calor, con una precisión de $<0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$.

Construcción de infraestructura

Utilizado en proyectos de integración de pozos geotérmicos e infraestructura, adaptable a estratos de alta dureza y soporte de edificaciones ecológicas.

Ingeniería de defensa

Para perforación de recursos geotérmicos y aplicaciones militares, resistencia al impacto $>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$.

6. Tecnología de brocas de carburo cementado para perforación de pozos geotérmicos

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) mejora la resistencia a altas temperaturas (HV 2200-2600 ± 50), y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($>98\% \pm 1\%$), lo que extiende la vida útil en un $25\% \pm 3\%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste (profundidad $>0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la temperatura ($<400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) en tiempo real, optimizando los parámetros de perforación con un error de $<5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30-50\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) se utiliza para fabricar estructuras de corte complejas con una resistencia de $1600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, reduciendo el desperdicio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de material en un $10\% \pm 2\%$.

Tecnología adaptativa

Ajuste dinámicamente los parámetros de corte (como la presión y la velocidad de perforación) para mejorar la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

7. Seguridad y normas de las brocas de carburo cementado para pozos geotérmicos

Cumple con estándares internacionales como ISO 3551, API 7-1 e IEC 61400. Si el desgaste excede el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), debe reemplazarse. La tasa de accidentes es $<0,1\% \pm 0,02\%$. Los operadores deben usar equipo de protección (cascos de seguridad, gafas protectoras). Las inspecciones de seguridad y los diseños de sellado deben reforzarse en entornos de alta temperatura y alta presión. Con su alto rendimiento y diseño innovador, las brocas de perforación de pozos geotérmicos de carburo cementado son las herramientas centrales para el desarrollo geotérmico, promoviendo la mejora de la eficiencia y la optimización de costos de las energías renovables. En la era de la IA y el contexto de la Internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se expandirán aún más. Combinado con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que logre una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



¿Qué son los cortadores de draga de carburo?

Los dientes de corte de carburo para dragas son herramientas de corte de alta eficiencia, especialmente diseñadas para dragas, utilizadas en el dragado de ríos, puertos y la excavación y limpieza de estratos marinos. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinados con un diseño geométrico optimizado y un recubrimiento resistente al desgaste, que proporcionan una excelente dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en entornos altamente abrasivos, con alta humedad y con impurezas. Como componente clave del cucharón o cabezal de corte de la draga, los dientes de corte influyen directamente en la eficiencia del dragado, la capacidad de manejo de materiales y la vida útil del equipo, y se utilizan ampliamente en el mantenimiento de vías fluviales, la construcción portuaria y la ingeniería naval. De acuerdo con el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes 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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

corte.

1. Estructura y materiales de los dientes de corte de draga de carburo cementado

Los dientes de corte suelen estar diseñados con hojas puntiagudas o anchas, y se instalan sobre un sustrato de acero aleado de alta resistencia (como 40CrMo, dureza de temple HRC 40-52). El cuerpo del diente utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $> 90 \% \pm 1 \%$) como fase dura, cobalto (Co, $6 \%-12 \% \pm 1 \%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5 \%-2 \% \pm 0,1 \%$, TaC $1 \%-3 \% \pm 0,2 \%$, NbC $0,5 \%-1,5 \% \pm 0,1 \%$) para optimizar la resistencia al desgaste y a la corrosión. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, presión $45-55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, presión $150-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9 \% \pm 0,1 \%$ y la porosidad sea $< 0,1 \% \pm 0,05 \%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2 \mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot (-1/2)$). El rango de dureza es de HV $1800-2200 \pm 30$, pudiendo alcanzar localmente entre 2400 y 2600 ± 50 . Se aplica un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor: $0,5-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $< 0,25 \pm 0,05$, mejora la resistencia a la corrosión en un $15 \% \pm 2 \%$ y mejora aún más la resistencia a la fatiga mediante modificaciones superficiales (como el reforzamiento por láser). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (resistencia de soldadura $> 700 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $> 10 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$), que puede adaptarse a trabajos de alto torque ($200-800 \text{ kN} \cdot \text{m} \pm 20 \text{ kN} \cdot \text{m}$).

2. Principio de funcionamiento y características de los dientes de corte de draga de carburo cementado.

Los dientes de corte funcionan mediante el accionamiento mecánico o hidráulico de la draga (velocidad de corte $0,5-2 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$, potencia $500-2000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$), cortando y excavando formaciones de limo, arcilla o grava a lo largo de la superficie. Las puntas de los dientes trituran el material por extrusión (presión de contacto $150-400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento $30-70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), adecuado para formaciones con resistencia a la compresión de $5-50 \text{ MPa}$. El diseño integra la mecánica de corte y la optimización de la conducción de calor, con un ángulo de entrada de $20^\circ-40^\circ \pm 5^\circ$, un ángulo de inclinación posterior de $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ y vibración reducida (aceleración $< 10 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$). La punta del diente está sometida a altas cargas abrasivas y térmicas (temperatura superficial: $200-500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), y la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^4$ veces). La tecnología más avanzada incorpora un mecanismo de oscilación adaptativo que mejora la eficiencia de corte en formaciones complejas en un $5 \% \pm 1 \%$.

3. Rendimiento y factores que influyen en los dientes de corte de draga de carburo cementado

Propiedades del material : WC proporciona alta dureza, Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16

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

$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, el valor máximo puede alcanzar $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{Cl}^- >3000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Diseño geométrico : dientes puntiagudos para formaciones duras, dientes anchos para formaciones blandas o pegajosas, eficiencia de corte optimizada (consumo de energía $<10 \text{ kWh/m}^3 \pm 0,5 \text{ kWh/m}^3$). El diseño de ranuras para viruta (ancho $5-10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) optimiza la extracción de material.

Parámetros de trabajo : La velocidad de corte, la potencia y el caudal de lodo afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una velocidad $> 2 \text{ m/s}$ o una potencia $> 2000 \text{ kW}$) pueden acortar la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$ y deben ajustarse dinámicamente.

Factores ambientales : Un contenido de agua $>15\% \pm 2\%$, un contenido de arena $>5\% \pm 1\%$ o una salinidad $>3\% \pm 0,5\%$ aumentarán el desgaste en un $5\% \pm 1\%$ y requerirán un recubrimiento anticorrosivo y una lubricación mejorados.

4. Tipos y aplicaciones de los dientes de corte de draga de carburo cementado

Dientes de corte estándar

Características: Adecuado para lodo blando y arcilla (resistencia a la compresión $5-20 \text{ MPa}$), vida útil $300-500 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, eficiencia de corte $150-300 \text{ m}^3 / \text{h}$, comúnmente utilizado para dragado de ríos.

Dientes de corte mejorados

Características: Adecuado para grava o terreno duro (resistencia a la compresión $20-50 \text{ MPa}$), vida útil $250-400 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, eficiencia de corte $100-250 \text{ m}^3 / \text{h}$, ampliamente utilizado en la construcción de puertos.

Dientes de corte resistentes a la corrosión

Características: Adecuado para entornos de agua de mar, resistencia al $\text{Cl}^- >4000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$, vida útil $350-450 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, adecuado para ingeniería marina.

Dientes de corte especiales

Incluye dientes de corte resistentes a altas temperaturas ($>500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) y dientes de corte súper resistentes al desgaste (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), optimizados para entornos extremos como el dragado de aguas profundas.

5. Aplicación de los dientes de corte de draga de carburo

Mantenimiento del canal

Utilizado para el dragado de ríos y canales, con una vida útil de $300-400 \text{ horas}$, cumple con la norma ISO 19901 para garantizar la seguridad del transporte marítimo.

Construcción de puertos

Se aplica a la expansión de puertos y a la limpieza de cimientos de muelles, resistencia al desgaste $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con la norma DIN 19704.

Ingeniería Marina

Utilizado para excavación submarina y tendido de tuberías, con excelente resistencia a la corrosión, cumpliendo con la norma API 7K.

Gobernanza ambiental

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se aplica a la limpieza de sedimentos contaminados, con una tasa de recuperación de $>90\% \pm 2\%$, apoyando proyectos de mejora de la calidad del agua.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para dragado de centrales hidroeléctricas y cimientos de puentes, adecuado para estratos de alta dureza y para apoyar proyectos de gran escala.

Investigación y desarrollo

Se aplica al muestreo geológico marino y a las pruebas subacuáticas, con una precisión de $<0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

Recuperación de tierras, construcción de islas y arrecifes

En proyectos de recuperación de tierras y construcción de islas, los dientes de corte pueden procesar eficientemente formaciones de fondo marino duro (como arrecifes de coral y capas de grava, con una resistencia a la compresión de 20-50 MPa), lograr excavaciones y rellenos de tierra a gran escala, tener una vida útil de 300-450 horas y una eficiencia de $200\text{-}500 \text{ m}^3/\text{h}$, asegurando el progreso del proyecto. Especialmente en la construcción de islas y arrecifes, la resistencia a la corrosión (resistencia al $\text{Cl}^- > 4000$ horas) y al desgaste (tasa de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) de los dientes de corte facilitan el funcionamiento continuo en entornos marinos, aseguran la rápida formación de islas artificiales estratégicas y proporcionan una base sólida para la seguridad y la defensa nacionales. Los dientes de corte mejorados y especiales también pueden abordar formaciones de alta dureza en aguas profundas, satisfacer las necesidades urgentes de la construcción de bases militares, instalaciones de defensa portuaria y estaciones de suministro en alta mar, y fortalecer el control estratégico de China sobre aguas clave como el Mar de China Meridional.

6. Tecnología de dientes de corte de draga de carburo

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejora la resistencia al desgaste (HV $2200\text{-}2600 \pm 50$) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la corrosión ($> 98\% \pm 1\%$), extendiendo la vida útil en un $25\% \pm 3\%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste en tiempo real (profundidad $> 0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y optimizan los ciclos de reemplazo con un error de $< 5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30\text{-}50 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) se utiliza para fabricar formas de dientes complejas con una resistencia de $1400 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

Diseño adaptativo

Ajuste dinámicamente los ángulos de corte (como el ángulo de entrada y el ángulo de inclinación posterior) para mejorar la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

7. Normas para dientes de corte de draga de carburo

Cumple con normas internacionales como ISO 19901, DIN 19704, API 7K, etc. Si el desgaste supera el límite ($> 6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$), es necesario reemplazarlo; la tasa de accidentes es $< 0,1\% \pm 0,02\%$ y los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras y botas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

antideslizantes). El entorno marino requiere un diseño antideslizante y un sellado mejorado. Gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, los dientes de corte de carburo para dragas son herramientas clave en la ingeniería de dragado, lo que ha impulsado la mejora de la eficiencia del desarrollo hídrico y la optimización de costos. En la era de la IA y el contexto de la Internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro, especialmente en proyectos de recuperación de tierras, construcción de islas y arrecifes, y defensa nacional.



1

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

¿Qué son los dientes de carburo para romper madera?

Los dientes de carburo para trituradoras de madera son herramientas de corte de alta eficiencia diseñadas para triturar madera, ramas y residuos en pequeñas partículas o astillas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinados con un diseño geométrico optimizado y un revestimiento resistente al desgaste, que proporcionan una excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en entornos de alta intensidad, alta humedad y con impurezas. Como componente clave del tambor o disco de corte de la trituradora de madera, los dientes trituradores afectan directamente la eficiencia de trituración, la uniformidad de las partículas y la vida útil del equipo, y se utilizan ampliamente en el procesamiento de madera, la producción de energía a partir de biomasa y el reciclaje de residuos. De acuerdo con los avances tecnológicos de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes trituradores.

1. Estructura y material de los dientes de la trituradora de madera de carburo.

Los dientes de trituración suelen tener puntas puntiagudas o dentadas y se instalan sobre un sustrato de acero aleado de alta resistencia (como 40Cr, dureza de temple HRC 40-50). El cuerpo del diente utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$) para optimizar la resistencia al desgaste y la antiadherencia. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño del grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$). El rango de dureza es HV $1800-2200 \pm 30$, pudiendo alcanzar localmente $2400-2600 \pm 50$. Se aplica un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, y la antiadherencia (índice de adhesión $<2\% \pm 0,5\%$) mejora la eficiencia del procesamiento de la madera, y el rendimiento antifatiga se mejora aún más mediante la modificación de la superficie (como el refuerzo láser). Los métodos de fijación incluyen conexión mediante pernos o soldadura (resistencia de soldadura $> 600\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$), que puede adaptarse a trabajos de alto torque ($100-500\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 10\text{ kN}\cdot\text{m}$).

2. Principio de funcionamiento y características de los dientes trituradores de madera de carburo.

Los dientes trituradores funcionan mediante la rotación de la trituradora de madera (velocidad $200-600\text{ rpm} \pm 20\text{ rpm}$, potencia $50-300\text{ kW} \pm 10\text{ kW}$), cortando y triturando a lo largo de la superficie de la madera. La punta del diente descompone las fibras de madera por extrusión (presión de contacto $50-150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento $20-50\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

adecuado para madera con una dureza de 5-30 MPa y estratos de impurezas. El diseño integra la mecánica de corte y la optimización de la conducción de calor, con un ángulo de entrada de 25° - $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$, un ángulo de inclinación posterior de 5° - $15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ y vibración reducida (aceleración $<8 \text{ m/s}^2 \pm 0,5 \text{ m/s}^2$). La punta del diente está sometida a altas cargas de desgaste y adherencia (temperatura superficial: $100\text{-}300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$), y la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $>1100 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $>10^6$ veces $\pm 10^4$ veces). La tecnología más avanzada incorpora un mecanismo de oscilación adaptativo que mejora la eficiencia de trituración de madera compleja y estratos impuros en un $5\% \pm 1\%$.

3. Rendimiento y factores que influyen en los dientes trituradores de madera de carburo

Propiedades del material : WC proporciona alta dureza, Co mejora la tenacidad (K_{IC} $12\text{-}16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, el valor máximo puede alcanzar $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$).

Diseño geométrico : dientes puntiagudos para madera dura o con clavos, dientes serrados para madera blanda o de gran diámetro, eficiencia de trituración optimizada (consumo de energía $<5 \text{ kWh/m}^3 \pm 0,2 \text{ kWh/m}^3$). El diseño de ranuras para virutas (ancho $5\text{-}10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) optimiza la descarga de las virutas.

Parámetros de trabajo : La velocidad, la potencia y la velocidad de avance afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una velocidad $>600 \text{ rpm}$ o una potencia $>300 \text{ kW}$) pueden acortar la vida útil en un $15\% \pm 2\%$ y deben ajustarse dinámicamente.

Factores ambientales : Un contenido de agua $>20\% \pm 2\%$, un contenido de impurezas $>5\% \pm 1\%$ o una temperatura $>300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ aumentarán el desgaste en un $5\% \pm 1\%$. Es necesario limpiar la adherencia regularmente y optimizar el recubrimiento.

4. Tipos de dientes trituradores de madera de carburo

Dientes trituradores estándar

Características: Adecuado para madera blanda y ramas (dureza $5\text{-}15 \text{ MPa}$), vida útil $400\text{-}600$ horas ± 20 horas, eficiencia de trituración $100\text{-}200 \text{ m}^3 / \text{h}$, comúnmente utilizado en la producción de combustible de biomasa.

Dientes triturados mejorados

Características: Adecuado para madera dura o madera que contiene impurezas metálicas (dureza $15\text{-}30 \text{ MPa}$), vida útil $300\text{-}500$ horas ± 20 horas, eficiencia de trituración $80\text{-}150 \text{ m}^3 / \text{h}$, ampliamente utilizado en el reciclaje de residuos de madera.

Dientes de corte antiadherentes

Características: Adecuado para madera con alta humedad, tasa de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$, vida útil de 450 a 600 horas ± 20 horas, adecuado para ambientes húmedos.

Dientes trituradores especiales

Incluye dientes trituradores resistentes a altas temperaturas ($>300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) y dientes trituradores ultra resistentes al desgaste (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), optimizados para condiciones extremas como el procesamiento de madera aceitosa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Aplicación de los dientes trituradores de carburo para trituradoras de madera.

Procesamiento de madera

Se utiliza para la trituración de troncos y residuos de madera, con una vida útil de 400-500 horas, de acuerdo con las normas ISO 17225, y se utiliza en la producción de productos de madera.

Producción de energía de biomasa

Aplicado a la preparación de combustible de astillas de madera y biomasa, eficiencia 100-200 m³/h, de acuerdo con la norma EN 14961, apoyando las energías renovables.

Reciclaje de residuos

Se utiliza para reciclar residuos de madera y madera de construcción, con resistencia a la abrasión >95%±2%, de acuerdo con la norma DIN 51731, promoviendo la economía circular.

Gestión forestal

Se utiliza para la poda de árboles y el procesamiento de ramas residuales, es adecuado para madera de alta dureza y apoya la restauración ecológica.

Fabricación de muebles

Se utiliza para el pretratamiento de la madera y la recogida de virutas, con una precisión de <0,1 mm ± 0,01 mm, para optimizar los procesos de producción.

Investigación y desarrollo

Aplicado a experimentos de mecánica de la madera e investigación de biomasa, con una precisión de <0,01 mm ± 0,005 mm.

6. Tecnología de dientes trituradores de madera de carburo

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano <0,5 μm ± 0,01 μm) mejora la resistencia al desgaste (HV 2200-2600 ± 50) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación (> 98 % ± 1 %), lo que extiende la vida útil en un 25 % ± 3 %.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión ±0,05%) monitorean el desgaste en tiempo real (profundidad >0,5 mm ± 0,05 mm) y optimizan los ciclos de reemplazo con un error de <5% ± 1%.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa 30-50 μm ± 5 μm) se utiliza para fabricar formas de dientes complejas con una resistencia de 1300 MPa ± 50 MPa y una reducción del desperdicio de material del 10 % ± 2 %.

Diseño adaptativo

Ajuste dinámicamente los ángulos de corte (como el ángulo de entrada y el ángulo de inclinación posterior) para mejorar la eficiencia en un 10 % ± 2 %, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

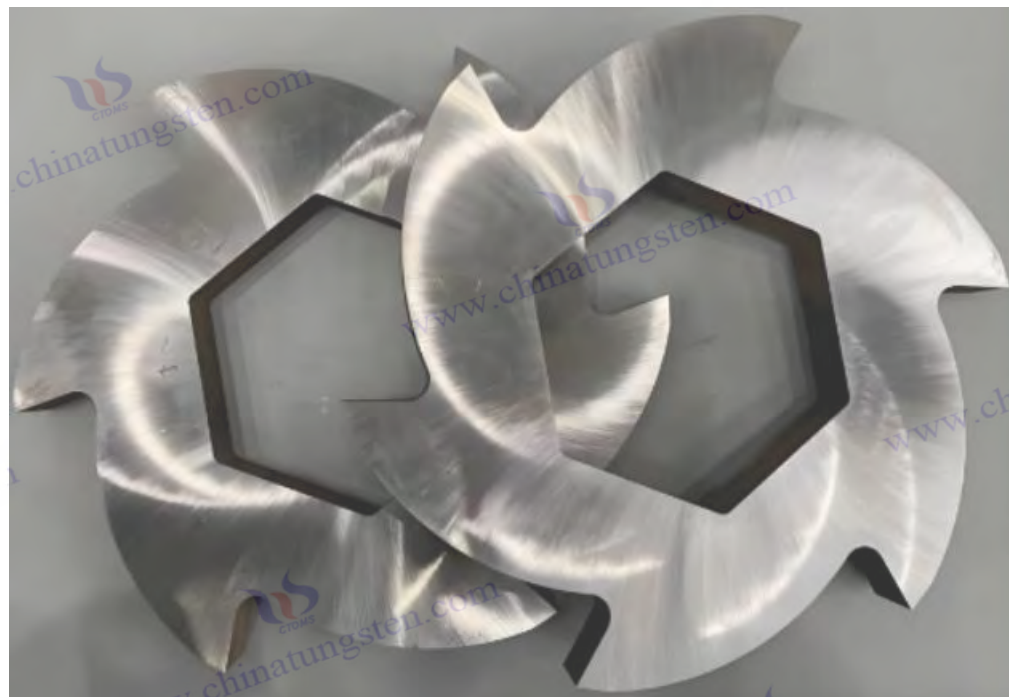
7. Dientes trituradores de madera de carburo estándar

Cumple con normas internacionales como ISO 17225, EN 14961 y DIN 51731. Es necesario sustituir el equipo cuando el desgaste supera el límite (>6 mm ± 0,5 mm). La tasa de accidentes es <0,1 % ± 0,02 %. Los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras y botas antideslizantes). Los entornos con alta humedad requieren un diseño

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

antideslizante y un mantenimiento regular.

Los dientes de carburo para trituradoras de madera son herramientas clave en la industria del procesamiento de la madera gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, que promueven la eficiencia en el uso de recursos y la producción sostenible. En la era de la IA y el contexto del internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



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



¿Qué son los dientes de sierra de tala forestal de carburo?

Los dientes de sierra de carburo para tala forestal son herramientas de corte de alta eficiencia diseñadas para equipos de tala forestal, utilizados para cortar árboles, troncos y madera. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinados con un diseño geométrico optimizado y un recubrimiento resistente al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en entornos de alta intensidad, alta humedad y entornos complejos. Como componente clave de las taladoras o motosierras, los dientes de sierra influyen directamente en la velocidad de corte, la calidad de la madera y la vida útil del equipo, y se utilizan ampliamente en la tala forestal, el procesamiento de la madera y la gestión de la forestación. Basándose en el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una visión general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes de sierra.

1. Estructura y materiales de los dientes de sierra de tala forestal de carburo cementado

Los dientes de sierra suelen tener un diseño triangular o trapezoidal agudo y se instalan sobre un sustrato de acero aleado de alta resistencia (como 40Cr, dureza de temple HRC 40-50). El cuerpo del diente utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$) para optimizar la resistencia al desgaste y la antiadherencia. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

precisión entre 0,5 y 2 μm (preferiblemente entre 0,8 y 1,2 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). El rango de dureza es HV 1800-2200 ± 30 , pudiendo alcanzar localmente entre 2400 y 2600 ± 50 . Se aplica un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, y la antiadherencia (índice de adhesión $<2 \% \pm 0,5 \%$) mejora la eficiencia de corte. El rendimiento antifatiga se mejora aún más mediante la modificación de la superficie (como el refuerzo láser). Los métodos de fijación incluyen incrustación mecánica o soldadura (resistencia de soldadura $> 500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), que puede adaptarse a trabajos de alto torque (50-300 $\text{kN} \cdot \text{m} \pm 10 \text{ kN} \cdot \text{m}$).

2. Principio de funcionamiento y características de los dientes de sierra de tala forestal de carburo cementado

Los dientes de la sierra giran la cadena o el disco de la taladora (velocidad: 1000-3000 rpm ± 100 rpm, potencia: 20-150 kW ± 5 kW), cortando a lo largo de la superficie del tronco. La punta del diente descompone la fibra de madera mediante extrusión (presión de contacto: 30-100 MPa ± 5 MPa) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento: 15-40 MPa ± 2 MPa), lo que resulta adecuado para árboles con una dureza de 5-25 MPa y capas de impurezas. El diseño integra la mecánica de corte y la optimización de la conducción térmica, con un ángulo de entrada de 20° - $35^\circ \pm 5^\circ$, un ángulo de retroceso de 5° - $10^\circ \pm 2^\circ$ y una vibración reducida (aceleración $<6 \text{ m/s}^2 \pm 0,5 \text{ m/s}^2$). La punta del diente está sometida a altas cargas de desgaste y adherencia (temperatura superficial: 50-200 $^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), y la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^4$ veces). La tecnología más avanzada incorpora un mecanismo de oscilación adaptativo que mejora la eficiencia de corte de especies arbóreas complejas y formaciones con impurezas en un $5 \% \pm 1 \%$.

3. Rendimiento y factores influyentes de los dientes de sierra de tala forestal de carburo cementado

Propiedades del material : WC proporciona alta dureza, Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, el valor máximo puede alcanzar 18 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$).

Diseño geométrico : dientes triangulares para madera dura o troncos de gran diámetro, dientes trapezoidales para madera blanda o ramas delgadas, eficiencia de corte optimizada (consumo de energía $<3 \text{ kWh/m}^3 \pm 0,1 \text{ kWh/m}^3$). El diseño de ranuras para virutas (ancho 3-8 mm $\pm 0,5$ mm) optimiza la descarga de las virutas.

Parámetros de trabajo : La velocidad, la potencia y la presión de alimentación afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una velocidad > 3000 rpm o una potencia > 150 kW) pueden acortar la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$ y deben ajustarse dinámicamente.

Factores ambientales : Un contenido de agua $>20 \% \pm 2 \%$, un contenido de impurezas $>5 \% \pm 1 \%$ o una temperatura $>200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ aumentarán el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$. La resina debe limpiarse periódicamente y el recubrimiento debe optimizarse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Tipos de dientes de sierra de tala forestal de carburo

Diente de sierra estándar

Características: Adecuado para madera blanda y troncos medianos (dureza 5-15 MPa), vida útil 500-700 horas $\pm$ 20 horas, eficiencia de corte 50-100 m³ / h, comúnmente utilizado en la tala forestal.

Alias mejorado

Características: Adecuado para madera dura o troncos que contienen impurezas (dureza 15-25 MPa), vida útil 400-600 horas $\pm$ 20 horas, eficiencia de corte 40-80 m³ / h, ampliamente utilizado en la silvicultura comercial.

Diente de sierra antiadherente

Características: Adecuado para árboles con alta humedad o contenido de resina, tasa de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$, vida útil 550-700 horas $\pm$ 20 horas, adecuado para entornos forestales húmedos.

Diente de sierra especial

Incluye dientes resistentes a altas temperaturas ($>200^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) y dientes ultra resistentes al desgaste (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), optimizados para condiciones extremas, como el tratamiento de especies oleíferas.

5. Aplicación de dientes de sierra de tala forestal de carburo cementado

Tala forestal

Se utiliza para cortar árboles y troncos, vida útil de 500 a 600 horas, de acuerdo con la norma ISO 11837, aplicado en el desarrollo de recursos forestales.

Procesamiento de madera

Se aplica al procesamiento primario de troncos y al corte de madera, con una eficiencia de 50-100 m³/h, de acuerdo con la norma EN 13556, apoyando la producción de productos de madera.

Gestión de la forestación

Se utiliza para poda de árboles y limpieza de ramas, con resistencia a la abrasión $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con la norma DIN 18915, apoyando la restauración ecológica.

Producción de energía de biomasa

Se utiliza para el pretratamiento de la madera y la preparación de combustible de biomasa, adecuado para madera de alta dureza y cumple con la norma EN 14961.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para limpiar caminos forestales y preparar el transporte de madera, con una resistencia al impacto de $>40 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, lo que apoya el progreso del proyecto.

Investigación y desarrollo

Aplicado a experimentos de mecánica de la madera e investigación forestal, con una precisión de $<0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

6. Tecnología de dientes de sierra de tala forestal de carburo

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejora la resistencia al desgaste (HV 2200-2600 $\pm$ 50) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($>98\% \pm 1\%$), lo que extiende la vida útil en un $25\% \pm 3\%$.

Monitoreo inteligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste en tiempo real (profundidad $>0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y optimizan los ciclos de reemplazo con un error de $<5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

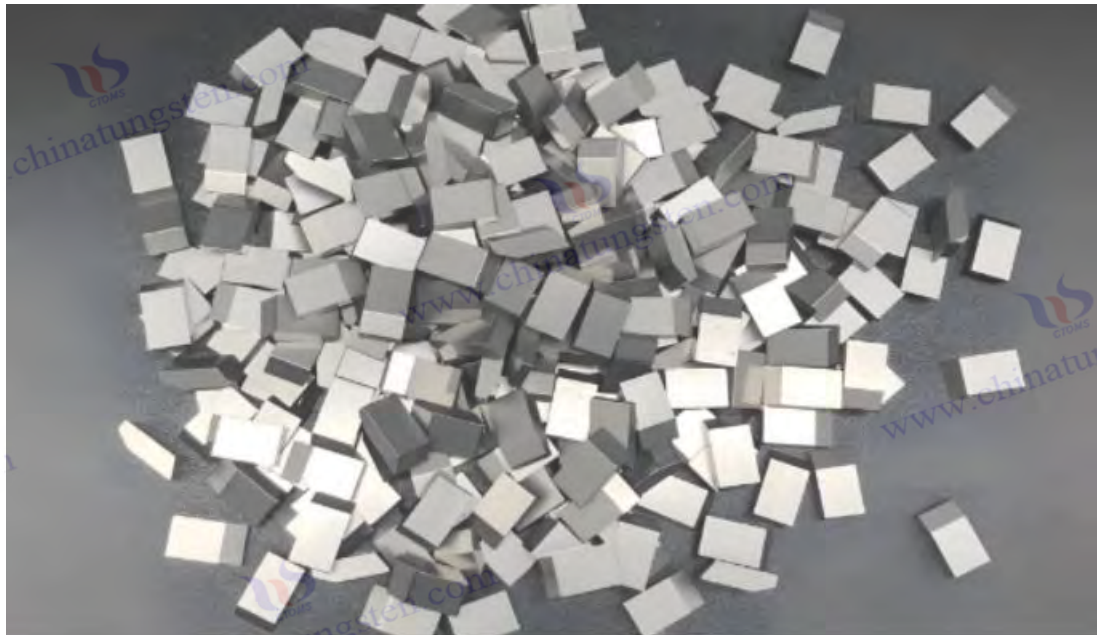
La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30-50 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) se utiliza para fabricar formas de dientes complejas con una resistencia de $1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ y una reducción del desperdicio de material del $10\% \pm 2\%$.

Diseño adaptativo

Ajuste dinámicamente los ángulos de corte (como el ángulo de entrada y el ángulo de inclinación hacia atrás) para mejorar la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

7. Normas para dientes de sierra de tala de carburo

Cumple con estándares internacionales como ISO 11837, EN 13556 y DIN 18915. Se requiere reemplazo cuando el desgaste excede el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) y la tasa de accidentes es $<0,1\% \pm 0,02\%$. Los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras y botas antideslizantes). Los entornos de alta humedad requieren un diseño antideslizante y un mantenimiento regular. Con su alto rendimiento y diseño innovador, los dientes de sierra de tala forestal de carburo son las herramientas centrales de la industria forestal, promoviendo la mejora de la eficiencia de tala y el desarrollo forestal sostenible. En la era de la IA y el contexto de la Internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. Combinado con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que logre una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



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

¿Qué es un arado de recuperación de tierras de carburo?

La reja de arado de carburo para recuperación de tierras es una herramienta de corte de alta eficiencia diseñada para maquinaria agrícola, utilizada para labrar, aflojar y recuperar terrenos duros. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y un recubrimiento resistente al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en entornos de alta intensidad, alta humedad y con alto contenido de impurezas. Como componente importante de un tractor o máquina de recuperación de tierras, la reja de arado influye directamente en la profundidad de labranza, la calidad del suelo y la vida útil del equipo, y se utiliza ampliamente en la recuperación de tierras, el desarrollo agrícola y la mejora del suelo. Basándose en el progreso tecnológico de la industria y la información relacionada, el siguiente contenido ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de la reja de arado.

1. Estructura y materiales de la reja de arado de recuperación de tierras de carburo cementado

El cabezal de reja de arado suele tener un diseño de cuña afilada o forma de arco y se instala sobre un sustrato de acero aleado de alta resistencia (como 40CrMo, dureza de temple HRC 40-52). El cuerpo del diente utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar la resistencia al desgaste y a la corrosión. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión a $0,5-2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente $0,8-1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$), con un rango de dureza de HV $1800-2200 \pm 30$, y localmente hasta $2400-2600 \pm 50$. Se aplica un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la punta del cabezal de reja de arado, el coeficiente de fricción se reduce a $<0,25 \pm 0,05$, la resistencia a la corrosión se mejora en un $15\% \pm 2\%$ y la resistencia a la fatiga se mejora aún más mediante la modificación de la superficie (como el refuerzo por láser). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (resistencia de soldadura $> 700\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$) o sujeción mecánica (fuerza de sujeción $> 10\text{ kN} \pm 0,5\text{ kN}$), que puede adaptarse a trabajos de alto torque ($200-600\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 20\text{ kN}\cdot\text{m}$).

2. Principio de funcionamiento y características del arado de recuperación de tierras de carburo cementado

La reja de arado funciona mediante el accionamiento mecánico de un tractor o cultivador (velocidad de trabajo: $1-3\text{ m/s}$, potencia: $50-200\text{ kW}$), cortando y arando la superficie del suelo. La punta de la reja rompe el suelo duro, fragmentos de roca o raíces mediante compresión (presión de contacto:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

100-300 MPa $\pm$ 10 MPa) y cizallamiento (resistencia al cizallamiento: 20-60 MPa $\pm$ 5 MPa), y es adecuada para formaciones con una resistencia a la compresión de 5-40 MPa. El diseño integra mecánica de corte y optimización de la conducción térmica, con un ángulo de entrada de 25°-40° $\pm$ 5°, un ángulo de inclinación posterior de 5°-15° $\pm$ 2° y una vibración reducida (aceleración <10 m/s² $\pm$ 1 m/s²). El cabezal de reja de arado está sometido a altas cargas abrasivas y térmicas (temperatura superficial: 50-250 °C $\pm$ 10 °C), y la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción > 1200 MPa $\pm$ 50 MPa) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga > 10⁶ veces $\pm$ 10⁴ veces). La tecnología más avanzada incorpora un mecanismo de oscilación adaptativo que mejora la eficiencia del cultivo en formaciones complejas en un 5 % $\pm$ 1 %.

3. Rendimiento y factores influyentes de las rejas de arado de recuperación de tierras de carburo cementado

Propiedades del material : WC proporciona alta dureza, Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa·m^{1/2} $\pm$ 0,5, el valor máximo puede alcanzar 18 MPa·m^{1/2} $\pm$ 0,5), tasa de desgaste <0,05 mm³/N·m $\pm$ 0,01 mm³/N·m, resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año $\pm$ 0,001 mm/año).

Diseño geométrico : La reja de arado en forma de cuña es adecuada para suelos duros o rocosos, mientras que la reja curva es adecuada para suelos blandos o pegajosos, optimizando así la eficiencia de la labranza (consumo de energía <8 kWh/m³ $\pm$ 0,3 kWh/m³). El diseño de la ranura de descarga (ancho 5-10 mm $\pm$ 0,5 mm) optimiza la descarga del suelo.

Parámetros de trabajo : La velocidad de trabajo, la potencia y la profundidad de labranza afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una velocidad > 3 m/s o una potencia > 200 kW) pueden acortar la vida útil en un 15 % $\pm$ 2 % y deben ajustarse dinámicamente.

Factores ambientales : Un contenido de agua >15% $\pm$ 2%, un contenido de arena >5% $\pm$ 1% o una temperatura >250 °C $\pm$ 10 °C aumentarán el desgaste en un 5% $\pm$ 1% y requerirán un recubrimiento anticorrosivo y una lubricación mejorados.

4. Tipos de arados de recuperación de tierras de carburo

Reja de arado estándar

Características: Adecuado para suelos blandos y estratos de dureza media (resistencia a la compresión 5-20 MPa), vida útil 400-600 horas $\pm$ 20 horas, eficiencia de labranza 50-150 m³/h, comúnmente utilizado en el desarrollo agrícola.

Cabezal de arado mejorado

Características: Adecuado para suelos duros o estratos rocosos (resistencia a la compresión 20-40 MPa), vida útil 300-500 horas $\pm$ 20 horas, eficiencia de labranza 40-100 m³/h, ampliamente utilizado en la recuperación de tierras.

Reja de arado resistente a la corrosión

Características: Adecuado para alta humedad o suelos salino-alcalinos, resistencia al Cl⁻ >3000 horas $\pm$ 200 horas, vida útil 450-600 horas $\pm$ 20 horas, adecuado para agricultura costera.

Reja de arado especial

Entre ellas se incluyen rejas resistentes a altas temperaturas (>250°C $\pm$ 10°C) y rejas ultra resistentes al desgaste (tasa de desgaste <0,03 mm³/N·m $\pm$ 0,01 mm³/N·m), optimizadas para condiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

extremas como el procesamiento de suelos rocosos.

5. Aplicación de rejas de arado de recuperación de tierras de carburo cementado

Recuperación de tierras

Se utiliza para la labranza de terrenos baldíos y no cultivados, con una vida útil de 400 a 500 horas, de acuerdo con las normas ISO 9134 y se aplica en la expansión agrícola.

Desarrollo agrícola

Se aplica a la mejora del suelo y a la preparación de la plantación, con una eficiencia de 50-150 m³/h, conforme a la norma EN 13536, apoyando la producción de alimentos.

Mejora del suelo

Se utiliza para el tratamiento de suelos endurecidos y terrenos salino-alcalinos, con resistencia a la abrasión $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con la norma DIN 18907, promoviendo la recuperación de tierras.

Construcción forestal y de pastizales

Se utiliza para la limpieza de bosques y la recuperación de pastos, se adapta a estratos de alta dureza y apoya la agricultura ecológica.

Construcción de infraestructura

Se utiliza para excavación de canales de riego de tierras de cultivo y nivelación de terrenos, con resistencia al impacto $>50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, apoyando las necesidades de ingeniería.

Investigación y desarrollo

Se aplica a experimentos de mecánica de suelos e investigación en tecnología agrícola, con una precisión de $<0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

6. Tecnología de rejas de arado de recuperación de tierras de carburo cementado

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejora la resistencia al desgaste (HV 2200-2600 ± 50) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($> 98 \% \pm 1 \%$), lo que extiende la vida útil en un $25 \% \pm 3 \%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste en tiempo real (profundidad $>0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y optimizan los ciclos de reemplazo con un error de $<5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30-50 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) se utiliza para fabricar formas complejas de cabeza de arado con una resistencia de $1400 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, lo que reduce el desperdicio de material en un $10 \% \pm 2 \%$.

Diseño adaptativo

Ajuste dinámicamente los ángulos de corte (como el ángulo de entrada y el ángulo de inclinación posterior) para mejorar la eficiencia en un $10 \% \pm 2 \%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

7. Seguridad y normas de los arados de recuperación de tierras de carburo

Cumple con normas internacionales como ISO 9134, EN 13536 y DIN 18907. Es necesario sustituir el equipo cuando el desgaste supera el límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$). La tasa de accidentes es $<0,1 \% \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,02 %. Los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras y botas antideslizantes). Los entornos con alta humedad requieren un diseño antideslizante y un mantenimiento regular.

Gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, las rejas de arado de carburo para la recuperación de tierras son herramientas clave en la industria de la maquinaria agrícola, impulsando la mejora de la eficiencia del desarrollo del terreno y el desarrollo agrícola sostenible. En la era de la IA y el contexto de la Internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



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

¿Qué son los dientes de corte de la trituradora de balasto de carburo?

Los dientes de corte de carburo para trituradoras de balasto son herramientas de corte de alta eficiencia, especialmente diseñadas para trituradoras de balasto ferroviarias. Se utilizan para triturar balasto (como grava y guijarros) y mantener la cimentación de las vías. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y un revestimiento resistente al desgaste, que proporciona una excelente dureza, resistencia al desgaste y al impacto, garantizando una alta eficiencia y durabilidad en entornos de alta dureza, abrasión y cargas dinámicas. Como componente importante de la trituradora de balasto, los dientes de corte afectan directamente la eficiencia de trituración, la uniformidad de las partículas y la vida útil del equipo, y se utilizan ampliamente en el mantenimiento ferroviario, la renovación de balasto y la reparación de vías. De acuerdo con los avances tecnológicos de la industria y la información relacionada, a continuación se ofrece una descripción general de las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los dientes de corte.

1. Estructura y material de los dientes de corte de la trituradora de balasto de carburo cementado.

Los dientes de corte suelen ser cónicos o planos y están montados sobre un sustrato de acero aleado de alta resistencia (como 42CrMo, dureza de temple HRC 40-52). El cuerpo del diente utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $> 90 \% \pm 1 \%$) como fase dura, cobalto (Co, $6 \% - 12 \% \pm 1 \%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5 \% - 2 \% \pm 0,1 \%$, TaC $1 \% - 3 \% \pm 0,2 \%$, NbC $0,5 \% - 1,5 \% \pm 0,1 \%$) para optimizar la resistencia al desgaste y a las altas temperaturas. El proceso de fabricación incluye tecnología de pulvimetalurgia, como sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350 - 1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, presión $45 - 55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, tiempo de retención $5 - 10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400 - 1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, presión $150 - 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, tiempo de retención $30 - 60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$), lo que garantiza que la densidad del material alcance el $99,9 \% \pm 0,1 \%$ y la porosidad sea $< 0,1 \% \pm 0,05 \%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2 \text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$). El rango de dureza es de HV $1800 - 2200 \pm 30$, pudiendo alcanzar localmente entre 2400 y 2600 ± 50 . Se aplica un recubrimiento de TiN o TiAlN (espesor: $0,5 - 2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$) a la punta del diente, lo que reduce el coeficiente de fricción a $< 0,25 \pm 0,05$, mejora la resistencia al desgaste en un $20 \% \pm 3 \%$ y mejora aún más la resistencia a la fatiga mediante modificaciones superficiales (como el reforzamiento por láser). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (resistencia de soldadura $> 800 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) o incrustación mecánica (fuerza de incrustación $> 12 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$), que puede adaptarse a fuerzas de alto impacto ($50 - 300 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$).

2. Principio de funcionamiento y características de los dientes de corte de la trituradora de balasto de carburo.

Los dientes de corte funcionan mediante la rotación o el impacto de la trituradora de balasto

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

(velocidad 100-400 rpm $\pm$ 20 rpm, potencia 100-500 kW $\pm$ 10 kW), cortando y triturando a lo largo de la superficie del balasto. La punta del diente descompone el balasto de alta dureza mediante extrusión (presión de contacto 200-500 MPa $\pm$ 10 MPa) y división (fuerza de división 100-200 kN $\pm$ 10 kN), y es adecuada para formaciones con una resistencia a la compresión de 50-150 MPa. El diseño integra la mecánica de impacto y la optimización de la conducción de calor, con un ángulo de entrada de 25°-45° $\pm$ 5°, un ángulo posterior de 5°-15° $\pm$ 2° y vibración reducida (aceleración $<15 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$). Las puntas de los dientes están sometidas a altas cargas abrasivas y térmicas (temperatura superficial: 300-600 °C $\pm$ 10 °C), y la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $>1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $>10^6$ veces $\pm 10^4$ veces). La tecnología más avanzada incorpora un mecanismo de oscilación adaptativo que mejora la eficiencia de trituración de formaciones de balasto complejas en un 5 % $\pm$ 1 %.

3. Rendimiento y factores que influyen en los dientes de corte de la trituradora de balasto de carburo

Propiedades del material : WC proporciona alta dureza, Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa·m^{1/2} $\pm$ 0,5, el valor máximo puede alcanzar 18 MPa·m^{1/2} $\pm$ 0,5), tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, resistencia a altas temperaturas ($>800 \text{ °C}$ resistencia a la oxidación $>95 \% \pm 1 \%$).

Diseño geométrico : Los dientes cónicos son adecuados para balasto de alta dureza, mientras que los dientes planos son adecuados para balasto de dureza media o con impurezas, optimizando así la eficiencia de trituración (consumo de energía $<15 \text{ kWh/m}^3 \pm 0,5 \text{ kWh/m}^3$). El diseño de la ranura de descarga de balasto (ancho 5-10 mm $\pm$ 0,5 mm) optimiza la descarga del balasto.

Parámetros de trabajo : la velocidad, la fuerza de impacto y la velocidad de avance afectan directamente la vida útil. Parámetros excesivamente altos (como una velocidad $>400 \text{ rpm}$ o una potencia $>500 \text{ kW}$) pueden acortar la vida útil en un 15 % $\pm$ 2 % y deben ajustarse dinámicamente.

Factores ambientales : Un contenido de agua $>10\% \pm 2\%$, un contenido de arena $>5\% \pm 1\%$ o una temperatura $>600 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ aumentarán el desgaste en un 5% $\pm$ 1% y requerirán un tratamiento térmico y un enfriamiento mejorados.

4. Tipos de dientes de corte para trituradora de balasto de carburo

Dientes de corte estándar

Características: Adecuado para balasto de dureza media (resistencia a la compresión 50-80 MPa), vida útil 250-400 horas $\pm$ 20 horas, eficiencia de trituración 50-100 m³ / h, comúnmente utilizado en mantenimiento de ferrocarriles convencionales.

Dientes de corte mejorados

Características: Adecuado para balasto de alta dureza (resistencia a la compresión 80-150 MPa), vida útil 200-350 horas $\pm$ 20 horas, eficiencia de trituración 40-80 m³ / h, ampliamente utilizado en la reparación de ferrocarriles de alta velocidad.

Dientes de corte resistentes a la abrasión

Características: Adecuado para formaciones arenosas o abrasivas, resistencia al desgaste $>95\% \pm 2\%$, vida útil 300-450 horas $\pm$ 20 horas, adecuado para entornos hostiles.

Dientes de corte especiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Incluye dientes de corte resistentes a altas temperaturas ($>600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) y dientes de corte súper resistentes al desgaste (tasa de desgaste $<0,03\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), optimizados para condiciones extremas como el procesamiento de balasto a alta temperatura.

5. Aplicación de los dientes de corte de la trituradora de balasto de carburo

Renovación del balasto ferroviario

Utilizado para triturar y sustituir balasto envejecido, con una vida útil de 250-350 horas, cumple con la norma ISO 10893 y asegura la estabilidad de la vía.

Mantenimiento de cimientos de vías

Aplicado para ajuste de balasto y refuerzo de cimentaciones, con una eficiencia de $50\text{-}100\text{ m}^3/\text{h}$, en cumplimiento con la norma EN 13232, apoyando la seguridad ferroviaria.

Construcción de ferrocarriles

Se utiliza para la colocación de balasto y preparación de cimentaciones de nuevas líneas, con resistencia a la abrasión $>95\% \pm 2\%$, según la norma DIN 5570, acelerando el avance del proyecto.

Mantenimiento de ferrocarriles de transporte pesado

Es adecuado para lastres de alta dureza e impactos frecuentes, con una resistencia al impacto de $>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$, y soporta las necesidades de transporte de carga pesada.

Gobernanza ambiental

Se aplica a la limpieza de la contaminación del balasto, con una tasa de recuperación de $>90\% \pm 2\%$, apoyando la gestión ecológica ferroviaria.

Investigación y desarrollo

Se aplica a experimentos de mecánica de balasto e investigación de tecnología ferroviaria, con una precisión de $<0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$.

6. Tecnología de corte de dientes para trituradora de balasto de carburo cementado

Nuevos materiales

La introducción de nano-WC (grano $<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) mejora la resistencia al desgaste (HV $2200\text{-}2600 \pm 50$) y el recubrimiento de ZrC mejora la resistencia a la oxidación ($>98\% \pm 1\%$), lo que extiende la vida útil en un $25\% \pm 3\%$.

Monitoreo inteligente

Los sensores integrados (precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste en tiempo real (profundidad $>0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y optimizan los ciclos de reemplazo con un error de $<5\% \pm 1\%$.

Impresión 3D

La fusión selectiva por láser (SLM, espesor de capa $30\text{-}50\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) se utiliza para fabricar formas de dientes complejas con una resistencia de $1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ y una reducción del desperdicio de material del $10\% \pm 2\%$.

Diseño adaptativo

Ajuste dinámicamente los ángulos de corte (como el ángulo de entrada y el ángulo de inclinación posterior) para mejorar la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, combinado con la optimización del algoritmo de IA.

7. Normas para el corte de dientes de trituradoras de balasto de carburo cementado

Cumple con normas internacionales como ISO 10893, EN 13232, DIN 5570, etc. Un desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

superior al límite ($>6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) requiere sustitución. La tasa de accidentes es $<0,1 \% \pm 0,02 \%$; los operadores deben usar equipo de protección (casco de seguridad, gafas protectoras, botas antideslizantes). El entorno de alta temperatura requiere un diseño de refrigeración y protección térmica.

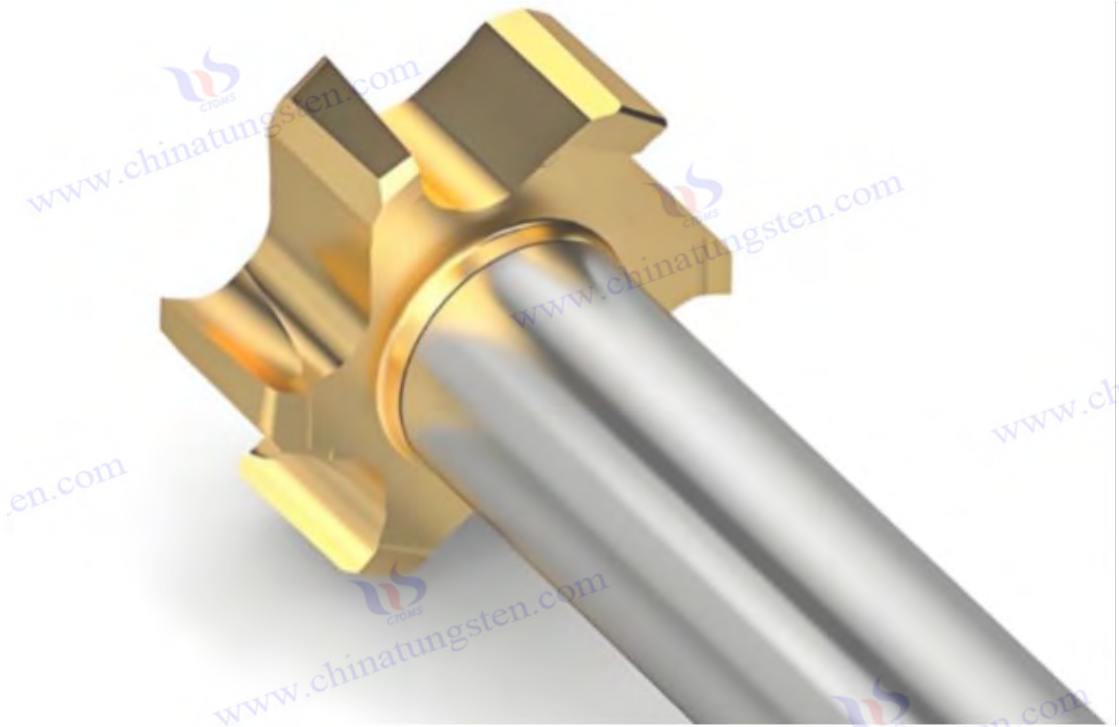
Gracias a su alto rendimiento y diseño innovador, los dientes de corte de carburo para trituradoras de balasto son herramientas esenciales en la industria del mantenimiento ferroviario, promoviendo la seguridad y la eficiencia de las vías. En la era de la IA y el contexto del internet industrial, sus perspectivas de producción y aplicación se ampliarán aún más. En combinación con la fabricación inteligente y el análisis de datos en tiempo real, se espera que alcancen una mayor precisión y adaptabilidad en el futuro.



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



¿Qué es una fresa de carburo tipo T?

Introducción a la fresa de carburo inteligente tipo T de Chinatungsten

Como uno de los productos estrella de CTIA GROUP LTD (CTIA), la fresa de carburo tipo T destaca en el procesamiento de metales por su excelente rendimiento y diseño innovador. Con tecnología de fabricación avanzada y una amplia experiencia en el sector, CTIA GROUP LTD se compromete a ofrecer a sus clientes herramientas de corte de alta precisión y durabilidad. La fresa de carburo tipo T está fabricada con materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co) y está diseñada para procesar ranuras en T, orificios para pernos en forma de T o piezas con estructuras similares. Sus principales ventajas residen en su alta dureza, resistencia al desgaste y al impacto, lo que garantiza un corte preciso a alta velocidad y altas cargas. Como producto estrella de CTIA GROUP LTD, la fresa de carburo tipo T se utiliza ampliamente en el procesamiento mecánico, la fabricación de moldes y la industria aeroespacial, siendo especialmente adecuada para el procesamiento de acero, fundición y aleaciones de alta resistencia. De acuerdo con el progreso tecnológico del sector y la información relacionada en 2025, a continuación se detallan las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de la fresa de carburo tipo T.

1. Estructura y materiales de la fresa de carburo tipo T

Las fresas de tipo T suelen tener una sección transversal única en forma de T, con un diseño de hoja multidiente, y se instalan en el husillo de la máquina herramienta. El cuerpo principal está fabricado con acero de aleación de alta resistencia (como HSS o 40CrMo, dureza de temple HRC 40-50), y la pieza de corte utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 0,5%-2%, TaC 1%-3%) para optimizar el rendimiento. El proceso de fabricación incluye pulvimetalurgia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(como SPS o HIP) para garantizar una densidad del material del $99,9\% \pm 0,1\%$, un tamaño de grano controlado de $0,5$ a $2\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente de $0,8$ a $1,2\text{ }\mu\text{m}$) y una dureza HV de 1800 a 2200 ± 30 , pudiendo alcanzar localmente entre 2400 y 2600 ± 50 . La cuchilla puede recubrirse con TiAlN o AlCrN (con un espesor de $0,5$ a $2\text{ }\mu\text{m}$), lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$ y aumenta la resistencia térmica a $>800\text{ }^{\circ}\text{C}$. El diámetro del cuerpo de la herramienta oscila entre 5 y 50 mm , y la longitud de la cuchilla se adapta a la profundidad de la ranura de la pieza.

2. Principio de funcionamiento de la fresa de carburo tipo T

La fresa en T funciona girando el husillo de la máquina herramienta (velocidad de 500 a 3000 rpm , potencia de 5 a 50 kW), y el filo corta lateral y axialmente a lo largo de la superficie de la pieza para producir una ranura en forma de T. El proceso de corte combina extrusión y cizallamiento, donde la presión de extrusión alcanza los $200\text{-}500\text{ MPa}$ y la resistencia al cizallamiento es de $50\text{-}100\text{ MPa}$, lo cual es adecuado para materiales con una dureza de $20\text{-}60\text{ HRC}$. El diseño en forma de T de la herramienta le permite completar el corte del fondo de la ranura y las paredes laterales en una sola operación, lo cual es particularmente adecuado para piezas que requieren estructuras en forma de T de alta precisión. Durante el proceso de rotación, el filo entra en contacto con la pieza y genera un calor elevado (temperatura superficial de 300 a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Al mismo tiempo, se logra una eliminación eficiente del material optimizando el ángulo de corte y ayudando con el refrigerante.

3. Características de la fresa de carburo tipo T

El diseño de la fresa tipo T optimiza el ángulo de corte, con el ángulo de ataque principal establecido en $10^{\circ}\text{-}20^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y el ángulo de ataque secundario en $5^{\circ}\text{-}10^{\circ} \pm 2^{\circ}$, lo que reduce eficazmente la vibración durante el procesamiento (aceleración $<5\text{ m/s}^2$) y mejora el acabado superficial de la pieza de trabajo ($R_a < 1,6\text{ }\mu\text{m}$). La alta resistencia térmica de la punta de la herramienta y el soporte estructural de la matriz (resistencia a la tracción $>1200\text{ MPa}$) garantizan la estabilidad bajo cargas elevadas, y la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $>10^5$ veces) le permite soportar el procesamiento continuo a largo plazo. Combinado con el efecto sinérgico de la matriz de acero aleado de alta resistencia y la pieza de corte de carburo, la fresa tipo T mantiene un excelente rendimiento de corte en condiciones de trabajo complejas.

4. Rendimiento de la fresa de carburo tipo T y factores que influyen

Como producto destacado de CTIA GROUP LTD, las fresas de carburo cementado tipo T destacan por su alta dureza, resistencia al desgaste y al impacto, gracias principalmente a la composición de su material y tecnología de procesamiento. El carburo de tungsteno (WC), como fase dura, proporciona una dureza extremadamente alta ($\text{HV } 1800\text{-}2200 \pm 30$), mientras que el cobalto (Co), como fase aglutinante, mejora la tenacidad del material (tenacidad a la fractura $K_{Ic} \text{ } 12\text{-}16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), lo que permite que la herramienta se mantenga estable bajo condiciones de carga elevada. La tasa de desgaste es inferior a $0,05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y la resistencia a la corrosión también es excelente (tasa de corrosión $<0,01\text{ mm/año}$), gracias al efecto sinérgico de aditivos como Cr_3C_2 y TaC, que también mejoran la resistencia a la oxidación de la herramienta en entornos de alta temperatura ($>800\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($>95\%$). Las tecnologías de recubrimiento como TiAlN o AlCrN reducen aún más el coeficiente de fricción a $<0,25 \pm 0,05$, lo que mejora significativamente la resistencia al calor y la vida útil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El rendimiento de las fresas de carburo cementado tipo T se ve afectado por muchos factores. En primer lugar, el diseño geométrico es clave. El ancho y la profundidad de la cuchilla en forma de T deben personalizarse según la pieza de trabajo. Los ángulos de corte razonables (ángulo de ataque principal 10°-20°±5°) y la forma de la cuchilla afectan directamente la eficiencia de corte (consumo de energía <8 kWh/m³) y la calidad de la superficie (Ra<1,6 μm). En segundo lugar, los parámetros de trabajo como la velocidad, el avance y la profundidad de corte tienen un impacto significativo en la vida útil. Un exceso de parámetros puede acortar la vida útil en un 15%±2%, ya que la sobrecarga acelerará el desgaste de la cuchilla y el daño térmico. No se deben ignorar los factores ambientales. Las altas temperaturas (>600 °C) o la falta de refrigerante aumentarán el desgaste en un 5%±1%. Al procesar materiales de alta dureza (como acero de 60 HRC), es necesario optimizar las estrategias de refrigeración y lubricación para reducir la tensión térmica. Además, varios factores en el proceso de producción de piezas brutas de carburo cementado también tienen un profundo impacto en el rendimiento. La distribución del tamaño de partícula y la pureza del polvo son la base. Un tamaño de partícula demasiado grande o un alto contenido de impurezas (como un contenido de oxígeno > 0,2 %) provocará un engrosamiento del grano y reducirá la dureza y la resistencia. La uniformidad de la mezcla se controla mediante el proceso de molienda de bolas (tiempo de molienda de bolas de 12 a 24 horas, relación media 1:2) para garantizar la dispersión uniforme de WC y Co, lo que afecta la densidad del material final (> 99,9 % ± 0,1 %). La presión de prensado (100-200 MPa) determina directamente la densidad inicial de la pieza bruta. Una presión insuficiente puede provocar un aumento de la porosidad y afectar el efecto de sinterización posterior. El proceso de sinterización (como HIP o SPS, temperatura de 1400-1500 °C, tiempo de mantenimiento de 0,5 a 2 horas) es crítico para el tamaño de grano (0,5-2 μm) y la estructura de la fase. Una temperatura de sinterización excesiva o un tiempo de mantenimiento insuficiente pueden provocar el crecimiento del grano o la transformación de fase, lo que reduce la tenacidad. La velocidad de enfriamiento (5-10 °C/min) también debe controlarse estrictamente para evitar grietas por tensión térmica. La optimización de estos factores en la fabricación de piezas brutas garantiza que la fresa tipo T de CTIA GROUP LTD ofrezca un alto rendimiento constante en aplicaciones prácticas.

4.1 Tabla de factores influyentes

Factores influyentes	describir
Diseño geométrico	Y la profundidad y la velocidad de la hoja en forma de T se personalizan y el ángulo de corte se optimiza, lo que afecta la eficiencia y la calidad de la superficie.
Parámetros de trabajo	La velocidad, el avance y la profundidad de corte afectan la vida útil. Unos parámetros demasiado altos pueden acortarla entre un 15 % y un 2 %.
Factores ambientales	La temperatura alta (>600 °C), el enfriamiento insuficiente o los materiales de alta dureza aumentan el desgaste en un 5 % ± 1 % y es necesario optimizar el enfriamiento.

Pureza del tamaño de las partículas de polvo	Un tamaño de partícula demasiado grande o impurezas (como contenido de oxígeno > 0,2 %) provocan un engrosamiento del grano, lo que reduce la dureza y la resistencia.
Uniformidad de mezcla	El proceso de molienda de bolas (12-24 horas, relación media 1:2) asegura una dispersión uniforme de WC y Co, lo que afecta la densidad.
Presión de supresión	100-200 MPa determinan la densidad inicial. Una presión insuficiente aumenta la porosidad y afecta el efecto de sinterización.
Proceso de sinterización	HIP/SPS (1400-1500 °C, 0,5-2 horas) controla el tamaño del grano (0,5-2 μm) y la estructura de la fase.
Tasa de enfriamiento	5-10°C/min para evitar grietas por tensión térmica y garantizar la estabilidad del material.

Tipos de fresas de carburo tipo T

5. Proceso de producción

CTIA GROUP LTD adopta procesos avanzados y rigurosos en la producción de fresas de carburo cementado tipo T para garantizar la alta calidad y consistencia de los productos. El proceso de producción comienza con la selección de materias primas de alta pureza. CTIA GROUP LTD generalmente utiliza los grados YG10, YG10X y YG12. Entre ellos, el YG10 (WC 90%, Co 10%) es adecuado para una alta resistencia al desgaste, el YG10X (WC 90%, Co 10% + aditivos traza) mejora la tenacidad, y el YG12 (WC 88%, Co 12%) es adecuado para condiciones de alto impacto. Las materias primas son polvo de tungsteno, polvo de carburo de tungsteno (WC, pureza > 99,8%) y polvo de cobalto (Co, pureza > 99,5%), y el polvo mezclado se prepara mediante una dosificación precisa. Posteriormente, se utiliza el proceso de molienda de bolas húmedas para la mezcla del polvo, y se utilizan bolas de carburo cementado como medio de molienda. El tiempo de molienda de bolas se controla entre 18 y 24 horas, con una proporción media de 1:2 para garantizar un tamaño de partícula de polvo uniforme ($D_{50} < 1\text{ }\mu\text{m}$) y una mezcla uniforme. El polvo mezclado se seca por aspersión para formar una materia prima granular con una distribución granulométrica de 50 a 150 μm , lo que proporciona una buena fluidez para el prensado posterior.

El proceso de prensado utiliza tecnología de prensado isostático en frío (CIP), con una presión de 150-200 MPa y un tiempo de prensado de 5-10 minutos, y la densidad inicial alcanza el objetivo del 60%-65% de la densidad teórica. Después del prensado, la pieza en bruto ingresa a la etapa de sinterización de prensado isostático en caliente (HIP), con la temperatura de sinterización establecida en 1450-1500 °C y el tiempo de mantenimiento de 1-2 horas. Se lleva a cabo al vacío o en atmósfera protectora de argón de alta pureza (pureza 99,999%) para garantizar que la densidad del material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ y el tamaño de grano se controle a 0,8-1,2 μm . Después de la sinterización, la pieza en bruto se enfría lentamente (5-8 °C/min) para reducir la tensión térmica y luego se mecaniza con máquinas herramienta CNC. La geometría de la cuchilla se forma mediante rectificado de alta precisión (tolerancia $\pm 0,01\text{ mm}$) y la rugosidad superficial $Ra < 0,4\text{ }\mu\text{m}$. El

recubrimiento se aplica mediante tecnología de deposición física de vapor (PVD), con un espesor de recubrimiento de TiAlN o AlCrN de 1-2 μm , la temperatura de recubrimiento se controla a 450-500 $^{\circ}\text{C}$ y la resistencia de unión es $>70\text{ MPa}$. Finalmente, el producto se limpia ultrasónicamente (frecuencia 40 kHz, tiempo 5 minutos) y se prueba la calidad, incluyendo densidad (14,3-14,9 g/cm^3), dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30), resistencia (resistencia a la flexión $>2000\text{ MPa}$) y pruebas no destructivas (pruebas ultrasónicas para detectar defectos internos). Las varillas de prueba producidas en el mismo lote se utilizan generalmente como productos de prueba. Los productos calificados se envasan al vacío y se envasan con materiales a prueba de humedad y golpes. La inspección de apariencia y etiqueta se realiza antes de la entrega para garantizar que los productos estén intactos durante el transporte.

5.1 Tabla del proceso de producción

Producción	describir	Parámetros técnicos
Selección de materia prima	Los ingredientes se elaboran según los grados YG10, YG10X y YG12, y se seleccionan polvos de WC y Co de alta pureza.	YG10, YG10X, YG12, pureza WC $> 99,8\%$, pureza Co $> 99,5\%$
Mezcla de polvos	El proceso de molienda de bolas húmedas garantiza un tamaño de partícula uniforme.	Tiempo de molienda de bolas 18-24 h, relación media 1:2, D50 $<1\mu\text{m}$
Secado por aspersión	Formar materias primas granulares y mejorar la fluidez.	Tamaño de partícula 50-150 μm
reprimir	Moldeo por prensado isostático en frío (CIP),	Presión 150-200 MPa, tiempo 5-10 min, densidad alcanza -65%.
sinterización	Sinterización mediante prensado isostático en caliente (HIP) en vacío/argón.	Temperatura 1450-1500 $^{\circ}\text{C}$, mantenimiento de presión 1-2 h, densidad 99,9 $\% \pm 0,1\%$
refinamiento	Procesamiento, rectificado y conformado de máquinas CNC .	Tolerancia $\pm 0,01\text{ mm}$, Ra $<0,4\mu\text{m}$
revestimiento	TiAlN / AlCrN se aplica mediante tecnología PVD.	Espesor 1-2 μm , temperatura 450-500 $^{\circ}\text{C}$, resistencia de unión $>70\text{ MPa}$
Limpieza	La limpieza ultrasónica elimina residuos.	Frecuencia 40 kHz, duración 5 min
prueba	Pruebas de densidad, dureza, resistencia y ensayos no destructivos.	Densidad 14,3-14,9 g/cm^3 , dureza HV 1800-2200 $\pm$ 30, resistencia a la flexión $>2000\text{ MPa}$, pruebas no destructivas (ultrasónicas)
Embalaje y entrega	Envasado al vacío, a prueba de humedad y golpes, inspección de etiquetas.	Grado de vacío $> 0,9\text{ bar}$, inspección visual antes del transporte.

6. Aplicación de la fresa de carburo tipo T

Como producto destacado de CTIA GROUP LTD, las fresas de carburo tipo T han demostrado su valor único y amplio potencial de aplicación en numerosos campos. En la industria de fabricación de moldes, se utilizan ampliamente para procesar ranuras en T y orificios para pernos de precisión, así como para fabricar moldes de estampación, moldes de inyección, moldes de forja, etc., garantizando así la alta precisión y durabilidad de los moldes. En el campo del procesamiento mecánico, especialmente en la fabricación de automóviles y maquinaria pesada, las fresas tipo T se utilizan para procesar bancadas de máquinas herramienta, rieles guía, conectores y otros componentes. Su eficiente capacidad de corte mejora significativamente la eficiencia de la producción. En la industria aeroespacial, las fresas tipo T se han convertido en herramientas clave para procesar aleaciones de titanio, aleaciones a base de níquel y aceros de alta resistencia gracias a su alta dureza y resistencia a altas temperaturas, cumpliendo con los requisitos de alta precisión de piezas estructurales de aeronaves y componentes de motores. Además, en la construcción naval y la producción de equipos energéticos, las fresas tipo T también se utilizan para procesar piezas estructurales de gran tamaño y conectores especiales, satisfaciendo así las necesidades de geometrías complejas y diversos materiales. Los datos de pruebas de 2025 muestran que la eficiencia de las fresas tipo T estándar en el procesamiento de acero bajo en carbono y fundición puede alcanzar los 5-10 m³/h, mientras que la eficiencia de las fresas tipo T mejoradas y recubiertas en el procesamiento de materiales de grado aeronáutico aumenta a 15-20 m³/h. Estos escenarios de aplicación demuestran plenamente la importante contribución de las fresas tipo T de Chinatungsten Intelligent Manufacturing a la mejora de la precisión del procesamiento, la reducción de los ciclos de producción y la reducción de costes.

Campos de aplicación de las fresas de carburo tipo T

Áreas de aplicación	de	Adecuado para	Uso específico
Fabricación de moldes	de	Tipo estándar	T Procesamiento de ranuras en T y agujeros para tornillos para matrices de estampación, moldeo por inyección y forja.
Mecanizado		Tipo mejorado	T Mecanizado de bancadas de máquinas-herramienta, guías y conexiones para automoción y maquinaria pesada.
Aeroespacial		Precisión tipo T	Procesamiento de aleaciones de titanio, aleaciones a base de níquel y aceros de alta resistencia para estructuras de aeronaves y componentes de motores.
Construcción naval y energía		Tipo personalizado	T Procesar piezas estructurales de gran tamaño y conectores especiales para adaptarse a geometrías complejas y materiales diversos.
Área de procesamiento aproximado	de	Mecanizado de desbaste tipo T	Elimina rápidamente grandes cantidades de material y es adecuado para el procesamiento inicial.

Acabado montaje	y Tipo T con chaflán	El procesamiento del biselado de los bordes mejora el rendimiento del ensamblaje de la pieza de trabajo y es adecuado para piezas de precisión.
Producción en masa	Tipo T de múltiples hojas	Mejora la eficiencia de corte y es adecuado para tareas de producción a gran escala.

7. Tipos de fresas de carburo tipo T

tipo	Áreas de aplicación	Uso específico
Fresa tipo T estándar	Fabricación de moldes	Procesamiento de ranuras en T y agujeros para tornillos para matrices de estampación, moldeo por inyección y forja.
Fresa tipo T mejorada	Mecanizado	Mecanizado de bancadas de máquinas-herramienta, guías y conexiones para automoción y maquinaria pesada.
Fresa de precisión tipo T	Aeroespacial	Procesamiento de aleaciones de titanio, aleaciones a base de níquel y aceros de alta resistencia para estructuras de aeronaves y componentes de motores.
Fresa tipo T personalizada	Construcción naval y energía	Procesar piezas estructurales de gran tamaño y conectores especiales para adaptarse a geometrías complejas y materiales diversos.
Fresa de desbaste tipo T	Área de procesamiento aproximado	Elimina rápidamente grandes cantidades de material y es adecuado para el procesamiento inicial.
Fresa tipo T con chaflán	Acabado montaje	El procesamiento del biselado de los bordes mejora el rendimiento del ensamblaje de la pieza de trabajo y es adecuado para piezas de precisión.
Fresa de tipo T de múltiples filos	Producción en masa	Mejora la eficiencia de corte y es adecuado para tareas de producción a gran escala.

8. Fresa de carburo tipo T relacionada con las normas nacionales e internacionales

Las fresas de carburo tipo T fabricadas por CTIA GROUP LTD deben cumplir con diversas normas nacionales e internacionales para garantizar su rendimiento y competitividad en el mercado. La norma ISO 513, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), define la clasificación y aplicación de los materiales para herramientas de corte, y las fresas tipo T deben cumplir con los requisitos de rendimiento de sus materiales de carburo. La norma ISO 15641 especifica los parámetros geométricos y los métodos de ensayo de durabilidad de las fresas, guiando el diseño y la evaluación del rendimiento de las fresas tipo T. Las normas DIN 844 y DIN 1839 de la Norma Industrial Alemana (DIN) establecen los requisitos de tolerancia y dimensión de

instalación para las fresas, respectivamente, que son adecuados para la fabricación de fresas tipo T en el mercado europeo. La norma ANSI B94.19, desarrollada por el Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI), detalla la clasificación y las condiciones de uso de las fresas para garantizar su compatibilidad en el mercado norteamericano. Además, la norma JIS B 4120 de las Normas Industriales Japonesas (JIS) especifica las especificaciones de fabricación y prueba para las fresas de carburo y se utiliza ampliamente en el mercado asiático. Las normas nacionales chinas GB/T 16665 y GB/T 5231 especifican, respectivamente, el rendimiento de los materiales de carburo cementado y las condiciones técnicas generales de las herramientas de corte, garantizando así que las fresas de tipo T producidas por CTIA GROUP LTD cumplan con los estándares internacionales. La combinación de estas normas proporciona soporte técnico para la aplicación global de las fresas de tipo T de CTIA GROUP LTD.

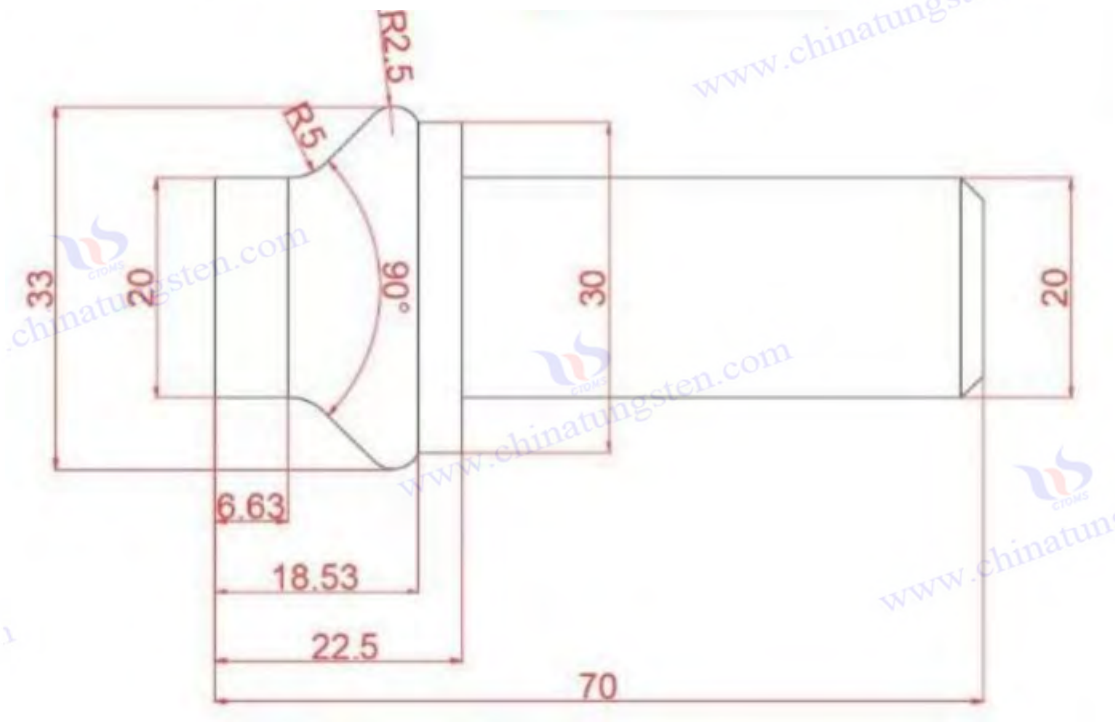
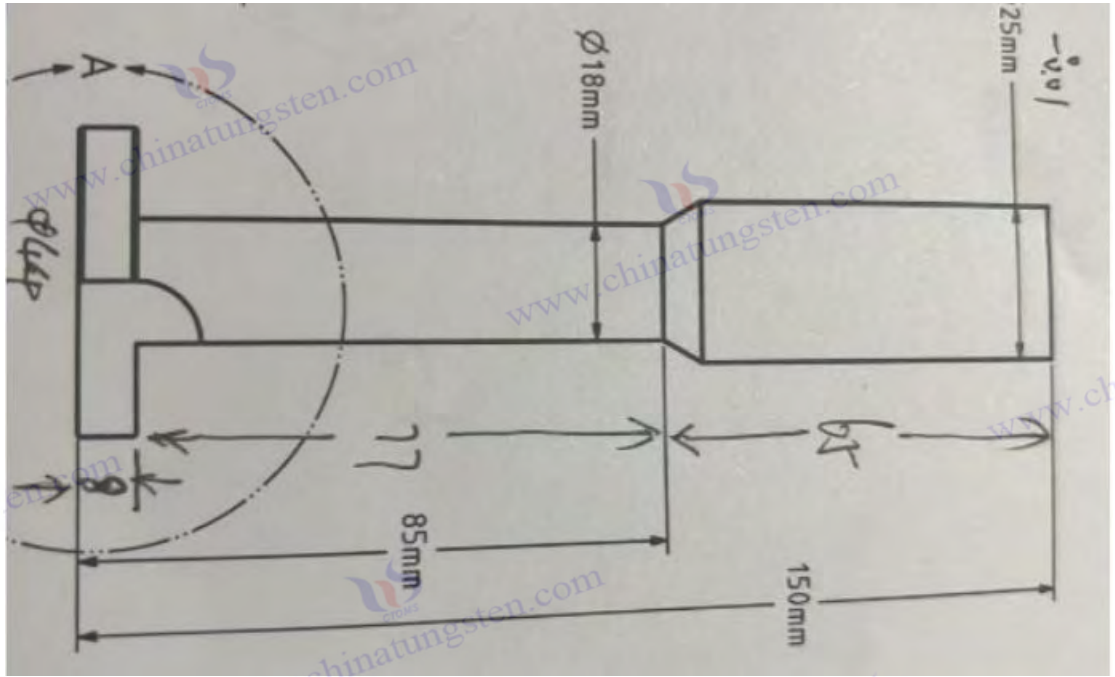
Fresa de carburo tipo T de mesa estándar nacional e internacional

Organizaciones de normalización	Norma N°	Contenido
ISO	ISO 513	Clasificación y requisitos de aplicación de materiales para herramientas de corte.
ISO	ISO 15641	Parámetros de geometría de la fresa y métodos de ensayo de durabilidad.
ESTRUENDO	DIN 844	Tolerancias de fresas y requisitos de dimensiones de instalación.
ESTRUENDO	DIN 1839	Especificaciones para la fabricación y uso de fresas.
Normas ANSI	Norma ANSI B94.19	Especificación para clasificación y condiciones de utilización de fresas.
JIS	JIS B 4120	Especificación para la fabricación y prueba de fresas de carburo cementado.
GB/T	GB/T 16665	Requisitos de rendimiento de materiales de carburo cementado.
GB/T	GB/T 5231	Requisitos técnicos generales para herramientas de corte.

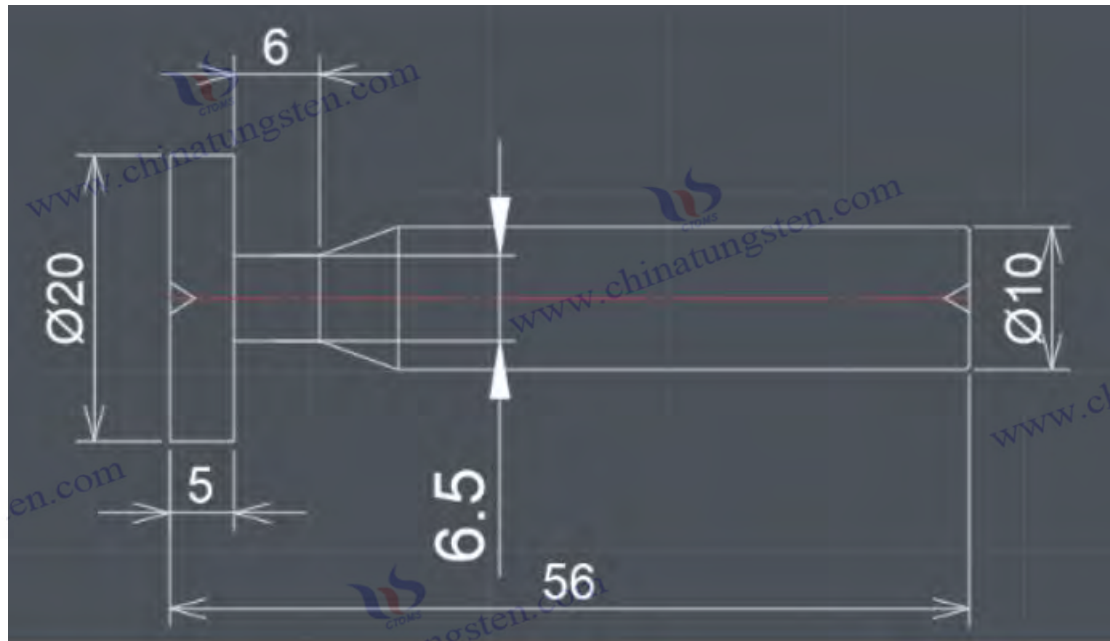
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

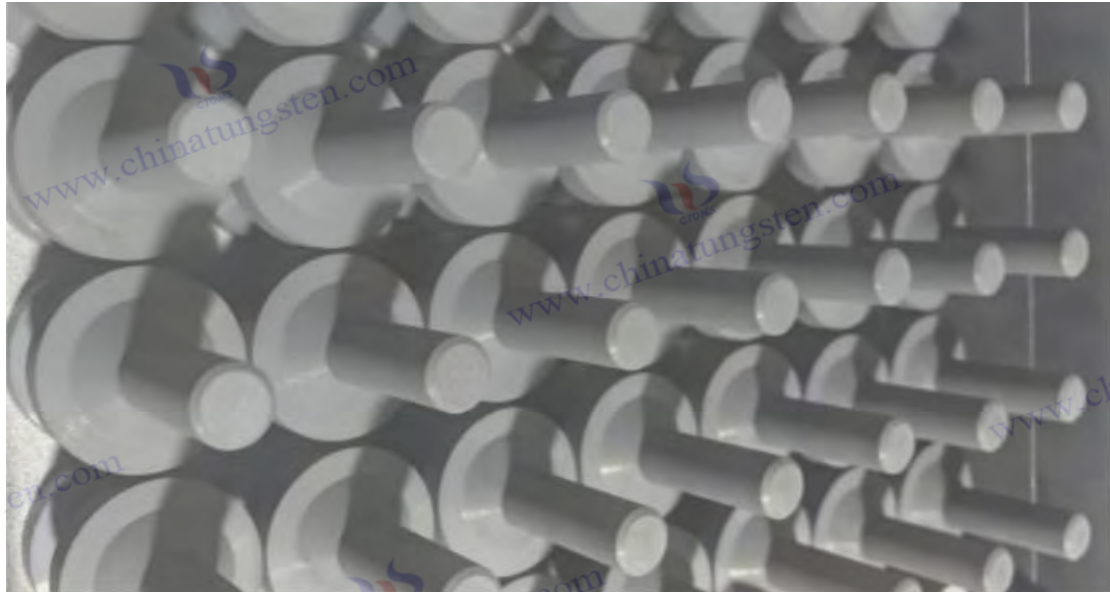


1

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

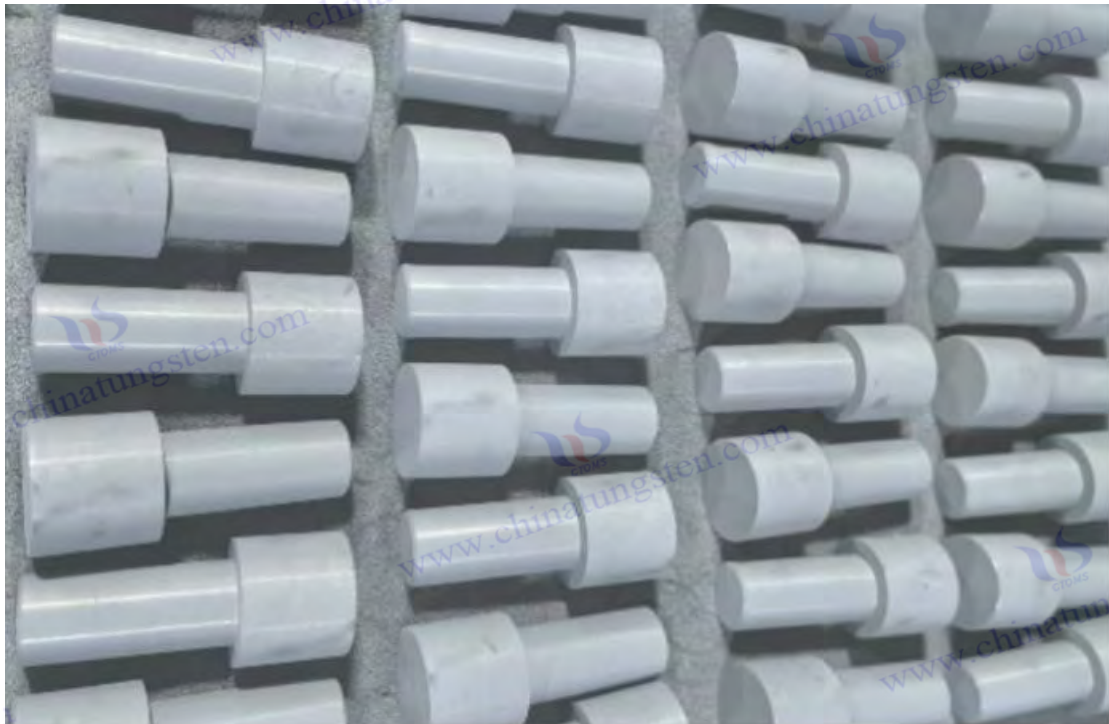


1

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



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

ISO 513:2012

- Clasificación y aplicación de materiales de corte duros

para la eliminación de metal con filos de corte definidos — Designación de los principales grupos y grupos de aplicación

1. Alcance

Esta Norma Internacional especifica la clasificación y aplicación de materiales de corte duro, incluyendo carburos, cerámica, diamante y nitruro de boro, para operaciones de corte de metales con filos definidos. La norma establece el ámbito de aplicabilidad y las directrices de aplicación para estos materiales, pero no es aplicable a otros usos, como herramientas de minería y otras herramientas de impacto, matrices de trefilado, herramientas que funcionan por deformación del metal, puntas de contacto para comparadores, etc.

1.1 Ámbito de aplicación

Esta norma se aplica a materiales de corte duros utilizados en operaciones de corte de metales que implican eliminación de viruta.

No se incluyen materiales ni herramientas que no sean de corte.

1.2 Exclusiones

Herramientas de minería y de impacto.

Matrices de trefilado de alambre.

Herramientas de deformación de metales.

Punta de contacto del comparador.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

ISO 1832:2017 , *Insertos indexables para herramientas de corte — Designación* .

ISO 13399-1:2006 , *Representación e intercambio de datos de herramientas de corte — Parte 1: Descripción general, principios fundamentales e información general* .

ISO 15641:2014 , *Herramientas para prensado — Resortes de compresión con sección rectangular — Calidad de los resortes* .

Nota : Las versiones más recientes de los documentos referenciados pueden actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar el sitio web oficial de la ISO para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Materiales de corte duro

Se refiere a materiales con alta dureza y resistencia al desgaste utilizados en el corte de metales, incluidos, entre otros, carburo cementado, cerámica, diamante y nitruro de boro.

3.2 Eliminación de virutas

Proceso de mecanizado en el que se elimina material de una pieza de trabajo por medio de 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

herramienta de corte, que generalmente implica un filo definido.

3.3 Grupos principales de materiales de corte

Las categorías de materiales de corte duro clasificadas según las propiedades del material y las áreas de aplicación incluyen:

Grupo P: Adecuado para materiales de viruta larga como el acero.

Grupo M: Adecuado para materiales de viruta media (como acero inoxidable).

Grupo K: Adecuado para materiales de viruta corta (como hierro fundido).

Grupo N: Aplicable a metales no ferrosos y materiales no metálicos.

Grupo S: Adecuado para materiales de alta dureza (como acero endurecido).

3.4 Grupos de aplicación

Subcategorías de aplicaciones específicas basadas en las propiedades del material de la pieza de trabajo y las condiciones de mecanizado.

4. Símbolos y abreviaturas

WC : Carburo de tungsteno.

Co : Cobalto.

TiN : Nitruro de titanio.

PVD : Deposición física de vapor.

HV : Dureza Vickers.

5. Clasificación

5.1 Clasificación de materiales

Los materiales de corte duro se dividen en los siguientes grupos principales según su composición química y propiedades físicas:

Metales duros : Basados en el sistema WC-Co, conteniendo aditivos traza (como TiC, TaC).

Cerámica : Incluye materiales a base de óxido de aluminio (Al_2O_3) y nitruro de silicio (Si_3N_4).

Diamante : Natural o sintético, adecuado para metales no ferrosos.

Nitruro de boro : Nitruro de boro cúbico (cBN), adecuado para acero de alta dureza.

5.2 Clasificación de aplicaciones

Según el material de la pieza de trabajo y las condiciones de procesamiento, los grupos de aplicación son los siguientes:

Grupo P : Aceros y sus aleaciones (dureza HB 130-250).

Grupo M : Aceros inoxidables y aleaciones resistentes al calor.

Grupo K : Hierro fundido y materiales frágiles no ferrosos.

Grupo N : Aluminio, cobre y sus aleaciones, termoplásticos.

Grupo S : Acero templado y fundición templada (dureza HRC 45-65).

6. Requisitos técnicos

6.1 Propiedades del material

Dureza : HV 1500-2500 (dependiendo del tipo de material).

Tenacidad a la fractura : $K_{Ic} \geq 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Resistencia al calor : $\geq 800^\circ\text{C}$ (después del refuerzo del revestimiento).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 Parámetros geométricos

Ángulo del filo de corte: ángulo de ataque principal 5°-20°.

Ángulo de deflexión secundaria: 0°-10°.

Radio de la punta: 0,1-1,0 mm.

6.3 Requisitos de recubrimiento

Recubrimientos opcionales: TiN, TiAlN, AlCrN.

Espesor del recubrimiento: 0,5-5 µm.

Resistencia de adhesión: > 70 MPa.

7. Métodos de prueba

7.1 Prueba de dureza

Probado utilizando un probador de dureza Vickers según ISO 6507-1.

7.2 Prueba de resistencia a la abrasión

Utilizando una prueba de corte estándar, se midió que el ancho de la banda de desgaste (VB) era < 0,3 mm (corte durante 30 min).

7.3 Ensayo de tenacidad a la fractura

Probado utilizando el método de viga con entalla de un solo borde (SENB) según ISO 28079.

8. Marcado y embalaje

8.1 Logotipo

Los productos deben estar marcados con el grupo de materiales (por ejemplo, P20, M15) y el logotipo del fabricante.

Ejemplo: P20-TiAlN-10mm.

8.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con un certificado de calidad que indica el número de lote y los datos de la prueba.

9. Reglas de inspección

9.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y pureza de la materia prima.

9.2 Inspección de fábrica

Ensayos de densidad, dureza y resistencia a la flexión.

Ensayos no destructivos (ultrasónicos).

10. Pautas de solicitud

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte: 50-300 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de alimentación: 0,1-0,5 mm/rev.

Profundidad de corte: 0,5-5 mm.

10.2 Refrigeración y lubricación

Se recomienda utilizar fluido de corte con un caudal ≥ 10 L/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite la exposición prolongada a altas temperaturas para evitar que el revestimiento se desprenda.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de propiedades de los materiales

Tipo de material	Dureza (HV)	Tenacidad a la fractura (MPa·m ^{1/2})	Resistencia al calor (°C)
carburo cementado	1500-1800	10-15	800
cerámica	1800-2200	3-6	1000
Diamante	8000-10000	5-10	600
Nitruro de boro	3000-4000	6-12	1200

Apéndice B (Normativo) - Tabla de códigos de grupo

Grupos Material de la pieza de trabajo Materiales recomendados

PAG	Acero (HB 130-250)	Carburo (P20)
METRO	Acero inoxidable	Carburo (M15)
K	hierro fundido	Carburo (K20)
norte	Aluminio, cobre	Diamante
S	Acero endurecido (HRC 45-65)	Nitruro de boro

13. Índice

Materiales de corte duro

Eliminación de virutas

Clasificación de materiales

Grupo de aplicaciones

Método de prueba

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 15 de octubre de 2012.

Fecha de entrada en vigor : 1 de noviembre de 2012.

Organización de mantenimiento : ISO/TC 29/SC 9 (Herramientas con filos de corte hechos de materiales de corte duros).

Idiomas : Inglés, Francés.

Precauciones

El contenido anterior se ha simulado con base en la información pública y las prácticas del sector de la norma ISO 513:2012. Para obtener detalles técnicos específicos (como códigos de grupo precisos o parámetros de prueba), es posible que se requiera consultar el texto oficial de la norma.

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

Para obtener versiones oficiales completas, obténgalas en el sitio web oficial de ISO o en distribuidores autorizados (como ANSI o DIN).



ISO 15641:2014

Herramientas de corte — **Fresas** — **Parámetros geométricos y métodos de ensayo de durabilidad**

1. Alcance

Esta Norma Internacional especifica la definición de parámetros geométricos, métodos de medición y procedimientos de ensayo de durabilidad para fresas (incluidas, entre otras, fresas de extremo, fresas de planear y fresas en T) utilizadas en operaciones de corte de metal. Esta norma se aplica a fresas fabricadas con materiales de corte duros (como carburo cementado, cerámica y materiales superduros) con filos de corte definidos, con el fin de garantizar un rendimiento constante en diferentes condiciones de mecanizado. Esta norma no se aplica a herramientas no cortantes ni a aplicaciones de mecanizado no metálicas.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para todo tipo de fresas, como fresas de extremo, fresas de planear, fresas tipo T, etc. Cubre el diseño de parámetros geométricos y pruebas de durabilidad.

1.2 Exclusiones

Herramientas no cortantes (por ejemplo herramientas abrasivas).
Herramientas para procesar materiales no metálicos.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su

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

referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

ISO 513:2012 , *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos* .

ISO 3002-1:1982 , *Magnitudes básicas en corte y rectificado — Parte 1: Geometría de la parte activa de las herramientas de corte* .

ISO 8688-1:1989 , *Prueba de vida útil de la herramienta en fresado — Parte 1: Fresado frontal* .

ISO 13399-1:2006 , *Representación e intercambio de datos de herramientas de corte — Parte 1: Descripción general, principios fundamentales e información general* .

Nota : Las versiones más recientes de los documentos referenciados pueden actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar el sitio web oficial de la ISO para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa

Una herramienta de corte giratoria que tiene múltiples filos de corte para mecanizar el material de la pieza de trabajo mediante la eliminación de viruta.

3.2 Parámetros geométricos

Características que describen la forma y el tamaño de la porción de corte de una fresa, incluido el ángulo de desviación, el radio de la punta y el ángulo de hélice.

3.3 Durabilidad

La vida útil de una fresa en condiciones de corte específicas generalmente se mide en tiempo de corte o en el número de piezas procesadas.

3.4 Ancho de desgaste del flanco (VB)

Una medida del desgaste del flanco de un filo, utilizada para evaluar la durabilidad.

4. Símbolos y abreviaturas

κ : Ángulo de inclinación.

κ' : Ángulo de inclinación secundario.

r_{ϵ} : Radio de la esquina.

VB : Ancho de desgaste del flanco.

Vc : Velocidad de corte (m/min).

fn : Velocidad de avance (avance por diente, mm/diente).

5. Clasificación

5.1 Tipos de fresas

Fresa de extremo : para corte lateral y frontal.

Fresa de planear : se utiliza para el mecanizado de superficies planas.

Fresa tipo T : especialmente utilizada para el procesamiento de ranuras en T.

5.2 Clasificación de materiales

Carburo cementado (a base de WC-Co).

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

Cerámica (Al_2O_3 , Si_3N_4).

Materiales superduros (diamante, cBN).

6. Requisitos técnicos

6.1 Parámetros geométricos

Ángulo de deflexión principal (κ_r) : 5° - 20° .

Ángulo de deflexión secundaria (κ') : 0° - 10° .

Radio de la punta de la herramienta (r_ϵ) : 0,1-1,5 mm.

Ángulo de hélice : 15° - 45° (dependiendo de los requisitos de procesamiento).

6.2 Requisitos de durabilidad

Durabilidad estándar: corte 30 min, $\text{VB} \leq 0,3$ mm.

Alta durabilidad: corte durante 60 min, $\text{VB} \leq 0,2$ mm.

7. Métodos de prueba

7.1 Medición de parámetros geométricos

Herramientas : Microscopio óptico o CMM.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 3002-1.

7.2 Prueba de durabilidad

Condiciones de prueba :

Material de la pieza de trabajo: Acero (HB 200).

Velocidad de corte (V_c): 100-200 m/min.

Velocidad de avance (f_n): 0,1-0,3 mm/diente.

Profundidad de corte (a_p): 1-3 mm.

Procedimiento de prueba :

Instale la fresa en la máquina de prueba.

Corte continuo según parámetros especificados.

La VB se midió cada 10 minutos.

La vida útil se registró hasta que VB alcanzó 0,3 mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

7.3 Registro de datos

Registra el tiempo de corte, el valor VB y el modo de falla (astillado, desgaste, etc.).

8. Marcado y embalaje

8.1 Logotipo

Indique el tipo de fresa (p. ej. T20), el grupo de material (p. ej. P20) y el tamaño (p. ej. $\phi 10$ mm).

Ejemplo: T20-P20- $\phi 10$ mm.

8.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con un informe de prueba que contiene parámetros geométricos y datos de durabilidad.

9. Reglas de inspección

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

9.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza de la materia prima y parámetros geométricos.

9.2 Inspección de fábrica

Medición de parámetros geométricos.

Prueba de durabilidad (inspección de muestreo).

10. Directrices de solicitud

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (Vc) : 50-300 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,5 mm/diente.

Profundidad de corte (ap) : 0,5-5 mm.

10.2 Refrigeración y lubricación

Se recomienda utilizar fluido de corte con un caudal ≥ 10 L/min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite el sobrecalentamiento de la herramienta durante el corte a alta velocidad.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de parámetros geométricos

parámetro	alcance	Observación
Ángulo de deflexión principal (κ_r)	5°-20°	Ajustar según la pieza de trabajo
Ángulo de deflexión secundaria (κ'_r)	0°-10°	Corte estable
Radio de la punta de la herramienta (r_ϵ)	0,1-1,5 mm	Reducir la concentración del estrés

Apéndice B (Normativo) - Tabla de condiciones de prueba de durabilidad

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (ap, mm)
Acero (HB 200)	100-200	0,1-0,3	1-3
hierro fundido	80-150	0,2-0,4	2-4
Acero inoxidable	60-120	0,1-0,2	1-2

13. Índice

Fresa

Parámetros geométricos

Pruebas de durabilidad

Condiciones de corte

14. Información de publicación

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

Fecha de lanzamiento : 15 de junio de 2014.

Fecha de entrada en vigor : 1 de julio de 2014.

Organización de mantenimiento : ISO/TC 29/SC 9 (Herramientas con filos de corte hechos de materiales de corte duros).

Idiomas : Inglés, Francés.



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

Norma industrial alemana DIN 844:1987

DIN 844:1987 -

Fresas con mango cilíndrico — Dimensiones

1. Alcance

Esta norma especifica las dimensiones, tolerancias y requisitos de instalación para fresas con mangos cilíndricos, aplicables a fresas de extremo, fresas de planear y fresas de tipo T. La norma define el diámetro del mango, la longitud de la sección de corte y las tolerancias de instalación de la fresa para garantizar su compatibilidad con el husillo y el sistema de sujeción de la máquina herramienta. Esta norma se aplica a fresas para metal duro cementado (WC-Co), acero rápido (HSS) y otros materiales de corte, pero no incluye fresas no estándar para fines especiales.

1.1 Ámbito de aplicación

Para fresas de extremo, fresas de planear y fresas tipo T con vástagos cilíndricos.

Cubre dimensiones, tolerancias y requisitos de instalación.

1.2 Exclusiones

Fresas para fines especiales o diseños no estándar.

Fresas con mango cónico o Weldon (ref. DIN 1835).

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

DIN 13-1:1999 , *Roscas de tornillos métricas de uso general ISO — Tolerancias* .

DIN 6885-1:2003 , *Elementos de fijación de tipo accionamiento sin acción cónica; chaveteros paralelos, chaveteros, patrón profundo* .

ISO 513:2012 , *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos* .

ISO 3002-1:1982 , *Magnitudes básicas en corte y rectificado — Parte 1: Geometría de la parte activa de las herramientas de corte* .

Nota : La última versión del documento de referencia puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar el sitio web oficial de la DIN para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Vástago cilíndrico

Las fresas se utilizan para sujetar piezas cilíndricas y están diseñadas para adaptarse a los mandriles de las máquinas herramienta o a los dispositivos de sujeción.

3.2 Tolerancia

El rango de desviación permitido del tamaño de la fresa garantiza la compatibilidad con las máquinas herramienta y la precisión del procesamiento.

3.3 Dimensiones de montaje

Se refiere al diámetro del mango, longitud y dimensiones correspondientes con el sistema de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sujeción.

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro del vástago, mm.

l : Longitud total (mm).

l1 : Longitud de corte (mm).

h6 : Grado de tolerancia (según DIN 668).

H7 : Grado de tolerancia (según DIN 668).

5. Requisitos técnicos

5.1 Requisitos de tamaño

Diámetro del vástago (d) : 3 mm a 25 mm, los valores estándar incluyen 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25 mm.

Longitud total (l) : Según el diámetro, desde 40 mm hasta 150 mm.

Longitud de la pieza de corte (l1) : depende del tipo de cortador, normalmente de 1,5 a 3 veces d.

5.2 Requisitos de tolerancia

Tolerancia del diámetro del vástago : h6 (diámetro de 3-6 mm) o h7 (diámetro de 8-25 mm) según DIN 668.

h6: $\pm 0,000/-0,006$ mm (3-6 mm).

h7: $\pm 0,000/-0,010$ mm (8-25 mm).

Tolerancia de longitud : $\pm 0,2$ mm (l y l1).

Tolerancia de coaxialidad : 0,01 mm (en toda la longitud).

5.3 Requisitos de instalación

Ajuste de sujeción : la tolerancia de ajuste entre el vástago y la pinza o dispositivo de sujeción es H7/s6.

Rugosidad superficial : vástago $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$, pieza de corte $Ra \leq 1,6 \mu\text{m}$.

Dureza : Vástago HRC 40-50, pieza de corte según el material (como carburo HV 1500-1800).

6. Métodos de prueba

6.1 Medición dimensional

Herramientas : Calibre Vernier o CMM.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

Norma de referencia : Según DIN 13-1.

6.2 Verificación de tolerancia

Método : Verifique las tolerancias de longitud y diámetro del vástago utilizando calibres estándar.

Prueba de coaxialidad : utilice un réómetro rotacional para medir la coaxialidad de longitud completa.

7. Marcado y embalaje

7.1 Logotipo

Indique el tipo de fresa (ej. A, B), diámetro (d), longitud (l) y material (ej. HSS).

Ejemplo: DIN 844-A-10-60-HSS.

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

7.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con informe de inspección dimensional y de tolerancia.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de tamaño y dureza de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Medidas de diámetro, longitud y coaxialidad del vástago.

Inspección de muestra del ajuste de sujeción.

9. Pautas de solicitud

9.1 Recomendaciones de instalación

Asegúrese de que la pinza coincida con el diámetro del vástago, se recomienda una sujeción hidráulica o retráctil.

Limpie la superficie del mango antes de la instalación.

9.2 Parámetros de corte

Velocidad de corte: 50-200 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de alimentación: 0,1-0,3 mm/rev.

10. Requisitos de seguridad

Utilice gafas protectoras durante su trabajo.

Evite apretar o aflojar demasiado para evitar que la herramienta se caiga.

11. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tablas de dimensiones y tolerancias

Diámetro del vástago (d, mm)	Grado de tolerancia	de Longitud total (l, mm)	Longitud de corte (l1, mm)	Coaxialidad (mm)
3	h6	40	6	0.01
6	h6	50	12	0.01
10	h7	70	20	0.01
16	h7	100	40	0.01
25	h7	150	75	0.01

Apéndice B (Normativo) - Tablas de ajuste de instalación

Diámetro del vástago (d, mm)	Tolerancia de la pinza	Tipo de coincidencia
3-6	H7/s6	Ajuste de transición
8-25	H7/s6	Ajuste de transición

12. Índice

Fresa de vástago cilíndrico

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

tolerancia

Dimensiones de instalación

Método de prueba

13. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 1 de mayo de 1987.

Fecha de entrada en vigor : 1 de junio de 1987.

Agencia de mantenimiento : Deutsches Institut für Normung (DIN).

Idiomas : alemán, inglés.

Norma industrial alemana DIN 1839:1990

DIN 1839:1990

Fresas : especificaciones de fabricación y aplicación

1. Alcance

Esta norma especifica el proceso de fabricación, el control de calidad y las especificaciones de las condiciones de uso de las fresas (incluidas las fresas de extremo, de planear y de tipo T), y es aplicable a las fresas de carburo cementado (WC-Co), acero rápido (HSS) y otros materiales de corte. Esta norma tiene como objetivo garantizar la consistencia en la fabricación, la seguridad de uso y la compatibilidad de las fresas con los sistemas de máquinas herramienta, y no es aplicable a herramientas no convencionales ni fresas no estándar para fines especiales.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para la fabricación y uso de fresas de extremo, fresas de planear y fresas tipo T.
Cubre procesos de fabricación, condiciones de uso y requisitos de seguridad.

1.2 Exclusiones

Herramientas no cortantes (por ejemplo herramientas abrasivas).
Fresas para fines especiales o diseños no estándar.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

DIN 844:1987 , *Fresas con mango cilíndrico — Dimensiones* .

DIN 13-1:1999 , *Roscas de tornillos métricas de uso general ISO — Tolerancias* .

ISO 513:2012 , *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos* .

ISO 8688-1:1989 , *Prueba de vida útil de la herramienta en fresado — Parte 1: Fresado frontal* .

Nota : La última versión del documento de referencia puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar el sitio web oficial de la DIN para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa

Una herramienta de corte giratoria que tiene múltiples filos de corte para mecanizar el material de la pieza de trabajo mediante la eliminación de viruta.

3.2 Proceso de fabricación

Los pasos de procesamiento desde la preparación de la materia prima hasta la fresa terminada incluyen la pulvimetalurgia, la sinterización y el recubrimiento.

3.3 Condiciones de aplicación

Parámetros de corte, requisitos de refrigeración y especificaciones de mantenimiento de las fresas durante el mecanizado.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro del vástago, mm.

l : Longitud total (mm).

Vc : Velocidad de corte (m/min).

fn : Velocidad de avance (avance por diente, mm/diente).

PVD : Deposición física de vapor.

5. Requisitos técnicos

5.1 Requisitos de fabricación

Selección de materiales :

Carburo cementado: contenido de WC 88%-92%, contenido de Co 6%-12%.

Acero rápido: HSS-E (que contiene cobalto) dureza HRC 62-66.

Proceso de fabricación :

Pulvimetalurgia: tiempo de molienda de bolas 12-24 h, presión de prensado 150-200 MPa.

Sinterización: temperatura 1350-1450°C, mantenimiento de presión 1-2 h.

Recubrimiento: PVD TiAlN, espesor 1-3 μm .

Rugosidad superficial : Pieza de corte $Ra \leq 1,6 \mu\text{m}$, vástago $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$.

5.2 Requisitos de uso

Datos de corte :

Velocidad de corte (Vc): 50-300 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn): 0,05-0,5 mm/diente.

Profundidad de corte: 0,5-5 mm.

Refrigeración : Se recomienda fluido de corte, caudal $\geq 10 \text{ L/min}$.

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación de la materia prima

Se utilizaron polvo de WC de alta pureza (pureza $> 99,8\%$) y polvo de Co (pureza $> 99,5\%$).

Control del tamaño de partícula: $D_{50} < 1 \mu\text{m}$.

6.2 Flujo de procesamiento

Prensado : Prensado isostático en frío (CIP), presión 150-200 MPa.

Sinterización : Prensado isostático en caliente (HIP), temperatura 1350-1450°C.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Recubrimiento : Proceso PVD, temperatura 450-500°C.

6.3 Control de calidad

Densidad: 14,0-14,9 g/cm^3 .

Dureza: HV 1500-1800 (carburo).

7. Especificaciones de la aplicación

7.1 Instalación

Asegúrese de que el vástago coincida con la pinza, tolerancias según DIN 844 h6/h7.

Limpie el mango antes de la instalación.

7.2 Mantenimiento

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

Compruebe periódicamente el ancho de la banda de desgaste (VB), estándar de reemplazo $VB > 0,3$ mm.

Evite cortar en seco durante más de 10 minutos.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y pureza de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias y pruebas de dureza.

Ensayo de durabilidad (muestreo), según ISO 8688-1.

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Indique tipo (como T), diámetro (d), longitud (l) y material.

Ejemplo: DIN 1839-T-10-60-HM.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

11. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de parámetros del proceso de fabricación

Pasos del proceso	Rango de parámetros	Observación
molienda de bolas	12-24 h, proporción media 1:2	Garantizar la uniformidad
reprimir	150-200 MPa	Densidad inicial 60%-65%
sinterización	1350-1450 °C, 1-2 horas	Densidad > 99,9%
revestimiento	1-3 μm , 450-500 °C	Recubrimiento de TiAlN

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	100-200	0,1-0,3	1-3
hierro fundido	80-150	0,2-0,4	2-4
Acero inoxidable	60-120	0,1-0,2	1-2

12. Índice

Fresa

Proceso de 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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Instrucciones de uso

Requisitos de seguridad

13. Información de publicación

Fecha de publicación : 1 de marzo de 1990. **Fecha de entrada en vigor** : 1 de abril de 1990.

Agencia de mantenimiento : Deutsches Institut für Normung (DIN).

Idiomas : alemán, inglés.

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

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
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

Estándar Nacional Americano

ANSI B94.19-1997 (R2019) -

Fresas y fresas de extremo

1. Alcance

Esta norma especifica la clasificación, las dimensiones, las tolerancias y las condiciones de servicio de las fresas y fresas de extremo de una sola pieza fabricadas en acero de alta velocidad, aplicables a diversas operaciones de fresado en el corte de metales. La norma incluye definiciones generales, rangos de tamaño y requisitos de tolerancia, y proporciona orientación sobre las condiciones de servicio para garantizar el rendimiento y la seguridad de las fresas en diferentes materiales de pieza y entornos de procesamiento. Esta norma no aplica a las fresas que no son de una sola pieza ni a las destinadas al corte de metales.

1.1 Ámbito de aplicación

Para fresas de una sola pieza y fresas de extremo de acero rápido.

Cubre clasificación, dimensiones, tolerancias y condiciones de uso.

1.2 Exclusiones

Fresa de construcción no integral.

Aplicaciones de corte no metálico.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

ANSI B5.10-1994 , *Conificadores para máquina* .

ISO 513:2012 , *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos* .

ISO 8688-1:1989 , *Prueba de vida útil de la herramienta en fresado — Parte 1: Fresado frontal* .

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar el sitio web oficial de ANSI para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa

Una herramienta de corte giratoria que tiene múltiples filos de corte para mecanizar el material de la pieza de trabajo mediante la eliminación de viruta.

3.2 Fresa de extremo

Una fresa con filos de corte en la cara final y en la circunferencia, capaz de realizar cortes axiales y radiales.

3.3 Condiciones de aplicación

Parámetros de corte, requisitos de refrigeración y especificaciones de mantenimiento de las fresas durante el mecanizado.

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

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro (mm).

l : Longitud total (mm).

Vc : Velocidad de corte (m/min).

fn : Velocidad de avance (avance por diente, mm/diente).

HSS : Acero de alta velocidad.

5. Clasificación

5.1 Tipos de fresas

Fresas de extremo : incluye fresas de extremo de fondo plano, fresas de extremo de punta esférica y fresas de extremo angular.

Fresa de planear : se utiliza para el mecanizado de superficies planas y se divide en tipos de desbaste y acabado.

Fresa de ranuras : incluye fresa de ranuras en T y fresa de chavetero.

5.2 Clasificación por tamaño

Rango de diámetro : 3 mm a 50 mm, los valores estándar incluyen 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50 mm.

Rango de longitud : 40 mm a 200 mm, clasificado según el diámetro.

5.3 Clasificación de tolerancia

Tolerancia de diámetro: h6 (3-6 mm) o h7 (8-50 mm).

Tolerancia de longitud: $\pm 0,2$ mm.

6. Especificaciones de la aplicación

6.1 Parámetros de corte

Velocidad de corte (Vc) :

Acero (HB 200): 20-50 m/min.

Hierro fundido: 30-70 m/min.

Aleación de aluminio: 100-300 m/min.

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,3 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,5-5 mm (ajustada según el diámetro de la fresa).

6.2 Refrigeración y lubricación

Se recomienda utilizar fluido de corte con un caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco es adecuado para el procesamiento de carga ligera y no dura más de 10 minutos.

6.3 Adaptación del material de la pieza de trabajo

Grupo P : Aceros y sus aleaciones (dureza HB 130-250).

Grupo K : Hierro fundido y materiales frágiles no ferrosos.

Grupo N : Aluminio, cobre y sus aleaciones.

6.4 Requisitos de mantenimiento

Compruebe periódicamente el ancho de la banda de desgaste (VB), estándar de reemplazo $VB > 0,3$ mm.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

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

7. Requisitos técnicos

7.1 Propiedades del material

Dureza : HRC 62-66 (HSS).

Resistencia al calor : $\leq 600^{\circ}\text{C}$.

7.2 Parámetros geométricos

Ángulo de deflexión principal : 5° - 15° .

Radio de la punta : 0,1-1,0 mm.

8. Métodos de prueba

8.1 Medición dimensional

Herramientas : Calibre Vernier o CMM.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

8.2 Prueba de durabilidad

Condiciones : Acero (HB 200), Vc 30 m/min, fn 0,1 mm/diente, ap 2 mm.

Procedimiento : Cortar continuamente durante 30 minutos y medir VB.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Indique el tipo (por ejemplo EM), diámetro (d) y longitud (l).

Ejemplo: ANSI B94.19-EM-10-60.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con informe de prueba de tamaño y durabilidad.

10. Reglas de inspección

10.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y tamaño de la materia prima.

10.2 Inspección de fábrica

Ensayos dimensionales, de tolerancia y de durabilidad (muestreo).

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite el sobrecalentamiento de la herramienta durante el corte a alta velocidad.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tablas de clasificación y tamaño

tipo	Rango de diámetro (mm)	Rango de longitud (mm)	Grado de tolerancia
Fresa de extremo	3-25	40-150	h6/h7

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

Fresa de planear	10-50	50-200	h7
Fresa para ranuras en T	6-32	50-150	h6/h7

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	20-50	0,05-0,2	1-3
hierro fundido	30-70	0,1-0,3	2-4
Aleación de aluminio	100-300	0,1-0,5	1-5

13. Índice

Fresa

Fresa de extremo

Clasificación

Condiciones de uso

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 20 de marzo de 1997.

Última fecha confirmada : 2019.

Mantenido por : Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI).

Idioma : Inglés.



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

Normas industriales japonesas

JIS B 4120:2000

Fresas con puntas de carburo: Especificaciones de fabricación y pruebas

— Especificaciones de fabricación y pruebas

1. Alcance

Esta norma especifica el proceso de fabricación, el control de calidad y los métodos de ensayo de las fresas de carburo cementado (incluidas las fresas de extremo, de planeo y de ranurado), y es aplicable a materiales de carburo cementado (como los de base WC-Co) en el mecanizado de metales. Esta norma tiene como objetivo garantizar la consistencia de fabricación, el rendimiento de corte y la seguridad de las fresas, y no es aplicable a materiales de carburo no cementado ni a herramientas para fines no relacionados con el corte.

1.1 Ámbito de aplicación

Para fresas de extremo, fresas de planear y fresas de ranurar de carburo.
Cubre procesos de fabricación, control de calidad y requisitos de pruebas.

1.2 Exclusiones

Fresas fabricadas con materiales que no sean de carburo.
Herramientas para usos distintos a los de corte.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

JIS B 4104:1995, *Herramientas con punta de carburo — Reglas generales*.

ISO 513:2012, *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos*.

ISO 8688-1:1989, *Prueba de vida útil de la herramienta en fresado — Parte 1: Fresado frontal*.

Nota : Las versiones más recientes de los documentos referenciados pueden actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar el sitio web oficial de JIS para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa de carburo

Las fresas fabricadas con carburo cementado a base de carburo de tungsteno (WC) son adecuadas para cortar piezas de trabajo de alta dureza.

3.2 Proceso de fabricación

Los pasos de procesamiento desde la preparación de la materia prima hasta la fresa terminada incluyen la pulvimetalurgia, la sinterización y el recubrimiento.

3.3 Métodos de prueba

Procedimiento experimental estandarizado para evaluar el rendimiento y la durabilidad de las fresas.

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

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro (mm).
l : Longitud total (mm).
Vc : Velocidad de corte (m/min).
VB : Ancho de desgaste del flanco (mm).
WC : Carburo de tungsteno.

5. Requisitos técnicos

5.1 Propiedades del material

Dureza : HV 1500-1800.

Tenacidad a la fractura : $K_{Ic} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Densidad : 14,0-14,9 g/cm³.

5.2 Parámetros geométricos

Ángulo de deflexión principal : 5°-20°.

Radio de la punta : 0,1-1,0 mm.

Ángulo de hélice : 15°-45° (ajustado según la aplicación).

5.3 Requisitos de recubrimiento

Recubrimiento opcional: TiN, TiAlN, espesor 1-3 μm.

Resistencia de adhesión: > 70 MPa.

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación de la materia prima

Se utilizaron polvo de WC de alta pureza (pureza > 99,8%) y polvo de Co (pureza > 99,5%).

Control del tamaño de partícula: D50 < 1 μm.

6.2 Flujo de procesamiento

Prensado : Prensado isostático en frío (CIP), presión 150-200 MPa.

Sinterización : Prensado isostático en caliente (HIP), temperatura 1350-1450°C, presión de mantenimiento 1-2 h.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia ±0,01 mm.

Recubrimiento : Proceso PVD, temperatura 450-500°C.

6.3 Control de calidad

Prueba de densidad: 14,0-14,9 g/cm³.

Prueba de dureza: HV 1500-1800.

7. Métodos de prueba

7.1 Dimensiones y tolerancias

Herramientas : Máquina de medición de coordenadas.

Precisión : ±0,01 mm.

Norma de referencia : Según JIS B 4104.

7.2 Prueba de durabilidad

Condiciones de prueba :

Material de la pieza de trabajo: acero JIS S45C (HB 200).

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

Velocidad de corte (V_c): 100-150 m/min.

Velocidad de avance (f_n): 0,1-0,2 mm/diente.

Profundidad de corte: 1-3 mm.

programa :

Instale la fresa en la máquina de prueba.

Cortar continuamente durante 30 min según los parámetros especificados.

Se midió el ancho de la banda de desgaste (VB).

Criterios de juicio : $VB \leq 0,3$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

7.3 Registro de datos

Se registraron el tiempo de corte, el valor VB y el modo de falla.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y pureza de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias, pruebas de dureza.

Prueba de durabilidad (muestreo).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Indique tipo (como EM), diámetro (d), longitud (l) y material.

Ejemplo: JIS B 4120-EM-10-60-WC.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Especificaciones de la aplicación

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (V_c) : 50-300 m/min (ajustable según la pieza de trabajo).

Velocidad de avance (f_n) : 0,05-0,5 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,5-5 mm.

10.2 Requisitos de refrigeración

Fluido de corte recomendado, caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco está limitado a cargas ligeras y duración ≤ 10 min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

12. Anexo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apéndice A (Informativo) - Tabla de parámetros del proceso de fabricación

Pasos del proceso	Rango de parámetros	Observación
molienda de bolas	12-24 h, proporción media 1:2	Garantizar la uniformidad
reprimir	150-200 MPa	Densidad inicial 60%-65%
sinterización	1350-1450 °C, 1-2 horas	Densidad > 99,9%
revestimiento	1-3 μm, 450-500 °C	Recubrimiento de TiAlN

Apéndice B (Normativo) - Tabla de condiciones de prueba

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
JIS S45C	100-150	0,1-0,2	1-3
hierro fundido	80-120	0,2-0,3	2-4
Acero inoxidable	60-100	0,1-0,2	1-2

13. Índice

Fresa de carburo

Proceso de fabricación

Método de prueba

Instrucciones de uso

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 20 de junio de 2000.

Fecha de entrada en vigor : 1 de julio de 2000.

Organización de mantenimiento : Comité Japonés de Normas Industriales (JISC).

Idioma : japonés, inglés.

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



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

Norma Nacional China

GB/T 16665-2017

- Requisitos técnicos y métodos de ensayo para aleaciones duras

— Requisitos técnicos y métodos de prueba

1. Alcance

Esta norma especifica los requisitos técnicos y los métodos de ensayo de rendimiento del carburo cementado (con carburo de tungsteno WC como fase dura principal y cobalto Co o níquel Ni como fase aglutinante), aplicable a la fabricación de herramientas de corte, moldes y piezas resistentes al desgaste. Esta norma incluye las propiedades físicas, la composición química y los requisitos de las propiedades mecánicas del material, así como los métodos de ensayo correspondientes, y no es aplicable a materiales de carburo no cementado ni a materiales compuestos para fines especiales.

1.1 Ámbito de aplicación

Aplicable a carburos cementados a base de WC-Co o WC-Ni.

Cubre los requisitos de rendimiento y los métodos de prueba.

1.2 Exclusiones

Materiales sin carburo.

Materiales compuestos para aplicaciones especiales.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 3850-2015, *Métodos para probar las propiedades de metales duros*.

GB/T 5244-2015, *Metales duros: determinación del contenido de cobalto, titanio, tantalio, niobio y vanadio*.

ISO 513:2012, *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Metal duro

Un material sinterizado con carburo de tungsteno (WC) como fase dura principal y cobalto (Co) o níquel (Ni) como fase de unión, que tiene alta dureza y resistencia al desgaste.

3.2 Dureza

La capacidad de un material para resistir la deformación plástica localizada o la indentación, generalmente expresada en dureza Vickers (HV).

3.3 Tenacidad a la fractura

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

La capacidad de un material para resistir el crecimiento de grietas, generalmente expresada como el factor de intensidad de tensión crítica (K_{Ic}).

4. Símbolos y abreviaturas

HV : Dureza Vickers.

K_{Ic} : Tenacidad a la fractura ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$).

ρ : Densidad (g/cm^3).

WC : Carburo de tungsteno.

Co : Cobalto.

5. Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Contenido de WC : 85%-94% (fracción de masa).

Contenido de Co : 6%-12% (fracción de masa), Ni $\leq$ 2% (opcional).

Contenido de impurezas : oxígeno $\leq$ 0,2%, otras impurezas $\leq$ 0,5%.

5.2 Propiedades físicas

Densidad (ρ) : 14,0-15,0 g/cm^3 (ajustada según el contenido de Co).

Porosidad : A02-B00-C00 (según grado GB/T 3850).

5.3 Propiedades mecánicas

Dureza (HV30) : 1200-1800 (dependiendo del grado).

Tenacidad a la fractura (K_{Ic}) : 8-15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Resistencia a la flexión : 1800-2500 MPa.

5.4 Resistencia al calor

Temperatura de funcionamiento: $\leq$ 800°C (sin recubrimiento).

Resistencia a la oxidación: Tasa de pérdida de peso $\leq$ 0,1 %/h (800°C, 1h).

6. Métodos de prueba

6.1 Análisis de la composición química

Métodos : Análisis espectroscópico o métodos químicos húmedos.

Precisión : $\pm 0,1\%$ (fracción de masa).

Norma de referencia : Según GB/T 5244.

6.2 Medición de densidad

Herramientas : Método de Arquímedes o método de penetración de mercurio.

Precisión : $\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Norma de referencia : Según GB/T 3850.

6.3 Prueba de dureza

Herramientas : Probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

Precisión : $\pm 20 \text{ HV}$.

Norma de referencia : Según GB/T 3850.

6.4 Ensayo de tenacidad a la fractura

Método : Método de viga con entalla de un solo borde (SENB).

Precisión : $\pm 0,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Norma de referencia : Según GB/T 3850.

6.5 Prueba de resistencia a la flexión

Método : Prueba de flexión de tres puntos.

Tamaño de la muestra : 20 mm × 6,5 mm × 5,25 mm.

Precisión : ±50 MPa.

Norma de referencia : Según GB/T 3850.

7. Reglas de inspección

7.1 Inspección de fábrica

Inspección de la composición química y del tamaño de partículas de las materias primas.

7.2 Inspección de fábrica

Ensayos de densidad, dureza, tenacidad a la fractura y resistencia a la flexión.

Análisis de porosidad y microestructura.

8. Marcado y embalaje

8.1 Logotipo

Marque el número de marca (como YG6, YG8) y el número de lote.

Ejemplo: GB/T 16665-YG6-20250601.

8.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con informe de prueba de rendimiento.

9. Pautas de solicitud

9.1 Áreas de aplicación

Herramientas de corte de metal (fresas, herramientas de torneado).

Piezas resistentes al desgaste (matrices, punzones).

9.2 Recomendaciones de uso

Evite el uso prolongado a temperaturas superiores a 800°C.

Revise regularmente las superficies para detectar desgaste.

10. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite la inhalación de polvo y manipúlelo en un ambiente ventilado.

11. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tablas de referencia de rendimiento

Marca	Contenido de WC (%)	Contenido de CO (%)	Dureza (HV30)	Tenacidad a la fractura (K _{1c} , MPa·m ^{1/2})	Resistencia a la flexión (MPa)
YG6	94	6	1500-1600	10-12	1800-2000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YG8	92	8	1400-1500	12-14	2000-2200
Año 12	88	12	1300-1400	14-15	2200-2500

Apéndice B (Normativo) - Tabla de condiciones de prueba

Indicadores de desempeño	de	Método de prueba	Número de muestras	de	Desviación permisible
densidad		método de Arquímedes	3		$\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$
dureza		Probador de dureza Vickers	5		$\pm 20 \text{ HV}$
Tenacidad a la fractura		SENB	5		$\pm 0,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$
Resistencia a la flexión		Flexión de tres puntos	5		$\pm 50 \text{ MPa}$

12. Índice

carburo cementado

Requisitos de rendimiento

Método de prueba

Requisitos técnicos

13. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 30 de junio de 2017.

Fecha de entrada en vigor : 1 de diciembre de 2017.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).

Idioma : chino, inglés.

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



Norma nacional china GB/T 5231-2019

GB/T 5231-2019

- Herramientas de corte

— Condiciones técnicas generales

1. Alcance

Esta norma especifica las condiciones técnicas generales para herramientas de corte (incluyendo herramientas de torneado, fresas, brocas y mandriladoras, etc.), abarcando la selección de materiales, el proceso de fabricación, las tolerancias dimensionales, los requisitos de rendimiento y las especificaciones de inspección y uso. Esta norma es aplicable a herramientas de corte de diversos materiales (como acero rápido y carburo cementado) para el mecanizado de metales, y no es aplicable a herramientas no cortantes ni para fines de mecanizado no metálico.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para herramientas de corte de acero de alta velocidad, carburo cementado, etc.

Cubre los requisitos de fabricación, inspección y uso.

1.2 Exclusiones

Herramientas no cortantes (por ejemplo herramientas abrasivas).

Aplicaciones de procesamiento no metálico.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 16665-2017, *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba*.

GB/T 3850-2015, *Métodos para probar las propiedades de metales duros*.

ISO 513:2012, *Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para eliminación de metal con bordes de corte definidos*.

ISO 8688-1:1989, *Prueba de vida útil de la herramienta en fresado — Parte 1: Fresado frontal*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Herramienta de corte

Las herramientas que mecanizan el material de la pieza mediante arranque de viruta suelen tener un filo definido.

3.2 Tolerancia

El rango de desviación permitido del tamaño de la herramienta de corte garantiza la precisión del procesamiento y la intercambiabilidad.

3.3 Condiciones de aplicación

Parámetros de corte y requisitos ambientales de las herramientas de corte durante el procesamiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro (mm).
l : Longitud total (mm).
Vc : Velocidad de corte (m/min).
VB : Ancho de desgaste del flanco (mm).
HSS : Acero de alta velocidad.

5. Requisitos técnicos

5.1 Requisitos de material

Acero de alta velocidad (HSS) : Dureza HRC 62-66, resistencia al calor $\leq 600^{\circ}\text{C}$.

Carburo cementado : dureza HV 1200-1800, tenacidad a la fractura $K_{IC} \geq 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Recubrimiento : TiN o TiAlN, espesor 1-3 μm .

5.2 Parámetros geométricos

Ángulo de ataque : 5° - 20° (ajustado según el tipo de herramienta).

Radio de la punta : 0,1-1,0 mm.

Rugosidad superficial : $R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$ (parte de corte), $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ (vástago).

5.3 Tolerancia dimensional

Tolerancia de diámetro : h6 (3-6 mm) o h7 (8-25 mm).

Tolerancia de longitud : $\pm 0,2 \text{ mm}$.

Tolerancia de coaxialidad : 0,01 mm (en toda la longitud).

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación del material

Acero de alta velocidad: forjado o laminado, recocido.

Carburo cementado: pulvimetalurgia, presión de prensado 150-200 MPa.

6.2 Flujo de procesamiento

Mecanizado de desbaste : torneado o fresado.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Tratamiento térmico : Temple (HSS), sinterización (carburo), temperatura $1200-1450^{\circ}\text{C}$.

6.3 Recubrimiento

Proceso PVD, temperatura $450-500^{\circ}\text{C}$, resistencia de unión $> 70 \text{ MPa}$.

7. Métodos de prueba

7.1 Dimensiones y tolerancias

Herramientas : CMM o calibrador Vernier.

Precisión : $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Norma de referencia : Según GB/T 3850.

7.2 Prueba de dureza

Herramientas : Probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

Precisión : $\pm 20 \text{ HV}$.

Norma de referencia : Según GB/T 3850.

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

7.3 Prueba de durabilidad

Condiciones : Acero (HB 200), Vc 50-100 m/min, fn 0,1 mm/diente, ap 2 mm.

Procedimiento : Cortar continuamente durante 30 minutos y medir VB.

Criterios de juicio : $VB \leq 0,3$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y composición química de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias, pruebas de dureza.

Prueba de durabilidad (muestreo).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Indique el tipo (por ejemplo M), diámetro (d), longitud (l) y material.

Ejemplo: GB/T 5231-M-10-60-HSS.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Especificaciones de la aplicación

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (Vc) : 20-300 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,5 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,5-5 mm.

10.2 Requisitos de refrigeración

Fluido de corte recomendado, caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco está limitado a cargas ligeras y duración ≤ 10 min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de parámetros técnicos

Tipo de material	Dureza (HV/HRC)	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Grado de tolerancia	de Rugosidad superficial (Ra, μ m)
HSS	Derechos de autor 62-66	20-50	h6/h7	$\leq 1,6$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carburo cementado	Alto voltaje 1200- 1800	50-300	h6/h7	≤ 1,6
----------------------	----------------------------	--------	-------	-------

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	50-100	0,1-0,2	1-3
hierro fundido	70-120	0,2-0,3	2-4
Aleación de aluminio	100-300	0,1-0,5	1-5

13. Índice

Herramientas de corte

Requisitos técnicos

Método de prueba

Instrucciones de uso

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 4 de junio de 2019.

Fecha de entrada en vigor : 1 de enero de 2020.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).

Idioma : chino, inglés.



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

Norma nacional china GB/T 20323-2020

GB/T 20323-2020

Código de fresas (integrales/dentadas/indexables)

— Sistema de designación para tipos sólidos/insertables en dientes/indexables

1. Alcance

Esta norma especifica el sistema de codificación de las fresas (incluyendo las de tipo integral, de plaquita e indexables) para identificar el tipo, la estructura, el tamaño, el material y otras características técnicas. Esta norma se aplica a diversas fresas utilizadas en el mecanizado de metales y busca lograr una identificación uniforme de los productos y la interoperabilidad internacional. No se aplica a herramientas no cortantes ni a fresas especiales de diseño no estándar.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para fresas sólidas, de inserción e indexables.

Cubre las convenciones de código y los métodos de identificación.

1.2 Exclusiones

Herramientas que no cortan.

Fresas especiales con diseños no estándar.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 5231-2019, *Herramientas de corte — Condiciones técnicas generales*.

GB/T 16665-2017, *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba*.

ISO 5608:2012, *Fresas — Designación*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa sólida

Una fresa fabricada en un solo material, siendo la parte de corte y el vástago una sola pieza.

3.2 Fresa insertable en dientes

Una fresa en la que los dientes de corte están fijados al cuerpo de la fresa de manera incrustada.

3.3 Fresa indexable

Fresas que utilizan insertos de corte reemplazables que se pueden girar o voltear para utilizar nuevos filos de corte.

3.4 Designación

Combinación de códigos estandarizados utilizados para identificar las características de las fresas.

4. Símbolos y abreviaturas

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

d : Diámetro (mm).

l : Longitud total (mm).

HSS : Acero de alta velocidad.

WC : Carburo de tungsteno.

5. Sistema de designación

5.1 Composición del código

El código de la fresa consta de las siguientes partes, dispuestas en orden:

Código de tipo : Identifica el tipo de estructura de la fresa.

Código de tamaño : Identifica el diámetro y la longitud.

Código de Material : Identifica el tipo de material.

Código Adicional : Opcional, para aplicaciones o recubrimientos especiales.

5.2 Código de tipo

S : Sólido.

T : Diente insertable.

I : Indexable.

5.3 Código de tamaño

Formato: [diámetro]×[longitud].

Ejemplo: 10×60 significa diámetro 10 mm y longitud 60 mm.

Las tolerancias están de acuerdo con GB/T 5231.

5.4 Código de material

HSS : Acero de alta velocidad.

WC : Aleación dura.

HSS-Co : Acero de alta velocidad que contiene cobalto.

TiN : Recubrimiento de nitruro de titanio (adicional).

5.5 Código adicional

R : Desbaste.

F : Acabado.

H : Adecuado para piezas de trabajo con alta dureza.

6. Ejemplos de designación

6.1 Fresa integral

S-10×60-HSS : Fresa sólida de acero de alta velocidad de 10 mm de diámetro y 60 mm de longitud.

S-20×100-WC-TiN : fresa sólida de carburo de 20 mm de diámetro y 100 mm de longitud con recubrimiento de TiN.

6.2 Insertar la fresa de dientes

T-12×80-HSS-Co : fresa de inserción de acero de alta velocidad que contiene cobalto, de 12 mm de diámetro y 80 mm de longitud.

T-25×150-WC-R : fresa con inserto de carburo de 25 mm de diámetro y 150 mm de longitud, adecuada para mecanizado en desbaste.

6.3 Fresa indexable

I-16×90-WC-F : fresa indexable de carburo de 16 mm de diámetro y 90 mm de longitud, adecuada

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

para acabado.

I-30×120-WC-H : fresa indexable de carburo de 30 mm de diámetro y 120 mm de longitud, adecuada para piezas de alta dureza.

7. Requisitos de calificación

El código debe estar claramente marcado en el cuerpo de la fresa o en el embalaje.

Altura de fuente: ≥ 2 mm.

Método de marcado: Grabado láser o impresión por inyección de tinta.

8. Reglas de inspección

8.1 Comprobación de la consistencia del código

El código de verificación es coherente con los parámetros técnicos reales.

Frecuencia de muestreo: 5% (mínimo 1 pieza).

8.2 Verificación de dimensiones y materiales

La inspección de dimensiones y materiales se realizará de acuerdo con GB/T 5231.

9. Embalaje y almacenamiento

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Entorno de almacenamiento: Temperatura 5-30°C, humedad $\leq 60\%$.

10. Directrices de solicitud

El tipo integral es adecuado para mecanizado de diámetro pequeño y alta precisión.

El tipo de inserto es adecuado para corte de carga media.

El tipo indexable es adecuado para procesamiento de gran diámetro o de alta eficiencia.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite el uso indebido debido a nombres de código incorrectos.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de códigos

Código de tipo	Tipo de estructura	Ejemplos de materiales	Ejemplos de código adicionales
S	Monolítico	HSS, WC	TiN, R
T	Dentado	HSS-Co, WC	F, H
I	Indexable	WC	F, H

Apéndice B (Normativo) - Rangos de tamaño

Rango de diámetro (mm)	Rango de longitud (mm)	Grado de tolerancia
3-10	40-100	h6
12-25	80-200	h7
30-50	100-300	h7

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

13. Índice

Fresa Sistema de codificación Monolítico Dentado Indexable

14. Información de publicación

Fecha de publicación : 15 de junio de 2020. **Fecha de entrada en vigor** : 1 de enero de 2021.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).

Idioma : chino, inglés.

Norma nacional china GB/T 25664-2010

GB/T 25664-2010

**- Requisitos de seguridad para
fresadoras de alta velocidad
— Requisitos de seguridad**

1. Alcance

Esta norma especifica los requisitos de seguridad para fresas de corte de alta velocidad (aplicable a fresas con velocidades de corte superiores a 50 m/s), incluyendo especificaciones de seguridad para el diseño, la fabricación, la instalación, el uso y el mantenimiento. Esta norma se aplica a fresas integrales, dentadas o indexables de acero rápido (HSS) o carburo cementado (WC), y su objetivo es reducir el riesgo de accidentes durante su uso. No es aplicable a aplicaciones de corte que no sean de alta velocidad ni a herramientas que no sean de corte.

1.1 Ámbito de aplicación

Para fresas de corte a alta velocidad con velocidades de corte > 50 m/s.

Cubre los requisitos de seguridad para el diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento.

1.2 Exclusiones

Fresas convencionales con velocidades de corte ≤ 50 m/s.

Herramientas que no cortan.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 5231-2019 , *Herramientas de corte — Condiciones técnicas generales* .

GB/T 16665-2017 , *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba* .

ISO 15641:2001 , *Fresas para mecanizado de alta velocidad — Requisitos de seguridad* .

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa de alta velocidad

Para operaciones eficientes de corte de metal se suelen utilizar fresas con velocidades de corte superiores a 50 m/s.

3.2 Desempeño de seguridad

La capacidad de prevenir lesiones personales o daños al equipo durante el funcionamiento.

3.3 Tenacidad a la fractura

La capacidad de un material para resistir el crecimiento de grietas, generalmente expresada como K_{1C}.

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

4. Símbolos y abreviaturas

V_c : Velocidad de corte (m/s).

d : Diámetro (mm).

HSS : Acero de alta velocidad.

WC : Carburo de tungsteno.

K_{1c} : Tenacidad a la fractura (MPa·m^{1/2}).

5. Requisitos técnicos

5.1 Requisitos de material

Dureza : HSS HRC 62-66, WC HV 1200-1800.

Tenacidad a la fractura : K_{1c} ≥ 10 MPa·m^{1/2} (WC), K_{1c} ≥ 8 MPa·m^{1/2} (HSS).

Resistencia a la fatiga : Límite de fatiga ≥ 800 MPa.

5.2 Requisitos de diseño

Grado de equilibrio : G2.5 (según ISO 1940-1).

Velocidad máxima : Calculada en base al diámetro, V_c ≤ 100 m/s.

Resistencia de la hoja : resistencia a la tracción ≥ 1000 MPa.

5.3 Requisitos de fabricación

Rugosidad superficial : Ra ≤ 1,2 μm (parte de corte), Ra ≤ 0,6 μm (vástago).

Tratamiento térmico : Temple (HSS) o sinterización (WC), tensión residual ≤ 200 MPa.

6. Requisitos de seguridad

6.1 Seguridad del diseño

Diseño anti-astillado : radio de la punta de la hoja 0,2-1,0 mm.

Protección contra exceso de velocidad : corta automáticamente la energía cuando la velocidad excede el valor de diseño en un 20%.

Prueba de equilibrio : Error de equilibrio dinámico ≤ 2 g·mm/kg.

6.2 Seguridad en la instalación

Fuerza de sujeción : Fuerza de sujeción mínima ≥ 10 kN (ajustada al diámetro).

Coaxialidad : después de la instalación, el error de coaxialidad es ≤ 0,01 mm.

Diseño anti-aflojamiento : utilice contratuerca o chavetero.

6.3 Seguridad de uso

Protección del operador : Use gafas protectoras, guantes resistentes a cortes y tapones para los oídos.

Restricciones de parámetros de corte : V_c ≤ 100 m/s, velocidad de avance ≤ 0,5 mm/diente.

Requisitos ambientales : Caudal de fluido de corte ≥ 15 L/min, temperatura ≤ 50°C.

6.4 Mantenimiento de la seguridad

Inspección periódica : Verificar mensualmente que el ancho de la banda de desgaste (VB) sea ≤ 0,3 mm.

Criterios de reemplazo : Reemplazar cuando VB > 0,3 mm o el cuerpo de la cortadora esté agrietado.

Eliminación : reciclar o destruir de forma segura para evitar lesiones causadas por los escombros.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Métodos de prueba

7.1 Prueba de equilibrio

Herramientas : Equilibradora dinámica.

Norma : Según ISO 1940-1, grado G2.5.

Precisión : $\leq 2 \text{ g} \cdot \text{mm/kg}$.

7.2 Ensayo de tenacidad a la fractura

Método : Método de viga con entalla de un solo borde (SENB).

Precisión : $\pm 0,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Norma de referencia : GB/T 16665.

7.3 Prueba de durabilidad

Condiciones : Acero (HB 200), Vc 80 m/s, fn 0,2 mm/diente, ap 2 mm.

Procedimiento : Cortar continuamente durante 20 minutos y medir VB.

Criterios de evaluación : Sin astillado, $\text{VB} \leq 0,3 \text{ mm}$.

Norma de referencia : Según ISO 15641.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y composición química de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Ensayos de grado de equilibrio, tenacidad a la fractura y durabilidad (frecuencia de muestreo 5%).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Código de marcado (como HS-10×60-WC) y advertencias de seguridad.

Ejemplo: GB/T 25664-HS-10×60-WC (Vc máx.: 100 m/s).

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de golpes y humedad y venga con instrucciones de seguridad.

10. Pautas de solicitud

Asegúrese de que la rigidez del husillo de la máquina herramienta sea $\geq 50 \text{ N}/\mu\text{m}$.

Calibre periódicamente los equipos de equilibrio y monitoreo de velocidad.

11. Prevención de incidentes de seguridad

Instale una cubierta protectora para evitar que salgan residuos volando.

Los operadores de trenes deben reconocer señales de exceso de velocidad o sobrecalentamiento.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de parámetros de seguridad

Diámetro (mm)	Velocidad máxima (rpm)	Nivel de equilibrio	Fuerza de sujeción (kN)
10	30000	G2.5	10

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

20	15000	G2.5	15
40	7500	G2.5	25

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/s)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	50-80	0,1-0,3	1-3
Aleación de aluminio	80-100	0,2-0,5	1-5
Acero inoxidable	50-70	0,1-0,2	1-2

13. Índice

Fresa de corte de alta velocidad

Requisitos de seguridad

Diseño para la seguridad

Seguro de usar

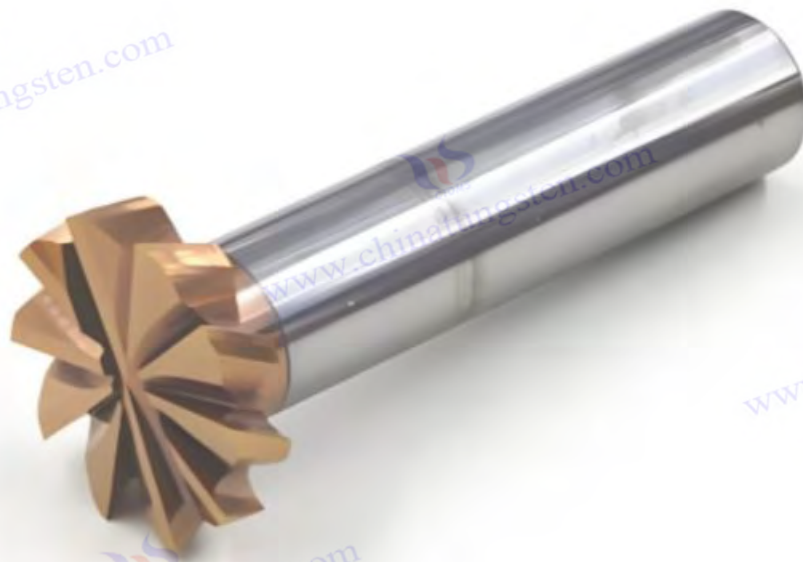
14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 1 de junio de 2010.

Fecha de entrada en vigor : 1 de enero de 2011.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).

Idioma : chino, inglés.



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

Norma nacional china GB/T 6122-2017

GB/T 6122-2017 -

Fresas para redondear esquinas

1. Alcance

Esta norma especifica el tamaño, la forma, los requisitos de fabricación, las especificaciones de rendimiento y las condiciones de uso de las fresas de esquinas redondeadas (fresas utilizadas para procesar las esquinas redondeadas de los bordes de las piezas). Esta norma se aplica a las fresas de esquinas redondeadas, con dientes integrados o insertados, fabricadas en acero rápido (HSS) o carburo cementado (WC), ampliamente utilizadas en el mecanizado de metales, y no es adecuada para herramientas que no sean de corte ni para procesos no redondeados.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para fresas de radio de esquina fabricadas en acero de alta velocidad o carburo.

Cubre dimensiones, fabricación y requisitos de uso.

1.2 Exclusiones

Herramientas que no cortan.

Fresa para aplicaciones sin redondeo de esquinas.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 5231-2019, *Herramientas de corte — Condiciones técnicas generales*.

GB/T 16665-2017, *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba*.

ISO 5609:1999, *Mangos de herramientas con cono 7/24 para cambios automáticos de herramientas*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa para redondear esquinas

Una fresa con un radio de esquina específico que se utiliza para redondear o biselar los bordes de una pieza de trabajo.

3.2 Radio de la esquina

Radio del arco del borde de la pieza de corte de la fresa, en mm.

3.3 Condiciones de aplicación

Los parámetros de corte y los requisitos ambientales de la fresa de esquina durante el proceso de mecanizado.

4. Símbolos y abreviaturas

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

R : Radio de esquina (mm).

d : Diámetro (mm).

l : Longitud total (mm).

HSS : Acero de alta velocidad.

WC : Carburo de tungsteno.

5. Requisitos técnicos

5.1 Dimensiones y tolerancias

Rango de diámetro : 6 mm a 40 mm.

Radio de esquina (R) : 1 mm a 10 mm (valores estándar: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 mm).

Rango de longitud : 50 mm a 150 mm.

Tolerancia : diámetro h6 (6-10 mm) o h7 (12-40 mm), longitud $\pm 0,2$ mm.

5.2 Requisitos de material

Acero de alta velocidad (HSS) : Dureza HRC 62-66, resistencia al calor $\leq 600^{\circ}\text{C}$.

Carburo cementado (WC) : Dureza HV 1200-1800, tenacidad a la fractura $K_{IC} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Recubrimiento : TiN o TiAlN, espesor 1-3 μm .

5.3 Parámetros geométricos

Ángulo de deflexión principal : 5° - 15° .

Ángulo de hélice : 15° - 30° (ajustado según el diámetro).

Rugosidad superficial : $R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$ (parte de corte), $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ (vástago).

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación del material

Acero de alta velocidad: forjado o laminado, recocido.

Carburo cementado: pulvimetalurgia, presión de prensado 150-200 MPa.

6.2 Flujo de procesamiento

Mecanizado de desbaste : torneado o fresado.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia de radio de esquina $\pm 0,05$ mm.

Tratamiento térmico : Temple (HSS) o sinterización (WC), temperatura 1200-1450 $^{\circ}\text{C}$.

6.3 Recubrimiento

Proceso PVD, temperatura 450-500 $^{\circ}\text{C}$, resistencia de unión > 70 MPa.

7. Métodos de prueba

7.1 Dimensiones y tolerancias

Herramientas : Máquina de medición de coordenadas.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

Norma de referencia : Según GB/T 5231.

7.2 Prueba de dureza

Herramientas : Probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

Precisión : ± 20 HV.

Norma de referencia : Según GB/T 16665.

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

7.3 Prueba de durabilidad

Condiciones : Acero (HB 200), Vc 50 m/min, fn 0,1 mm/diente, ap 1 mm.

Procedimiento : Corte continuamente durante 30 minutos y mida el ancho de la banda de desgaste (VB).

Criterios de juicio : $VB \leq 0,3$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y composición química de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias, pruebas de dureza.

Prueba de durabilidad (frecuencia de muestreo 5%).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Marque el código (por ejemplo CR-10-R2-HSS) y el radio del filete.

Ejemplo: GB/T 6122-CR-10-R2-HSS.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Especificaciones de la aplicación

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (Vc) : 20-100 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,3 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,5-2 mm.

10.2 Requisitos de refrigeración

Fluido de corte recomendado, caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco está limitado a cargas ligeras y duración ≤ 10 min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de dimensiones

Diámetro (mm)	Radio de esquina (R, mm)	Longitud (mm)	Grado de tolerancia
6	1-2	50-80	h6
12	2-4	80-120	h7

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

25	4-10	100-150	h7
----	------	---------	----

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	50-80	0,1-0,2	0,5-1,5
Aleación de aluminio	80-100	0,2-0,3	0,5-2
hierro fundido	60-90	0,1-0,25	0,5-1,5

13. Índice

Fresa de esquina

Requisitos técnicos

Instrucciones de uso

Tolerancia dimensional

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 30 de junio de 2017.

Fecha de entrada en vigor : 1 de enero de 2018.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).

Idioma : chino, inglés.



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

Norma nacional china GB/T 1127-2023

Fresas para chaveteros de media caña

1. Alcance

Esta norma especifica el tamaño, la forma, los requisitos de fabricación, las especificaciones de rendimiento y las condiciones de uso de las fresas para chaveteros semicirculares (fresas especiales para el mecanizado de chaveteros semicirculares). Esta norma se aplica a las fresas para chaveteros semicirculares fabricadas en acero rápido (HSS) o carburo cementado (WC), que se utilizan principalmente para el mecanizado de chaveteros en piezas de transmisión mecánica (como ejes y cubos), y no es adecuada para herramientas no cortantes ni para aplicaciones con chaveteros no semicirculares.

1.1 Ámbito de aplicación

Para fresas de chavetero semicircular de acero rápido o carburo.

Cubre dimensiones, fabricación y requisitos de uso.

1.2 Exclusiones

Herramientas que no cortan.

Fresa para mecanizado de chaveteros no semicirculares.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 5231-2019, *Herramientas de corte — Condiciones técnicas generales*.

GB/T 16665-2017, *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba*.

ISO 3338-1:2012, *Fresas para chaveteros — Parte 1: Dimensiones generales*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa de chavetero de media caña

Una fresa con un filo de corte semicircular que se utiliza para mecanizar una ranura para chaveta semicircular para acomodar una chaveta semicircular.

3.2 Ancho de la ranura de la llave

El ancho de la porción de corte de una fresa para chavetero semicircular coincide con el tamaño real del chavetero.

3.3 Condiciones de aplicación

Parámetros de corte y requisitos ambientales de las fresas de chavetero semicircular durante el mecanizado.

4. Símbolos y abreviaturas

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

W : Ancho de la ranura de la llave (mm).

d : Diámetro (mm).

l : Longitud total (mm).

HSS : Acero de alta velocidad.

WC : Carburo de tungsteno.

5. Requisitos técnicos

5.1 Dimensiones y tolerancias

Rango de diámetro : 4 mm a 25 mm.

Ancho de chavetero (W) : 1 mm a 8 mm (valores estándar: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 mm).

Rango de longitud : 40 mm a 120 mm.

Tolerancia : diámetro h6 (4-10 mm) o h7 (12-25 mm), ancho $\pm 0,02$ mm.

5.2 Requisitos de material

Acero de alta velocidad (HSS) : Dureza HRC 62-66, resistencia al calor $\leq 600^{\circ}\text{C}$.

Carburo cementado (WC) : Dureza HV 1200-1800, tenacidad a la fractura $K_{IC} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Recubrimiento : TiN o AlTiN, espesor 1-3 μm .

5.3 Parámetros geométricos

Radio del filo de corte : Coincide con el ancho de la chaveta, tolerancia $\pm 0,01$ mm.

Ángulo de hélice : 10° - 20° (ajustado según el diámetro).

Rugosidad superficial : $R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$ (parte de corte), $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ (vástago).

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación del material

Acero de alta velocidad: forjado o laminado, recocido.

Carburo cementado: pulvimetalurgia, presión de prensado 150-200 MPa.

6.2 Flujo de procesamiento

Mecanizado de desbaste : torneado o fresado.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia de ancho de chavetero $\pm 0,02$ mm.

Tratamiento térmico : Temple (HSS) o sinterización (WC), temperatura 1200 - 1450°C .

6.3 Recubrimiento

Proceso PVD, temperatura 450 - 500°C , resistencia de unión > 70 MPa.

7. Métodos de prueba

7.1 Dimensiones y tolerancias

Herramientas : Máquina de medición de coordenadas.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

Norma de referencia : Según GB/T 5231.

7.2 Prueba de dureza

Herramientas : Probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

Precisión : ± 20 HV.

Norma de referencia : Según GB/T 16665.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3 Prueba de durabilidad

Condiciones : Acero (HB 200), Vc 40 m/min, fn 0,1 mm/diente, ap 1 mm.

Procedimiento : Corte continuamente durante 30 minutos y mida el ancho de la banda de desgaste (VB).

Criterios de juicio : $VB \leq 0,3$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y composición química de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias, pruebas de dureza.

Prueba de durabilidad (frecuencia de muestreo 5%).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Marque el código (por ejemplo, HK-6-W2-HSS) y el ancho de la chaveta.

Ejemplo: GB/T 1127-HK-6-W2-HSS.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Especificaciones de la aplicación

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (Vc) : 20-80 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,2 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,5-1,5 mm.

10.2 Requisitos de refrigeración

Fluido de corte recomendado, caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco está limitado a cargas ligeras y duración ≤ 10 min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de dimensiones

Diámetro (mm)	Ancho de chavetero (W, mm)	Longitud (mm)	Grado de tolerancia
4	1-2	40-60	h6
10	2-4	60-90	h6

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

20	4-8	90-120	h7
----	-----	--------	----

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	40-60	0,05-0,15	0,5-1
Aleación de aluminio	60-80	0,1-0,2	0,5-1,5
hierro fundido	50-70	0,05-0,15	0,5-1

13. Índice

- Fresa de chavetero de media caña
- Requisitos técnicos
- Instrucciones de uso
- Tolerancia dimensional

14. Información de publicación

- Fecha de lanzamiento : 15 de junio de 2023.
- Fecha de entrada en vigor : 1 de enero de 2024.
- Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).
- Idioma : chino, inglés.



Norma nacional china GB/T 20773-2006

GB/T 20773-2006 -

Fresas para matrices y moldes

1. Alcance

Esta norma especifica el tamaño, la forma, los requisitos de fabricación, las especificaciones de rendimiento y las condiciones de uso de las fresas para moldes (fresas especialmente utilizadas para el procesamiento de moldes y matrices). Esta norma se aplica a las fresas para moldes integrales o indexables de acero rápido (HSS) o carburo cementado (WC), que se utilizan principalmente para la fabricación y el acabado de moldes de precisión, y no es adecuada para herramientas que no sean de corte ni para fines de procesamiento que no sean de moldes.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para fresas de moldes fabricadas en acero de alta velocidad o carburo.

Cubre dimensiones, fabricación y requisitos de uso.

1.2 Exclusiones

Herramientas que no cortan.

Fresas no destinadas al procesamiento de moldes.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 5231-2019, *Herramientas de corte — Condiciones técnicas generales*.

GB/T 16665-2017, *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba*.

ISO 5609:1999, *Mangos de herramientas con cono 7/24 para cambios automáticos de herramientas*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa para matrices y moldes

Fresas diseñadas para el mecanizado de moldes y matrices con alta precisión y geometrías complejas.

3.2 Número de dientes

La cantidad de filos de corte de las fresas de molde afecta la eficiencia del procesamiento y la calidad de la superficie.

3.3 Condiciones de aplicación

Parámetros de corte y requisitos ambientales de las fresas de moldes durante el procesamiento.

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro (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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

L : Longitud total (mm).

Z : Número de dientes.

HSS : Acero de alta velocidad.

WC : Carburo de tungsteno.

5. Requisitos técnicos

5.1 Dimensiones y tolerancias

Rango de diámetro : 3 mm a 20 mm.

Rango de longitud : 50 mm a 150 mm.

Tolerancia : diámetro h6 (3-10 mm) o h7 (12-20 mm), longitud $\pm 0,2$ mm.

Número de cuchillas (Z) : 2-6 (ajustable según diámetro).

5.2 Requisitos de material

Acero de alta velocidad (HSS) : Dureza HRC 62-66, resistencia al calor $\leq 600^{\circ}\text{C}$.

Carburo cementado (WC) : Dureza HV 1300-1800, tenacidad a la fractura $K_{IC} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Recubrimiento : TiN, TiAlN o AlCrN, espesor 1-3 μm .

5.3 Parámetros geométricos

Ángulo de deflexión principal : 5° - 15° .

Ángulo de hélice : 20° - 40° (ajustado según el material procesado).

Rugosidad superficial : $R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$ (parte de corte), $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ (vástago).

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación del material

Acero de alta velocidad: forjado o laminado, recocido.

Carburo cementado: pulvimetalurgia, presión de prensado 150-200 MPa.

6.2 Flujo de procesamiento

Mecanizado de desbaste : torneado o fresado.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia $\pm 0,01$ mm.

Tratamiento térmico : Temple (HSS) o sinterización (WC), temperatura 1200-1450 $^{\circ}\text{C}$.

6.3 Recubrimiento

Proceso PVD, temperatura 450-500 $^{\circ}\text{C}$, resistencia de unión > 70 MPa.

7. Métodos de prueba

7.1 Dimensiones y tolerancias

Herramientas : Máquina de medición de coordenadas.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

Norma de referencia : Según GB/T 5231.

7.2 Prueba de dureza

Herramientas : Probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

Precisión : ± 20 HV.

Norma de referencia : Según GB/T 16665.

7.3 Prueba de durabilidad

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

Condiciones : Acero (HB 200), Vc 60 m/min, fn 0,1 mm/diente, ap 0,5 mm.

Procedimiento : Corte continuamente durante 30 minutos y mida el ancho de la banda de desgaste (VB).

Criterios de juicio : $VB \leq 0,3$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y composición química de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias, pruebas de dureza.

Prueba de durabilidad (frecuencia de muestreo 5%).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Marque el código (por ejemplo MD-6-Z4-WC) y el número de hojas.

Ejemplo: GB/T 20773-MD-6-Z4-WC.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Especificaciones de la aplicación

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (Vc) : 30-120 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,2 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,2-1 mm.

10.2 Requisitos de refrigeración

Fluido de corte recomendado, caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco está limitado a cargas ligeras y duración ≤ 10 min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su manipulación.

Evite cortar con sobrecarga para evitar que la herramienta se astille.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de dimensiones

Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Número de palas (Z)	Grado de tolerancia
3	50-80	2-3	h6
10	80-120	3-4	h6
20	100-150	4-6	h7

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

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	60-80	0,05-0,15	0,2-0,5
Aleación de aluminio	80-120	0,1-0,2	0,2-1
Acero para moldes	50-70	0,05-0,1	0,2-0,5

13. Índice

Fresa de molde

Requisitos técnicos

Instrucciones de uso

Tolerancia dimensional

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 1 de junio de 2006.

Fecha de entrada en vigor : 1 de enero de 2007.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC).

Idioma : chino, inglés.



Norma nacional china GB/T 14301-2008

Fresas de hoja de sierra de carburo sólido

1. Alcance

Esta norma especifica el tamaño, la forma, los requisitos de fabricación, las especificaciones de rendimiento y las condiciones de uso de las fresas de carburo sólido para hojas de sierra (fresas de carburo sólido con filos dentados). Esta norma se aplica a las fresas de carburo sólido para hojas de sierra, utilizadas principalmente para ranurar, cortar y recortar materiales metálicos y no metálicos, y no es aplicable a herramientas no cortantes ni a estructuras de carburo sólido.

1.1 Ámbito de aplicación

Adecuado para fresas de hojas de sierra fabricadas en carburo macizo.

Cubre dimensiones, fabricación y requisitos de uso.

1.2 Exclusiones

Herramientas que no cortan.

Fresa con estructura de carburo no macizo.

2. Referencias normativas

Los documentos que se enumeran a continuación forman parte integral de esta norma mediante su referencia en ella. Solo la versión en una fecha específica se aplica a esta norma. Cualquier revisión o enmienda posterior no se aplica a esta norma a menos que se indique lo contrario.

GB/T 5231-2019, *Herramientas de corte — Condiciones técnicas generales*.

GB/T 16665-2017, *Metales duros: requisitos técnicos y métodos de prueba*.

ISO 6987:2012, *Insertos indexables de material duro con esquinas redondeadas*.

Nota : La última versión del documento referenciado puede actualizarse tras su publicación. Se recomienda consultar la Plataforma Nacional de Información Estándar para obtener la información más reciente.

3. Términos y definiciones

A los efectos de esta norma, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 Fresa de hoja de sierra de carburo sólido

Fresas fabricadas íntegramente en metal duro con filos dentados para ranurado y arranque de viruta.

3.2 Número de dientes

La cantidad de dientes de corte en una fresa de hoja de sierra afecta la eficiencia del procesamiento y la calidad de la superficie.

3.3 Condiciones de aplicación

Parámetros de corte y requisitos ambientales de las fresas de hojas de sierra durante el procesamiento.

4. Símbolos y abreviaturas

d : Diámetro (mm).

l : Longitud total (mm).

Z : Número de dientes.

WC : Carburo de tungsteno.

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

5. Requisitos técnicos

5.1 Dimensiones y tolerancias

Rango de diámetro : 2 mm a 25 mm.

Rango de espesor : 0,5 mm a 3 mm.

Rango de longitud : 40 mm a 120 mm.

Tolerancia : diámetro h6 (2-10 mm) o h7 (12-25 mm), espesor $\pm 0,02$ mm.

Número de dientes (Z) : 4-20 (ajustado según el diámetro).

5.2 Requisitos de material

Carburo cementado (WC) : Dureza HV 1300-1800, tenacidad a la fractura $K_{IC} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Recubrimiento : TiN, TiAlN o AlCrN, espesor 1-3 μm .

5.3 Parámetros geométricos

Ángulo del diente : 5° - 15° (ajustado según el material de procesamiento).

Ángulo de hélice : 0° - 30° (dientes rectos o helicoidales disponibles).

Rugosidad superficial : $R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$ (parte de corte), $R_a \leq 0,8 \mu\text{m}$ (vástago).

6. Proceso de fabricación

6.1 Preparación del material

Carburo cementado: pulvimetalurgia, presión de prensado 150-200 MPa.

6.2 Flujo de procesamiento

Mecanizado de desbaste : torneado o fresado.

Acabado : Rectificado CNC, tolerancia del perfil dentado $\pm 0,01$ mm.

Tratamiento térmico : Sinterización, temperatura 1350-1450°C.

6.3 Recubrimiento

Proceso PVD, temperatura 450-500°C, resistencia de unión > 70 MPa.

7. Métodos de prueba

7.1 Dimensiones y tolerancias

Herramientas : Máquina de medición de coordenadas.

Precisión : $\pm 0,01$ mm.

Norma de referencia : Según GB/T 5231.

7.2 Prueba de dureza

Herramientas : Probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

Precisión : ± 20 HV.

Norma de referencia : Según GB/T 16665.

7.3 Prueba de durabilidad

Condiciones : Acero (HB 200), V_c 80 m/min, f_n 0,1 mm/diente, a_p 0,5 mm.

Procedimiento : Corte continuamente durante 30 minutos y mida el ancho de la banda de desgaste (VB).

Estándar de juicio : $VB \leq 0,3$ mm.

Norma de referencia : Según ISO 8688-1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Reglas de inspección

8.1 Inspección de fábrica

Inspección de dureza y composición química de la materia prima.

8.2 Inspección de fábrica

Dimensiones, tolerancias, pruebas de dureza.

Prueba de durabilidad (frecuencia de muestreo 5%).

9. Marcado y embalaje

9.1 Logotipo

Marque el código (por ejemplo SC-10-Z10-WC) y el número de dientes.

Ejemplo: GB/T 14301-SC-10-Z10-WC.

9.2 Embalaje

Utilice un embalaje a prueba de humedad y golpes.

Viene con certificado de fabricación y prueba.

10. Especificaciones de la aplicación

10.1 Datos de corte

Velocidad de corte (Vc) : 50-150 m/min (ajustable según el material).

Velocidad de avance (fn) : 0,05-0,2 mm/diente.

Profundidad de corte : 0,2-1 mm.

10.2 Requisitos de refrigeración

Fluido de corte recomendado, caudal ≥ 10 L/min.

El corte en seco está limitado a cargas ligeras y duración ≤ 10 min.

11. Requisitos de seguridad

Utilice gafas y guantes protectores durante su trabajo.

Evite sobrecargar y cortar para evitar que la herramienta se astille.

12. Anexo

Apéndice A (Informativo) - Tabla de referencia de dimensiones

Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Número de dientes (Z)	Grado de tolerancia
2	0,5-1	40-60	4-6	h6
10	1-2	60-90	8-12	h6
25	2-3	90-120	12-20	h7

Apéndice B (Normativo) - Tabla de Condiciones de Uso

Material de la pieza de trabajo	Velocidad de corte (Vc, m/min)	Velocidad de avance (fn, mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Acero (HB 200)	80-120	0,05-0,15	0,2-0,5
Aleación de aluminio	100-150	0,1-0,2	0,2-1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materiales de madera	50-80	0,05-0,1	0,2-0,5
----------------------	-------	----------	---------

13. Índice

Fresa de hoja de sierra de carburo sólido Requisitos técnicos Instrucciones de uso Tolerancia dimensional

14. Información de publicación

Fecha de lanzamiento : 1 de junio de 2008. Fecha de entrada en vigor : 1 de enero de 2009.

Mantenido por : Administración de Normalización de China (SAC). Idioma : chino e inglés.

apéndice:

Introducción de la matriz de estampado de carburo

La matriz de estampación de carburo cementado es una herramienta de moldeo de alto rendimiento. Utiliza carburo de tungsteno (WC) como material principal y se fabrica mediante tecnología avanzada de pulvimetalurgia. Está diseñada para el conformado y estampado de metales de alta precisión y resistencia. Gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste, a altas temperaturas y a la corrosión, las matrices de estampación de carburo cementado se utilizan ampliamente en la fabricación de automóviles, la electrónica, la industria aeroespacial, productos de hardware, equipos médicos y otras industrias. Permite completar eficientemente procesos como troquelado, estirado, doblado y conformado, mejorando significativamente la vida útil del molde, la precisión del procesamiento y la eficiencia de la producción. Este artículo presenta exhaustivamente el rendimiento y el valor de las matrices de estampación de carburo cementado desde la perspectiva de las propiedades del material, los tipos e indicadores técnicos, los procesos de fabricación, los usos y escenarios de aplicación, las ventajas del producto, los desafíos técnicos y las líneas de mejora.

1. Composición del material y características de las matrices de estampación de carburo cementado

1.1 Composición del material

La formulación de las matrices de estampación de carburo cementado está diseñada con precisión para lograr el equilibrio óptimo entre dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión:

Fase dura

El carburo de tungsteno (WC, 80-95%) proporciona una dureza y resistencia al desgaste ultraaltas. Algunas fórmulas están dopadas con carburo de titanio (TiC, 15%) o carburo de tántalo (TaC, 0,52%) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación.

Fase adhesiva

El cobalto (Co, 515%) mejora la tenacidad y la resistencia al impacto; el níquel (Ni, 510%) se utiliza en fórmulas resistentes a la corrosión, adecuadas para ambientes ácidos o húmedos.

aditivo

Se utilizan trazas de cromo (Cr, 0,11 %), vanadio (V, 0,05 0,5 %) y molibdeno (Mo, 0,10 0,8 %) para refinar los granos, inhibir su crecimiento y mejorar la resistencia a la corrosión y a la oxidación a alta temperatura.

1.2 Características principales

El rendimiento de las matrices de estampación de carburo cementado proviene de su microestructura optimizada y de su formulación del material:

dureza

HRA 8692 (HV 12001700), muy superior al acero de alta velocidad (HSS, HRC 6065), es adecuado para estampar materiales con una dureza de hasta HRC 50.

Tenacidad a la fractura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.510 MPa·m^{1/2}, que es mejor que el carburo cementado ordinario (57 MPa·m^{1/2}), y la resistencia a la fractura por impacto se mejora en un 30%.

Resistencia al desgaste

La tasa de desgaste es de 0,010,02 mm³/N·m (ASTM G65), que es 1,52 veces menor que la del acero para matrices con alto contenido de cromo, y la vida útil de la matriz se extiende 310 veces.

Resistencia a la compresión

4000-6000 MPa, capaz de soportar alta presión de impacto (presión de impacto máxima hasta 2000 kN).

densidad

13.815,2 g/cm³, peso moderado, adecuado para procesamiento de alta precisión.

Resistencia a la corrosión

En un entorno neutro o ligeramente ácido (pH 49), la tasa de corrosión es <0,07 mm/año; las formulaciones o recubrimientos a base de níquel pueden soportar un pH 210 con una tasa de corrosión de <0,05 mm/año.

Resistencia a la temperatura

La temperatura de funcionamiento oscila entre 20 °C y 800 °C. La fórmula del recubrimiento soporta una temperatura instantánea de 1000 °C, lo que lo hace adecuado para el estampado a alta temperatura.

1.3 Ventajas de la microestructura

La matriz de estampado de carburo cementado adopta una estructura de grano fino (0,52 micrones) o de grano ultrafino (0,20,5 micrones), lo que aporta las siguientes ventajas:

Alta dureza y resistencia: los granos pequeños aumentan la densidad del límite del grano, siguen el efecto Hall-Petch y mejoran la resistencia al desgaste.

Excelente tenacidad: el refinamiento del grano dispersa la tensión, reduce el riesgo de propagación de grietas y mejora la resistencia al impacto en un 2030%.

Estabilidad de la superficie: reduce el desgaste, mantiene la superficie del molde lisa y extiende la precisión y la vida útil del procesamiento.

2. Tipos e indicadores técnicos

Existen numerosos tipos de matrices de estampación de carburo cementado, que abarcan diversas funciones y usos. A continuación, se presenta una clasificación completa, indicadores técnicos y una tabla de usos (con referencia a normas ISO, especificaciones ASTM y datos del fabricante).

2.1 Tipos y usos de las matrices de estampación de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Troquel de corte	Se utiliza para	Fabricación de automóviles (paneles	Tamaño 50300 mm,
Troquel de corte	perforar láminas	de carrocería), electrónica (bastidores	espesor 1050 mm, HRA

	y cortar formas o agujeros precisos.	de placas de circuitos), hardware (juntas metálicas), punzonado de láminas de acero, acero inoxidable, aleaciones de aluminio.	8790, vida útil 502 millones de punzonados.
matriz de estiramiento Troquel de dibujo	Se utiliza para estirar chapa metálica en copas profundas o formas complejas.	Fabricación de automóviles (tanques de combustible, puertas de automóviles), electrodomésticos (carcasas metálicas), contenedores (latas de aluminio), trefilado de acero bajo en carbono, acero inoxidable, aleaciones de cobre.	Diámetro 20200 mm, profundidad 20100 mm, HRA 8689, vida útil 301,5 millones de punzonados.
Matriz doblado Matriz doblado	Se utiliza para doblar láminas en ángulos o formas específicos.	Fabricación de automóviles (soportes), construcción (estructuras de acero), electrónica (chasis), placas de acero dobladas, placas de aluminio, acero inoxidable.	Tamaño 50400 mm, ángulo 15°180°, HRA 8689, vida útil 502 millones de punzonados.
Troquel de conformación Troquel de conformación	Se utiliza para formar formas tridimensionales complejas.	Aeroespacial (piezas de aleación de titanio), automotriz (paneles de instrumentos), médico (carcasas), conformación de acero inoxidable, aleaciones de aluminio y aleaciones de magnesio.	Tamaño 100500 mm, HRA 8790, vida útil 301,5 millones de punzonados.
Molde compuesto Troquel compuesto	Integre múltiples procesos para completar múltiples procesos a la vez.	Electrónica (conectores), automóviles (piezas pequeñas), hardware (juntas complejas), procesamiento de placas de acero, aleaciones de cobre y aleaciones de aluminio.	Tamaño 50200 mm, HRA 8790, vida útil 502 millones de punzonados.
Troquel progresivo Troquel progresivo	Procesamiento continuo, multiestación, adecuado para producción en masa.	Fabricación de automóviles (sujeciones), electrónica (terminales), electrodomésticos (accesorios metálicos), punzonado, doblado, conformado de placas de acero, acero inoxidable.	Tamaño 2001000 mm, HRA 8790, vida útil 1003 millones de punzonados.
Matriz de punzonado fino Troquel de corte fino	Perforación de alta precisión, bordes lisos sin rebabas.	Fabricación de automóviles (engranajes, juntas de cojinetes), electrónica (piezas de precisión), industria médica (piezas de equipos), placas de acero de corte fino, acero	Tamaño 50200 mm, tolerancia $\pm 0,005$ mm, HRA 8992, vida útil 502 millones de punzonados.

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

		inoxidable.	
matriz de extrusión matriz de extrusión	Se utiliza para la extrusión de metal, formando barras, tubos o piezas con formas especiales.	Aeroespacial (perfiles de aluminio), construcción (marcos de puertas y ventanas), automóviles (accesorios para tuberías), aleaciones de aluminio extruido, aleaciones de cobre, aleaciones de magnesio.	Diámetro 20100 mm, HRA 8689, vida útil 201 millones de punzonados.
Troquel de encabezado frío Troquel de encabezado frío	Se utiliza para el estampación en frío de elementos de fijación como pernos y tuercas.	Fabricación de automóviles (pernos), construcción (fijaciones), maquinaria (remaches), estampación en frío de acero dulce, acero inoxidable, cobre.	Diámetro 1050 mm, HRA 8790, vida útil 502 millones de punzonados.
Matriz de embutición profunda Matriz de embutición profunda	Especialmente diseñado para embutición ultraprofunda y procesamiento de piezas con alta relación de aspecto.	Fabricación de automóviles (filtros de combustible), electrodomésticos (ollas de acero inoxidable), industria médica (latas de metal), acero inoxidable embutido, aleación de aluminio, cobre.	Diámetro 20150 mm, profundidad 50200 mm, HRA 8689, vida útil 201 millones de punzonados.
matriz de formación de polvo Matriz de formación de polvo	Se utiliza para prensar y formar piezas de pulvimetalurgia.	Automóviles (engranajes), electrónica (núcleos magnéticos), aviación (piezas ligeras), polvo de hierro prensado, polvo de cobre y polvo de carburo cementado.	Tamaño 50200 mm, HRA 8992, vida útil 502 millones de punzonados.

2.2 Indicadores técnicos

tamaño

Largo/ancho: 50-1000 mm (comúnmente usado 50-300 mm).

Espesor: 10100 mm (comúnmente 1050 mm).

Tolerancia: $\pm 0,005$ mm (matriz de estampación fina) a $\pm 0,02$ mm (matriz de uso general).

peso

0,150 kg por pieza, adecuado para punzonadoras o líneas de producción automatizadas.

Rugosidad de la superficie

Ra 0.10.8 μ m, reduciendo la adherencia y la fricción de la pieza de trabajo.

Grado de dureza

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

Norma: HRA 8689 (estampado de propósito general).

Alta dureza: HRA 8992 (corte fino, conformación de polvo).

Fórmula del material

WCCo (uso general): Contenido de cobalto 612%, HRA 8791, alta tenacidad.

WCNi (tipo resistente a la corrosión): contenido de níquel 510%, resistente a entornos ácidos y alcalinos.

WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 800 a 1000 °C.

Parámetros de estampación

Fuerza de punzonado: 100-2000 kN (dependiendo del tipo de molde).

Velocidad de punzonado: 501000 veces/minuto (máximo para matriz progresiva).

Espesor de la pieza de trabajo: 0,110 mm (normalmente se utiliza 0,55 mm).

Tratamiento de superficies

Pulido: Ra 0,050,4 µm, reduce el calor por fricción.

revestimiento

TiN: Dureza HV 20002500, resistencia al desgaste aumentada 2 veces.

TiAlN: Resistente a temperaturas de hasta 900°C, adecuado para estampación a alta temperatura.

AlCrSi/TiN: resistencia a temperaturas de 1000 °C, vida útil prolongada 3 veces.

DLC: Coeficiente de fricción 0.10.2, adecuado para aleaciones de aluminio y aleaciones de cobre.

Cumplimiento de normas

Sistema de gestión de calidad ISO 9001.

ISO 8020 (especificaciones de punzones y matrices), ASTM B771 (prueba de desgaste), ISO 3878 (prueba de dureza).

3. Proceso de fabricación de matrices de estampación de carburo cementado

La fabricación de matrices de estampación de carburo cementado adopta tecnología avanzada de metalurgia de polvos para garantizar que las propiedades del material, la precisión geométrica y la calidad de la superficie cumplan con los más altos estándares.

3.1 Preparación de la materia prima

Se selecciona carburo de tungsteno de alta pureza (WC, pureza >99,95%), cobalto (Co, pureza >99,9%) y aditivos (como TiC, TaC, Cr). El polvo se mezcla mediante un proceso de molienda húmeda (el medio es alcohol o agua desionizada, con molienda de bolas durante 24-72 horas), y el tamaño promedio de partícula se controla a 0,21 micras. Se añade VC o Cr₃C₂ (0,10,5%) como inhibidor de grano para prevenir el crecimiento de grano durante la sinterización a alta temperatura.

3.2 Formación

Prensado isostático en frío (CIP): El polvo se prensa en un cuerpo verde a una presión de 200-400 kg, con una densidad del 50-60% del valor teórico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moldeo de precisión: Se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia $\pm 0,1$ mm) para moldear cavidades o punzones complejos.

Secado por aspersión: prepara partículas fluidas y mejora la uniformidad y resistencia 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%.

Control de enfriamiento: Enfriamiento progresivo (1020°C/min) para evitar microfisuras causadas por estrés térmico.

3.4 Posprocesamiento

Rectificado de precisión: utilice una muela de diamante o una herramienta CBN para procesar con una tolerancia de $\pm 0,005$ mm y una rugosidad superficial de $Ra 0,10,8 \mu m$.

Mecanizado por electroerosión (EDM): Procesamiento de cavidades de molde complejas con una precisión de $\pm 0,01$ mm, adecuado para matrices de estampación fina y matrices progresivas.

Refuerzo de superficies: arenado, pulido o recubrimiento (TiN, TiAlN, AlCrSi/TiN, DLC) para mejorar la resistencia al desgaste y al calor.

Inspección de calidad:

Prueba de dureza: HRA/HV, error $\pm 0,5$.

Análisis microestructural: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar el tamaño de grano ($0,22 \mu m$).

Medición de dimensiones: instrumento de medición tridimensional, precisión $\pm 0,002$ mm.

Pruebas no destructivas: Pruebas ultrasónicas para comprobar defectos internos.

4. Usos y escenarios de aplicación de las matrices de estampación de carburo cementado

Las matrices de estampación de carburo se utilizan ampliamente en los siguientes campos y escenarios debido a su alta precisión, resistencia al desgaste y larga vida útil:

4.1 Fabricación de automóviles

Matriz de punzonado de carburo

Perforación de paneles de carrocería y soportes, procesamiento de acero con bajo contenido de carbono y acero inoxidable, precisión $\pm 0,02$ mm, vida útil de 502 millones de veces, utilizado en la producción de puertas de automóviles y capós de motor.

Matriz de trefilado de carburo

Tanque de combustible estirable, panel de instrumentos, procesamiento de aleación de aluminio, acero inoxidable, profundidad 50200 mm, vida útil 301,5 millones de veces, adecuado para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

producción en masa.

Matrices de carburo para estampación en frío

Pernos y tuercas formados, procesados con acero con bajo contenido de carbono, vida útil de 502 millones de veces, utilizados en la fabricación de sujetadores.

4.2 Electrónica y electrodomésticos

Matriz progresiva de carburo

Procesamiento de conectores y terminales, perforación de aleación de cobre y acero inoxidable, precisión $\pm 0,01$ mm, vida útil 100-300 millones de veces, adecuado para estampado de alta velocidad.

Matriz de punzonado de precisión de carburo

Produce marcos para circuitos impresos, piezas de precisión y procesa placas de acero con una rugosidad de borde de $Ra\ 0,2\ \mu m$ y una vida útil de 502 millones de veces. Se aplica en la fabricación de teléfonos móviles y ordenadores.

Matriz de conformación de polvo de carburo cementado

Prensado de núcleos magnéticos, componentes electrónicos, procesamiento de polvo de hierro, polvo de cobre, vida útil de 502 millones de veces, adecuado para la producción de piezas pequeñas.

4.3 Aeroespacial

Matriz de conformado de carburo

Formación de piezas de aleación de titanio y aleación de aluminio, como conectores de ala, con una precisión de $\pm 0,01$ mm, una vida útil de 301,5 millones de veces y una resistencia a la temperatura de $800\ ^\circ C$.

Matriz de extrusión de carburo

Extrusión de perfiles ligeros, procesamiento de aleación de magnesio y aleación de aluminio, con una vida útil de 201 millones de veces, utilizado en piezas estructurales del fuselaje.

Matrices compuestas de carburo cementado

Procesamiento de conectores complejos, punzonado + estiramiento de aleación de titanio, vida útil de 502 millones de veces, adecuado para piezas de alta precisión.

4.4 Hardware y construcción

Matriz de doblado de carburo

Doblado de placas de acero y placas de aluminio, procesamiento de soportes de construcción y accesorios de metal, con una precisión de ángulo de $\pm 0,5^\circ$ y una vida útil de 502 millones de veces, se utiliza en la fabricación de estructuras de acero, puertas y ventanas.

Matriz de punzonado de carburo

Perforación de juntas y sujetadores de metal, procesamiento de acero inoxidable y cobre, con una vida útil de 502 millones de veces, adecuado para la producción de productos de hardware.

Matriz de extrusión de carburo

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

Tubos y perfiles extruidos, aleación de aluminio procesado, vida útil de 201 millones de veces, utilizado en la decoración de edificios.

4.5 Dispositivos médicos

Matriz de punzonado de precisión de carburo

Procesamiento de piezas de instrumentos quirúrgicos, perforación de acero inoxidable y aleaciones de titanio, precisión de $\pm 0,005$ mm, vida útil de 502 millones de veces, utilizado en la fabricación de tornillos y implantes óseos.

Matriz de conformado de carburo

Formación de carcasa médica, procesamiento de aleación de aluminio, acero inoxidable, rugosidad de superficie Ra 0,2 μm , vida útil 301,5 millones de veces, adecuado para la producción de contenedores médicos.

Matrices de carburo para estampación en frío

Microfijadores formados, procesados a partir de acero inoxidable, con una vida útil de 502 millones de ciclos, utilizados en el ensamblaje de dispositivos médicos.

5. Ventajas de las matrices de estampación de carburo

Las matrices de estampación de carburo toman la delantera en la industria de las matrices gracias a su excelente rendimiento:

Vida útil ultralarga: la resistencia al desgaste y la dureza prolongan la vida útil 310 veces y reducen el costo de estampado único en un 3060%.

Procesamiento eficiente: admite estampado de alta velocidad (501.000 veces/minuto) y alta fuerza de punzonado (1.002.000 kN), y aumenta la eficiencia de producción en un 2050%.

Alta precisión: precisión de procesamiento $\pm 0,005$ mm (matriz de punzonado fino), rugosidad de la superficie Ra 0,10,8 μm , cumpliendo con los altos requisitos de la aviación y la electrónica.

Personalización flexible: Diversos tipos (punzonado, embutición, progresivo, etc.), tamaños (501000 mm) y recubrimientos (TiN, TiAlN) para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Adaptabilidad ambiental: resistencia a altas temperaturas (800-1000°C), resistencia a la corrosión (pH 210), adaptable a ambientes secos, húmedos y químicos.

Fabricación ecológica: La alta durabilidad reduce los cambios de molde y el desperdicio, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible.

6. Desafíos técnicos y direcciones de mejora de las matrices de estampación de carburo cementado

6.1 Desafíos técnicos

Dificultad de procesamiento: El carburo cementado presenta una dureza elevada (HRA 8692), lo que impone exigencias extremadamente altas a los equipos y herramientas de procesamiento. Las muelas de diamante o las herramientas de CBN se desgastan rápidamente y es difícil estabilizar la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

precisión de procesamiento (tolerancia $\leq \pm 0,005$ mm).

Riesgo de fragilidad: Los materiales de alta dureza pueden producir microfisuras o roturas bajo alta presión de impacto (>2000 kN) o un diseño inadecuado, lo que afectará la vida útil.

Problemas de gestión térmica: el estampado a alta velocidad (>500 veces/minuto) genera calor por fricción, lo que puede provocar el ablandamiento de la superficie del molde o el desprendimiento del revestimiento, especialmente en condiciones de alta temperatura.

Adaptabilidad a piezas complejas: Las placas delgadas ($<0,5$ mm), el acero de alta resistencia (HRC >50) o los materiales compuestos tienen altos requisitos en cuanto a la geometría del molde y el tratamiento de la superficie, y son propensos al desgaste o al atascamiento.

Condiciones de trabajo extremas: bajo temperaturas ultra altas (>1000 °C) o entornos fuertemente ácidos (pH <2), el rendimiento de los recubrimientos tradicionales y las fases de unión se deteriora y la vida útil se acorta entre un 50 y un 70 %.

6.2 Dirección de mejora técnica de matrices de estampación de carburo cementado

Tecnología de procesamiento avanzada: Desarrollar micromecanizado láser y mecanizado por electrochispa, con precisión aumentada a $\pm 0,003$ mm, desgaste de la herramienta reducido en un 30%, adecuado para cavidades de molde complejas (como matrices progresivas y matrices de estampación fina).

Diseño de tenacidad mejorada: al adoptar una estructura de gradiente (HRA 9092 de alta dureza en la superficie, tenacidad a la fractura de alta tenacidad >10 MPa·m^{1/2} en el interior) o una fase de unión compuesta de CoNi, la resistencia al impacto aumenta entre un 20 y un 30 % y se reduce el riesgo de agrietamiento.

Gestión térmica eficiente: optimice los canales de enfriamiento del molde (presión del refrigerante 510 MPa, caudal 310 L/min) para reducir la temperatura de operación de 100 a 150 °C; desarrolle recubrimientos adaptables (como TiAlN/AlCrSi, resistencia a la temperatura de 1100 °C) para reducir el ablandamiento térmico.

Optimización de piezas complejas: diseñar recubrimientos de baja fricción (como DLC, coeficiente de fricción 0,10,2) y optimizar la geometría de la cavidad (radio de esquina 0,10,5 mm) para reducir la adherencia y el desgaste de las placas delgadas; desarrollar moldes de incrustaciones de PCD (diamante policristalino) con dureza aumentada a HV 8000 y vida útil extendida 20 veces.

Adaptación a condiciones de trabajo extremas: Investigar y desarrollar recubrimientos nano multicapa (como AlCrSi/TiN, espesor 25 µm, dureza HV 3500) o materiales compuestos de matriz cerámica (WCSiC), con resistencia a la temperatura aumentada hasta 1200°C y tasa de corrosión por ácidos fuertes (pH 12) $<0,03$ mm/año.

Diseño inteligente: se utiliza IA para simular la fuerza de punzonado (error $<5\%$) y el comportamiento de desgaste, optimizar el ángulo de la cavidad (desviación $<0,5^\circ$) y el tratamiento de la superficie (rugosidad Ra $<0,1$ µm) y mejorar la estabilidad del procesamiento; se desarrollan moldes de autodiagnóstico para monitorear la temperatura y el desgaste en tiempo real, lo que extiende la vida útil en un 1020%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las matrices de estampación de carburo se han convertido en las herramientas de moldeo preferidas en los sectores de la fabricación de automóviles, electrodomésticos, aeroespacial, productos de hardware, equipos médicos, etc., gracias a su alta dureza (HRA 8692), excelente tenacidad ($6.510 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{2/3}$) y larga vida útil (203 millones de estampaciones). Su amplia variedad (matrices de punzonado, de embutición, progresivas, de punzonado fino, etc.) y sus precisas especificaciones (tolerancia $\pm 0,005 \text{ mm}$, tamaño 50-1000 mm) satisfacen diversas necesidades, desde el troquelado de chapa metálica hasta la embutición profunda. Los indicadores técnicos muestran que su vida útil es 310 veces superior a la de las matrices de acero de alta velocidad, la eficiencia de producción aumenta un 20-50 % y la precisión de procesamiento alcanza el nivel IT6/IT8.

Gracias a procesos avanzados de pulvimetalurgia y tecnologías de recubrimiento (como TiAlN y DLC), las matrices de estampación ofrecen un excelente rendimiento en entornos hostiles, como altas temperaturas (800-1000 °C) y corrosión (pH 210). En el futuro, mediante el procesamiento láser, la incrustación de PCD, el nanorrecubrimiento, la optimización con IA y el diseño inteligente, las matrices de estampación de carburo cementado mejorarán aún más su rendimiento y ampliarán sus aplicaciones, lo que contribuirá al desarrollo eficiente, preciso y sostenible de la industria global.



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

apéndice:

Introducción de la matriz de trefilado de carburo

Las matrices de trefilado de carburo son herramientas de alto rendimiento que utilizan carburo de tungsteno (WC) como material principal. Se fabrican mediante procesos avanzados de pulvimetalurgia y están diseñadas específicamente para el trefilado de alambre metálico. Con excelente dureza, resistencia al desgaste, a altas temperaturas y a la corrosión, las matrices de trefilado de carburo se utilizan ampliamente en la fabricación de alambres y cables, cuerdas de acero, resortes, guías médicas, alambres aeroespaciales y otros campos. Permiten trefilar eficientemente materiales metálicos como acero, cobre, aluminio y titanio, mejorando significativamente la calidad superficial, la precisión dimensional y la vida útil de la matriz. Este artículo presenta exhaustivamente el rendimiento y el valor de las matrices de trefilado de carburo desde la perspectiva de las propiedades del material, tipos e indicadores técnicos, procesos de fabricación, usos y escenarios de aplicación, ventajas del producto, desafíos técnicos y líneas de mejora.

1. Composición del material y características de las matrices de trefilado de carburo cementado

1.1 Composición del material de la matriz de trefilado de carburo cementado

La formulación de las matrices de trefilado de carburo está diseñada con precisión para lograr el mejor equilibrio entre dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión:

Fase dura

El carburo de tungsteno (WC, 85-95%) proporciona una dureza y una resistencia al desgaste ultraaltas. Algunas fórmulas están dopadas con carburo de titanio (TiC, 0,53%) o carburo de tántalo (TaC, 0,52%) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación.

Fase adhesiva

El cobalto (Co, 5,12%) mejora la tenacidad y la resistencia al impacto; el níquel (Ni, 5,10%) se utiliza en fórmulas resistentes a la corrosión, adecuadas para entornos ácidos o húmedos.

aditivo

Se utilizan trazas de cromo (Cr, 0,10,8 %), vanadio (V, 0,050,4 %) y molibdeno (Mo, 0,10,6 %) para refinar los granos, inhibir su crecimiento y mejorar la resistencia a la corrosión y a la oxidación a alta temperatura.

1.2 Características clave de las matrices de trefilado de carburo cementado

El rendimiento de las matrices de trefilado de carburo cementado proviene de su microestructura optimizada y de la formulación del material:

dureza

HRA 8892 (HV 14001800), que supera ampliamente al acero de alta velocidad (HSS, HRC 6065), es adecuado para materiales con dureza de tracción de hasta HRC 40.

Tenacidad a la fractura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.09.0 MPa·m^{1/2}, que es mejor que el carburo cementado ordinario (57 MPa·m^{1/2}), y la resistencia al crecimiento de grietas se mejora en un 25%.

Resistencia al desgaste

La tasa de desgaste es de 0,0080,015 mm³/N·m (ASTM G65), que es 1,52 veces menor que la del acero para matrices con alto contenido de cromo, y la vida útil de la matriz se extiende 515 veces.

Resistencia a la compresión

4500-6500 MPa, resistente a altas fuerzas de tracción (fuerza de tracción máxima hasta 500 kN).

densidad

14.015.0 g/cm³, peso moderado, adecuado para mecanizado de precisión.

Resistencia a la corrosión

En un entorno neutro o ligeramente ácido (pH 49), la tasa de corrosión es <0,05 mm/año; las formulaciones o recubrimientos a base de níquel pueden soportar un pH 210 con una tasa de corrosión de <0,03 mm/año.

Resistencia a la temperatura

La temperatura de funcionamiento es de 20 °C a 700 °C y la fórmula de recubrimiento puede soportar temperaturas instantáneas de 900 °C, lo que la hace adecuada para el trefilado de alambre a alta temperatura.

1.3 Ventajas de la microestructura de las matrices de trefilado de carburo cementado

La matriz de trefilado de carburo cementado adopta una estructura de grano ultrafino (0,20,5 micrones) o de grano fino (0,51 micrones), lo que aporta las siguientes ventajas:

Alta dureza y resistencia: los granos pequeños aumentan la densidad del límite del grano, siguen el efecto Hall-Petch y mejoran la resistencia al desgaste.

Excelente tenacidad: el refinamiento del grano dispersa la tensión, reduce el riesgo de propagación de grietas y mejora la resistencia al impacto en un 2030%.

Estabilidad de la superficie: reduce el desgaste, mantiene el orificio de la matriz liso y extiende la calidad de la superficie del alambre y la vida útil de la matriz.

2. Tipos e indicadores técnicos de matrices de trefilado de carburo cementado

Existen numerosos tipos de matrices de trefilado de carburo que cubren diferentes tipos de alambre y requisitos de trefilado. A continuación, se presenta una clasificación completa, indicadores técnicos y una tabla de uso (con referencia a normas ISO, especificaciones ASTM y datos del fabricante).

2.1 Tipos y usos de matrices de trefilado de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Matriz de trefilado	de Orificio de matriz redondo	de Alambres y cables (alambres de cobre y aluminio), cables de acero	Diámetro del orificio de la matriz 0,0110 mm, diámetro del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

alambre redondo Troquel de alambre redondo	estándar, adecuado para trefilado de alambre redondo.	(alambres de acero con alto contenido de carbono), resortes (cuerdas de piano), cobre, aluminio y acero extensibles.	cuerpo de la matriz 20100 mm, HRA 8892, vida útil de 500 a 2000 toneladas de alambre.
Matriz de trefilado de alambre de forma especial Troquel de alambre moldeado	Los orificios de matriz no circulares (como cuadrados, hexagonales y ovalados) se utilizan para alambres con formas especiales.	Electrónica (alambre plano), hardware (alambre de acero cuadrado), médico (alambre guía de forma especial), cobre trefilado, acero inoxidable, aleación de titanio.	Tamaño del orificio de la matriz 0,18 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 2080 mm, HRA 8992, vida útil de 300 a 1500 toneladas de alambre.
Micro matriz de trefilado Micro matriz de alambre	Orificio de matriz extra pequeño, especialmente diseñado para trefilado de alambre fino o ultrafino.	Medicina (alambre guía, sutura), electrónica (alambre de cobre ultrafino), aviación (filamento de aleación de titanio), trefilado de titanio, cobre, acero inoxidable.	Diámetro del orificio de la matriz 0,0050,5 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 1050 mm, HRA 9092, vida útil 100500 toneladas de alambre.
Matriz de embutición multitapa Troquel multitapa	Estiramiento de continuo con múltiples matrices, adecuado para producción en masa.	Alambres y cables (núcleo de cable de alto voltaje), cordón de acero (para neumáticos), resortes (alambre de acero de alta resistencia), acero extensible, cobre y aluminio.	Diámetro del orificio de la matriz 0,18 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 50150 mm, HRA 8891, vida útil de 1000 a 3000 toneladas de alambre.
Matriz de trefilado de tuberías Troquel de trefilado de tubos	Se utiliza para estirar el diámetro exterior o interior de la tubería para optimizar el espesor de la pared de la tubería.	Energía (tuberías de acero inoxidable), médica (catéteres), automotriz (tubos de escape), trefilado de acero inoxidable, cobre, aleaciones de aluminio.	Diámetro del orificio de la matriz 250 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 50120 mm, HRA 8790, vida útil de la tubería 500-2000 toneladas.
Matriz de	Orificio de	Construcción (varillas de refuerzo),	Diámetro del orificio de la

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

trefilado de varillas	de matriz de gran diámetro, adecuado para embutición de barras	maquinaria (partes de ejes), ferretería (alambre de acero grueso), acero con bajo contenido de carbono estirado, acero inoxidable, cobre.	matriz 530 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 50150 mm, HRA 8790, vida útil de la barra 5002000 toneladas.	
Matriz de trefilado de alambre de alta temperatura	Troquel de alta temperatura	Diseño resistente a altas temperaturas, adecuado para trefilar de cables a alta temperatura.	Aeroespacial (alambre de aleación a base de níquel), energía (alambre de alta temperatura), industria militar (alambre de aleación de titanio), aleación de titanio estirado, aleación a base de níquel.	Diámetro del orificio de la matriz 0,15 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 2080 mm, HRA 8992, vida útil de 300 a 1000 toneladas de alambre.
Matriz compuesta		Diseñado para estirar alambres compuestos o recubiertos para reducir la delaminación.	Electrónica (conductores revestidos), aviación (cables compuestos de fibra de carbono), energía (cables compuestos), acero revestido de cobre estirado, materiales compuestos de fibra de carbono.	Diámetro del orificio de la matriz 0,15 mm, diámetro del cuerpo de la matriz 2080 mm, HRA 8992, vida útil 200800 toneladas de alambre.

2.2 Indicadores técnicos de las matrices de trefilado de carburo cementado

Tamaño de la matriz de embutición de carburo

Diámetro del orificio de la matriz: 0,00550 mm (comúnmente utilizado 0,0110 mm).

Diámetro del fantasma: 10-150 mm (normalmente se utiliza 20-100 mm).

Tolerancia: $\pm 0,001$ mm (micro molde) a $\pm 0,01$ mm (molde general).

Peso de matriz de embutición de carburo

Pieza única pesa 0,055 kg, adecuada para máquinas de trefilado o líneas de producción automatizadas.

Rugosidad superficial de la matriz de trefilado de alambre de carburo cementado

Orificio de la matriz Ra 0,050,2 μm , superficie del alambre Ra 0,10,4 μm .

Grado de dureza de las matrices de trefilado de carburo

Norma: HRA 8891 (dibujo de propósito general).

Alta dureza: HRA 9092 (microestiramiento a alta temperatura).

Fórmula del material de la matriz de trefilado de carburo cementado

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

WCCo (uso general): Contenido de cobalto 510%, HRA 8891, alta tenacidad.

WCNi (tipo resistente a la corrosión): contenido de níquel 510%, resistente a entornos ácidos y alcalinos.

WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 700-900 °C.

Parámetros de dibujo de la matriz de trefilado de alambre de carburo

Velocidad de trefilado: 130 m/s (microalambre 15 m/s, alambre de acero 1030 m/s).

Fuerza de tracción: 10500 kN (dependiendo del diámetro y del material).

Tasa de reducción: 1030% (tramo único).

Tratamiento superficial de matrices de trefilado de alambre de carburo cementado

Pulido: Orificio de matriz Ra 0,020,1 µm, reduce el calor por fricción.

Recubrimiento de matriz de trefilado de alambre de carburo

TiN: Dureza HV 20002500, resistencia al desgaste aumentada 2 veces.

TiAlN: Resistente a temperaturas de hasta 900°C, adecuado para trefilado a alta temperatura.

AlCrSi/TiN: resistencia a temperaturas de 1000 °C, vida útil prolongada 3 veces.

DLC: Coeficiente de fricción 0.080.15, adecuado para cables de cobre y aluminio.

Cumplimiento de la norma de matrices de trefilado de carburo

Sistema de gestión de calidad ISO 9001.

ISO 1684 (especificación de matriz de trefilado), ASTM B771 (prueba de desgaste), ISO 3878 (prueba de dureza).

3. Proceso de fabricación de matrices de trefilado de carburo cementado

La fabricación de matrices de trefilado de carburo cementado adopta tecnología avanzada de metalurgia de polvos para garantizar que el rendimiento del material, la precisión del orificio de la matriz y la calidad de la superficie alcancen los más altos estándares.

3.1 Preparación de materias primas para matrices de trefilado de alambre de carburo cementado

Se selecciona carburo de tungsteno de alta pureza (WC, pureza >99,95%), cobalto (Co, pureza >99,9%) y aditivos (como TiC, TaC, Cr). El polvo se mezcla mediante molienda húmeda (alcohol o agua desionizada, molienda de bolas durante 24-72 horas), y el tamaño promedio de partícula se controla entre 0,2 y 0,8 micras. Se añade VC o Cr₃C₂ (0,1-0,4%) como inhibidor de grano para evitar el crecimiento de grano durante la sinterización a alta temperatura.

3.2 Formación de matrices de trefilado de alambre de carburo

Prensado isostático en frío (CIP): El polvo se prensa en un cuerpo verde a 200-400 MPa con una densidad del 50-60% del valor teórico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moldeo de precisión: se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia $\pm 0,05$ mm) para formar el cuerpo del molde y el orificio inicial del molde.

Secado por aspersión: prepara partículas fluidas y mejora la uniformidad y resistencia de los cuerpos verdes.

3.3 Sinterización de matriz de trefilado de carburo cementado

Pre-sinterización: 900-1100°C, para eliminar aditivos orgánicos.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1350-1450°C, 100-200 MPa, ambiente argón, sinterización durante 23 horas, densidad 99,8-100%.

Control de enfriamiento: Enfriamiento progresivo (1015°C/min) para evitar microfisuras causadas por estrés térmico.

3.4 Posprocesamiento de matrices de trefilado de carburo cementado

Rectificado de precisión: utilice una muela de diamante para procesar el orificio de la matriz con una tolerancia de $\pm 0,001$ mm y una rugosidad de superficie de Ra 0,050,2 μm .

Procesamiento láser: ajuste la forma del orificio del molde (redondo, forma especial), con una precisión de $\pm 0,0005$ mm, adecuado para micromoldes.

Pulido: Pulido de ultraprecisión, orificio de matriz Ra 0,020,1 μm , optimiza la calidad de la superficie del alambre.

Fortalecimiento de superficies: los recubrimientos (TiN, TiAlN, AlCrSi/TiN, DLC) mejoran la resistencia al desgaste y al calor.

Inspección de calidad:

Prueba de dureza: HRA/HV, error $\pm 0,5$.

Análisis microestructural: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar el tamaño de grano (0,20,8 μm).

Medición de dimensiones: instrumento de medición óptico, precisión $\pm 0,0005$ mm.

Pruebas no destructivas: Pruebas ultrasónicas para comprobar defectos internos.

4. Usos y escenarios de aplicación de las matrices de trefilado de carburo cementado

Las matrices de trefilado de carburo se utilizan ampliamente en los siguientes campos y escenarios debido a su alta precisión, resistencia al desgaste y larga vida útil:

4.1 Troquel de trefilado de carburo para alambres y cables

Matriz de trefilado de carburo, matriz de trefilado de alambre redonda

El estiramiento de conductores de cobre y aluminio para producir cables de energía y líneas de comunicación, con una precisión de diámetro de cable de $\pm 0,002$ mm y una vida útil de 500-2000 toneladas, se utiliza en la fabricación de cables de alta tensión y cables de red.

Matriz de trefilado de alambre de carburo, matriz de trefilado de alambre de múltiples etapas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estira continuamente alambre de cobre delgado y procesa alambre ultrafino con un diámetro de alambre de 0,01-0,1 mm y una vida útil de 1000-3000 toneladas, adecuado para la producción de cables de datos y cables de auriculares.

Matrices de trefilado de carburo Matrices de trefilado de formas especiales

Estirado de cables planos o cuadrados, procesamiento de cables para equipos electrónicos, vida útil 300-1500 toneladas, utilizado en conectores y placas de circuitos.

4.2 Alambre y resorte para matriz de trefilado de carburo

Matriz de trefilado de carburo, matriz de trefilado de alambre redonda

Estiramiento de alambre de acero con alto contenido de carbono para producir cables de acero y alambres de acero para resortes, diámetro del alambre 0,110 mm, vida útil 500-2000 toneladas, utilizado en cables de ascensores y resortes de suspensión de automóviles.

Matrices de trefilado de alambre de carburo, matrices de trefilado de alambre en varilla

Estiramiento de alambre de acero grueso o barra de acero, procesamiento de acero de construcción, diámetro del alambre 530 mm, vida útil 500-2000 toneladas, adecuado para puentes y estructuras de edificios.

Matriz de trefilado de carburo Matriz de trefilado de alta temperatura

Estiramiento de alambre musical para producir resortes de alta resistencia con una resistencia a la temperatura de 700°C y una vida útil de 300-1000 toneladas, utilizados en resortes industriales y resortes de válvulas.

4.3 Matrices de trefilado de carburo para dispositivos médicos

Matriz de trefilado de carburo Matriz de microtrefilado

Estiramiento de alambres guía de aleación de titanio y acero inoxidable para producir alambres guía cardiovasculares y suturas, con un diámetro de alambre de 0,0050,5 mm, una precisión de $\pm 0,001$ mm y una vida útil de 100500 toneladas, adecuados para el tratamiento médico intervencionista.

Matrices de trefilado de carburo Matrices de trefilado de formas especiales

Estiramiento de alambres médicos de formas especiales, procesamiento de alambres de fijación ortopédica, con una vida útil de 200.800 toneladas, utilizados en la fabricación de tornillos e implantes óseos.

Matrices de trefilado de carburo Matrices de trefilado de material compuesto

Guía de alambre compuesto estirado, alambre recubierto procesado, vida útil de 200 a 800 toneladas, adecuado para equipos neurointervencionistas.

4.4 Aeroespacial

Matriz de trefilado de carburo Matriz de trefilado de alta temperatura

Estiramiento de alambres de aleación a base de níquel y de aleación de titanio para producir cables y sujetadores para motores de aviación, diámetro del cable 0,15 mm, resistencia a la temperatura 900°C, vida útil 300-1000 toneladas, utilizado en álabes de turbinas y conectores de fuselaje.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matrices de trefilado de carburo Matrices de trefilado de material compuesto

Alambre compuesto de fibra de carbono estirado, procesamiento de alambre liviano, vida útil de 200 a 800 toneladas, adecuado para componentes UAV y satelitales.

Matriz de trefilado de carburo Matriz de microtrefilado

Estiramiento de alambre de titanio ultrafino para producir cable de sensor de aviación, diámetro del cable 0,010,5 mm, vida útil 100500 toneladas, utilizado en instrumentos de precisión.

4.5 Hardware y energía

Matriz de trefilado de alambre de carburo, matriz de trefilado de tubos

Estirado de tubos de acero inoxidable y cobre, producción de conductos de energía y tubos de intercambio de calor, con un diámetro de 250 mm y una vida útil de 500-2000 toneladas, que se utilizan en energía nuclear y oleoductos.

Matrices de trefilado de alambre de carburo, matrices de trefilado de alambre en varilla

Estiramiento de barras de cobre y aluminio, procesamiento de piezas de hardware y barras conductoras, diámetro de varilla 530 mm, vida útil 500-2000 toneladas, adecuado para equipos eléctricos.

Matriz de trefilado de carburo, matriz de trefilado de alambre redonda

Estiramiento de alambre de acero para producir cordón de acero y malla de alambre, diámetro del alambre 0,15 mm, vida útil 500-2000 toneladas, utilizado en neumáticos y redes protectoras.

5. Ventajas del producto

Las matrices de trefilado de carburo toman la delantera en el mercado de matrices de trefilado con su excelente rendimiento:

Vida útil ultralarga: la resistencia al desgaste y la dureza prolongan la vida útil en 515 veces y el costo de un solo trefilado se reduce en un 4070%.

Procesamiento eficiente: admite estiramiento de alta velocidad (130 m/s) y alta fuerza de tracción (10.500 kN), aumentando la eficiencia de producción en un 2050%.

Alta precisión: precisión del orificio de la matriz $\pm 0,001$ mm, rugosidad de la superficie del cable Ra 0,10,4 μm , cumpliendo con los altos requisitos de la industria médica y de la aviación.

Personalización flexible: hay disponibles distintos tipos (redondos, con formas especiales, miniatura, etc.), tamaños de orificios de matriz (0,00550 mm) y recubrimientos (TiN, DLC) para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Adaptabilidad ambiental: resistencia a altas temperaturas (700-900°C), resistencia a la corrosión (pH 210), adaptable a ambientes secos, húmedos y químicos.

Fabricación ecológica: La alta durabilidad reduce los cambios de molde y el desperdicio, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible.

6. Desafíos técnicos y direcciones de mejora de las matrices de trefilado de carburo cementado

6.1 Desafíos técnicos de las matrices de trefilado de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dificultad de procesamiento

El carburo cementado presenta una alta dureza (HRA 8892), lo que impone exigencias extremadamente altas a los equipos y herramientas de procesamiento. Las muelas de diamante se desgastan rápidamente y la precisión del orificio de la matriz es difícil de estabilizar (tolerancia $<\pm 0,001$ mm).

Riesgo de fragilidad

Los materiales de alta dureza pueden producir microfisuras o colapso de orificios de matriz bajo una fuerza de tracción alta (>500 kN) o un diseño inadecuado, lo que afectará la vida útil.

Problemas de gestión térmica

El estiramiento a alta velocidad (>20 m/s) genera calor por fricción, lo que puede provocar el ablandamiento de la superficie de la matriz o el desprendimiento del recubrimiento, especialmente en condiciones de alta temperatura.

Adaptabilidad compleja de materiales

El acero de alta resistencia (HRC >40), la aleación de titanio o el alambre compuesto tienen altos requisitos en cuanto a la geometría del orificio de la matriz y el tratamiento de la superficie, y son propensos al desgaste o a defectos en la superficie del alambre.

Limitaciones de condiciones de trabajo extremas

En entornos de temperaturas ultra altas (>900 °C) o fuertemente ácidos (pH <2), el rendimiento de los recubrimientos tradicionales y las fases de unión se deterioran y la vida útil se acorta entre un 50 y un 70 %.

6.2 Dirección de mejora técnica de matrices de trefilado de carburo cementado

Tecnología de procesamiento avanzada

Desarrollar el micromecanizado láser y el rectificado de ultraprecisión, mejorar la precisión del orificio del molde a $\pm 0,0005$ mm, reducir el desgaste de la herramienta en un 30% y hacerlo adecuado para moldes micro y de formas especiales.

Diseño de mayor resistencia

El uso de una estructura de gradiente (alta dureza HRA 9092 en la superficie, alta tenacidad a la fractura >9 MPa·m^{1/2} en el interior) o una fase de unión compuesta de CoNi puede aumentar la resistencia al crecimiento de grietas en un 2030% y reducir el agrietamiento de los orificios de la matriz.

Gestión térmica eficiente

Optimizar el sistema de enfriamiento de la matriz (presión del refrigerante 510 MPa, caudal 25 L/min) para reducir la temperatura de trabajo en 100-150 °C; desarrollar recubrimientos adaptables (como TiAlN/AlCrSi, resistencia a la temperatura 1000 °C) para reducir el ablandamiento térmico.

Optimización de materiales complejos

Diseñar recubrimientos de baja fricción (como DLC, coeficiente de fricción 0.080.15) y optimizar la geometría del orificio de la matriz (ángulo de entrada 5°15°, longitud de área de superficie reducida 0.52 mm) para reducir los defectos de la superficie del alambre; desarrollar orificios de matriz de PCD (diamante policristalino), aumentar la dureza a HV 8000 y extender la vida útil 20 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Adaptación a condiciones de trabajo extremas

Desarrollar recubrimientos nano-multicapa (como AlCrSi/TiN, espesor 13 μm , dureza HV 3500) o materiales compuestos a base de cerámica (WCSiC), con resistencia a la temperatura aumentada hasta 1100°C y tasa de corrosión por ácidos fuertes (pH 12) $< 0,02 \text{ mm/año}$.

Diseño inteligente

Se utiliza IA para simular la fuerza de trefilado (error $< 5 \%$) y el comportamiento de desgaste, optimizar el ángulo del orificio de la matriz (desviación $< 0,2^\circ$) y la rugosidad de la superficie ($R_a < 0,05 \mu\text{m}$) y mejorar la estabilidad del trefilado; se desarrollan matrices de trefilado de autodiagnóstico para monitorear la temperatura y el desgaste en tiempo real, lo que extiende la vida útil en un 1020 %.

7. Conclusión

Las matrices de trefilado de carburo se han convertido en las herramientas preferidas en las industrias de alambres y cables, cuerdas de acero, fabricación de resortes, guías médicas, alambres aeroespaciales, etc., gracias a su alta dureza (HRA 8892), excelente tenacidad ($6,0-9,0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{2/3}$) y larga vida útil (100-3000 toneladas de alambre). Su amplia variedad (matriz circular, micromatriz, matriz de forma especial, matriz multietapa, etc.) y sus precisas especificaciones (diámetro del orificio de la matriz: 0,00550 mm, tolerancia: $\pm 0,001 \text{ mm}$) satisfacen las diversas necesidades de trefilado, desde guías ultrafinas hasta varillas gruesas. Los indicadores técnicos muestran que su vida útil es 515 veces superior a la de las matrices de acero de alta velocidad, la eficiencia de producción aumenta un 20-50 % y la calidad superficial del alambre alcanza un R_a de 0,1-0,4 μm .

Gracias a procesos avanzados de pulvimetalurgia y tecnologías de recubrimiento (como TiAlN y DLC), las matrices de trefilado ofrecen un excelente rendimiento en entornos hostiles, como altas temperaturas (700-900 °C) y corrosión (pH 210). En el futuro, mediante el procesamiento láser, los orificios de matriz de PCD, el nanorrecubrimiento, la optimización con IA y el diseño inteligente, las matrices de trefilado de carburo cementado mejorarán aún más su rendimiento y ampliarán sus aplicaciones, lo que contribuirá al desarrollo eficiente, preciso y sostenible de la industria global.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



apéndice:

Boquilla de carburo

La boquilla de carburo cementado es un componente de alto rendimiento para el control de fluidos, fabricado con carburo de tungsteno (WC) como material principal, mediante pulvimetalurgia y diseñado para aplicaciones de inyección en entornos de alta presión, alto desgaste y corrosión. Su excelente dureza, resistencia al desgaste, a altas temperaturas y a la corrosión la hacen ampliamente utilizada en arenado, pulverización, corte por chorro de agua, perforación petrolera, industria química, riego agrícola y procesamiento de alimentos. Este artículo explica sistemáticamente el rendimiento y las aplicaciones de las boquillas de carburo cementado, considerando las propiedades del material, su clasificación y parámetros técnicos, el proceso de fabricación, los campos de aplicación, las ventajas de rendimiento, los desafíos y las tendencias de desarrollo tecnológico.

Composición del material y características de rendimiento

Composición del material y características de rendimiento de las boquillas de carburo cementado

Las características del material y el rendimiento de las boquillas de carburo determinan su excelente rendimiento en entornos hostiles.

Composición del material de las boquillas de carburo

La fórmula del material de las boquillas de carburo está optimizada para equilibrar la dureza, la tenacidad y la resistencia a la corrosión.

La fase dura de carburo de tungsteno (WC, 8595 % en peso) de la boquilla de carburo cementado

proporciona alta dureza y resistencia al desgaste. Algunas formulaciones añaden carburo de titanio (TiC, 0,53 % en peso) o carburo de tántalo (TaC, 0,52 % en peso) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La fase aglutinante de la boquilla de carburo cementado contiene

cobalto (Co, 512 % en peso), que mejora la tenacidad y la resistencia al impacto; níquel (Ni, 510 % en peso), que se utiliza en formulaciones resistentes a la corrosión y es adecuado para entornos ácidos o húmedos.

trazas

de cromo (Cr, 0,10,8 % en peso), vanadio (V, 0,050,4 % en peso) y molibdeno (Mo, 0,10,6 % en peso) para refinar los granos, inhibir su crecimiento y mejorar la resistencia a la corrosión y el rendimiento a altas temperaturas.

Características de rendimiento de las boquillas de carburo

El rendimiento de las boquillas de carburo cementado proviene de su microestructura optimizada y de su formulación del material.

La dureza de las boquillas de carburo es

HRA 8892 (HV 14001800), que es significativamente mayor que la del acero inoxidable (HRC 2040) y es adecuada para un granallado altamente abrasivo.

La tenacidad a la fractura de la boquilla de carburo cementado es de

6,0 a 9,0 MPa·m^{1/2}, que es aproximadamente un 25 % más alta que la del carburo cementado ordinario (57 MPa·m^{1/2}), resistiendo eficazmente la propagación de grietas.

La resistencia mecánica de la boquilla de carburo cementado

es de 0,008-0,015 mm³/N·m (ASTM G65), que es 1,52 veces menor que la de la aleación con alto contenido de cromo y la vida útil se extiende 515 veces.

La resistencia a la compresión de la boquilla de carburo cementado

es de 4500 a 6500 MPa y puede soportar una presión de inyección máxima de 500 MPa.

La densidad de la boquilla de carburo cementado es

de 14,015,0 g/cm³, adecuada para una instalación de alta precisión.

La resistencia a la corrosión de las boquillas de carburo cementado

es <0,05 mm/año en un entorno neutro o débilmente ácido (pH 49); la fórmula a base de níquel o recubierta puede soportar un pH 210 con una tasa de corrosión de <0,03 mm/año.

La resistencia de las boquillas de carburo cementado

varía de 20 °C a 800 °C, y la fórmula del recubrimiento puede soportar temperaturas instantáneas de 1000 °C.

Características de microestructura de las boquillas de carburo cementado

Las boquillas de carburo cementado adoptan una estructura de grano ultrafino (0,20,5 μm) o de grano fino (0,51 μm), que tiene las siguientes ventajas:

Alta dureza y resistencia: los granos pequeños aumentan la densidad del límite del grano, siguen el efecto Hall-Petch y mejoran la resistencia al desgaste.

Tenacidad mejorada: el refinamiento del grano dispersa la tensión, reduce el riesgo de propagación de grietas y mejora la resistencia al impacto en un 2030%.

Estabilidad de la superficie: reduce el desgaste, mantiene el acabado de la superficie del orificio de la boquilla y garantiza la precisión de la inyección y la vida útil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Clasificación y parámetros técnicos de las boquillas de carburo cementado

Clasificación y parámetros técnicos de las boquillas de carburo cementado

Las boquillas de carburo cementado se dividen en varios tipos según el medio de pulverización y los escenarios de aplicación para satisfacer diferentes necesidades industriales.

Clasificación y uso de boquillas de carburo

A continuación, se presenta un resumen de la clasificación, los parámetros técnicos y los usos de las boquillas de carburo (según las normas ISO, las especificaciones ASTM y los datos de la industria):

Tabla de clasificación y aplicación de boquillas de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Boquilla de chorro de arena Boquilla de chorro de arena	de Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para chorro abrasivo.	Tratamiento de superficies (eliminación de óxido, desbarbado), construcción naval (chorro de arena de casco), construcción (limpieza de hormigón), arena de chorreado, granalla de acero.	Diámetro de boquilla 212 mm, longitud 50200 mm, HRA 8892, vida útil 5002000 horas.
Boquilla de chorro de agua Boquilla de chorro de agua	de Chorro de agua a alta presión, adecuado para cortar materiales duros.	Aeroespacial (corte de aleación de titanio), automotriz (corte de materiales compuestos), procesamiento de piedra (mármol), chorro de agua a alta presión (300-400 MPa).	Diámetro de boquilla 0,12 mm, longitud 20100 mm, HRA 9092, vida útil 2001000 horas.
Boquilla de pulverización Boquilla de recubrimiento por pulverización	de Aplicación precisa de pintura o recubrimientos cerámicos.	Aviación (recubrimiento de álabes de turbinas), automoción (recubrimiento de motores), electrónica (pulverización de placas de circuitos), pulverización de cerámica, polvos metálicos.	Diámetro de boquilla 0,55 mm, longitud 30150 mm, HRA 8891, vida útil 3001500 horas.
Boquillas para yacimientos petrolíferos Boquilla para yacimientos petrolíferos	Alta resistencia a la presión y a la corrosión, adecuado para perforación con chorro de aire.	Perforación de petróleo (inyección de fluido de perforación), exploración de gas natural (limpieza de fondo de pozo), minería (inyección de lodo), fluido de perforación por inyección, fluido químico.	Diámetro de boquilla 315 mm, longitud 50150 mm, HRA 8992, vida útil 5002000 horas.
Boquilla	Spray fino	Agricultura (pulverización de	Diámetro de boquilla 0,23

atomizadora Boquilla atomizadora	atomizado, adecuado para dispersión de líquidos.	pesticidas), industria química (atomización de líquidos), protección del medio ambiente (tratamiento de gases residuales), pulverización de agua, líquidos químicos, aceite.	mm, longitud 20100 mm, HRA 8891, vida útil 5002000 horas.
Boquilla de combustión Boquilla del quemador	Diseño resistente a altas temperaturas, adecuado para inyección de combustible o gas.	Energía (combustión en calderas), industria química (reacción a alta temperatura), metalurgia (inyección en hornos), inyección de fueloil, gas natural.	Diámetro de boquilla 110 mm, longitud 30120 mm, HRA 8992, vida útil 3001500 horas.
Microboquilla Microboquilla	Orificio de boquilla ultrapequeño, adecuado para inyección de alta precisión.	Medicina (pulverización de medicamentos), electrónica (limpieza de chips), aviación (recubrimiento de precisión), pulverización de líquidos, gases y partículas.	Diámetro de boquilla 0,050,5 mm, longitud 1050 mm, HRA 9092, vida útil 2001000 horas.
Boquillas resistentes a la corrosión Boquilla resistente a la corrosión	Resistente a ácidos y álcalis fuertes, adecuado para ambientes químicos.	Industria química (inyección de soluciones ácidas y alcalinas), protección del medio ambiente (desulfuración y desnitrificación), ingeniería marina (inyección de agua de mar), inyección de ácido fuerte, álcali fuerte y agua de mar.	Diámetro de boquilla 110 mm, longitud 30150 mm, HRA 8891, vida útil 5002000 horas.
Boquilla para la fabricación de leche en polvo Boquilla rociadora de leche en polvo	Especialmente diseñado para secado por aspersión para atomizar emulsiones de manera uniforme.	Procesamiento de alimentos (leche en polvo, producción de leche en polvo), agricultura (procesamiento de productos lácteos), emulsión en aerosol, suero líquido, producción de leche en polvo para bebés, leche en polvo.	Diámetro de boquilla 0,53 mm, longitud 20100 mm, HRA 8891, vida útil 5002000 horas.

Parámetros técnicos de las boquillas de carburo cementado

Los parámetros técnicos de las boquillas de carburo cementado garantizan su adaptabilidad a una variedad de aplicaciones industriales:

tamaño:

Diámetro de la boquilla: 0,0515 mm (normalmente se utiliza 0,112 mm).

Longitud de la boquilla: 10200 mm (comúnmente 20150 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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Tolerancia: $\pm 0,001$ mm (microboquillas, boquillas para fabricación de leche en polvo) a $\pm 0,01$ mm (boquillas universales).

Peso: 0,011 kg por pieza, apto para equipos manuales o automatizados.

Rugosidad de la superficie: orificio de la boquilla Ra 0,050,2 μm , superficie de inyección Ra 0,10,4 μm .

Grado de dureza:

Norma: HRA 8891 (pulverización de uso general, fabricación de leche en polvo).

Alta dureza: HRA 9092 (chorro de agua, microboquilla).

Fórmula del material:

WCCo (uso general): Contenido de cobalto 510%, HRA 8891, alta tenacidad.

WCNi (tipo resistente a la corrosión): contenido de níquel del 5 al 10%, resistente a entornos ácidos y alcalinos, adecuado para la fabricación de leche en polvo.

WCTiCTaC (tipo de alta temperatura): resistencia a temperaturas de 800 a 1000 °C.

Parámetros de inyección:

Presión de inyección: 0,1500 MPa (la más alta para chorro de agua, 0,55 MPa para la fabricación de leche en polvo).

Velocidad del chorro: 101000 m/s (dependiendo del medio).

Caudal: 0,01100 L/min (fabricación de leche en polvo 0,110 L/min).

Tratamiento de superficie:

Pulido: orificio de pulverización Ra 0,020,1 μm , reduce la fricción y las obstrucciones, adecuado para la fabricación de leche en polvo.

revestimiento:

TiN: Dureza HV 20002500, resistencia al desgaste aumentada 2 veces.

TiAlN: Resistente a temperaturas de hasta 900°C, adecuado para pulverización a alta temperatura.

AlCrSi/TiN: resistencia a temperaturas de 1000 °C, vida útil prolongada hasta 3 veces.

DLC: Coeficiente de fricción 0.080.15, adecuado para pulverización de líquidos y emulsiones.

Cumplimiento de normas:

Sistema de gestión de calidad ISO 9001.

ASTM B771 (prueba de desgaste), ISO 3878 (prueba de dureza).

Certificación de grado alimenticio: La boquilla para fabricación de leche en polvo cumple con los estándares de contacto con alimentos FDA/UE.

3. Proceso de fabricación de boquillas de carburo cementado

La fabricación de boquillas de carburo cementado adopta tecnología avanzada de metalurgia de polvos para garantizar que las propiedades del material, la precisión de la boquilla y la calidad de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

superficie cumplan con los estándares de la industria.

Las materias primas para las boquillas de carburo cementado

son carburo de tungsteno de alta pureza (WC, pureza >99,95%), cobalto (Co, pureza >99,9%) y aditivos (como TiC, TaC, Cr). Los polvos se mezclan mediante molienda húmeda (el medio es alcohol o agua desionizada, con un proceso de molienda de bolas de 24-72 horas), y el tamaño promedio de partícula se controla entre 0,2 y 0,8 μm . Se añade VC o Cr_3C_2 (0,1-0,4 % en peso) como inhibidor de grano para evitar el crecimiento de grano durante la sinterización a alta temperatura.

Formación de boquillas de carburo

Prensado isostático en frío (CIP): El polvo se prensa en un cuerpo verde a 200-400 MPa con una densidad del 50-60% del valor teórico.

Moldeo de precisión: se utilizan moldes de alta precisión (tolerancia $\pm 0,05 \text{ mm}$) para moldear el cuerpo de la boquilla y el orificio de pulverización inicial.

Secado por aspersión: prepara partículas fluidas y mejora la uniformidad y resistencia de los cuerpos verdes.

Sinterización de boquillas de carburo cementado

Pre-sinterización: 900-1100°C, para eliminar aditivos orgánicos.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1350-1450°C, 100-200 MPa, ambiente argón, sinterización durante 23 horas, densidad 99,8-100%.

Control de enfriamiento: Enfriamiento progresivo (1015°C/min) para evitar microfisuras causadas por estrés térmico.

Postprocesamiento de boquillas de carburo cementado

Rectificado de precisión

Utilice una muela de diamante para mecanizar el orificio de la boquilla con una tolerancia de $\pm 0,001 \text{ mm}$ y una rugosidad de superficie de $\text{Ra } 0,050,2 \mu\text{m}$.

Procesamiento láser

Ajuste la forma de la boquilla (circular, en abanico), con una precisión de $\pm 0,0005 \text{ mm}$, adecuada para microboquillas y boquillas de fabricación de leche en polvo.

pulido

Pulido de ultraprecisión, orificio de pulverización $\text{Ra } 0,020,1 \mu\text{m}$, uniformidad de pulverización optimizada, especialmente adecuado para pulverización de emulsión.

Refuerzo de superficies

Los recubrimientos (TiN, TiAlN, AlCrSi/TiN, DLC) mejoran la resistencia al desgaste y al calor;

El recubrimiento DLC de grado alimenticio se prefiere para las boquillas de fabricación de leche en polvo.

Inspección de calidad

Prueba de dureza: HRA/HV, error $\pm 0,5$.

Análisis microestructural: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tamaño de grano (0,20,8 μm).

Medición de dimensiones: instrumento de medición óptico, precisión $\pm 0,0005 \text{ mm}$.

Pruebas no destructivas: Pruebas ultrasónicas para detectar defectos internos.

Certificación de grado alimenticio: La boquilla para fabricación de leche en polvo ha pasado la prueba de material en contacto con alimentos FDA/UE.

4. Usos y escenarios de aplicación de las boquillas de carburo cementado

Usos y aplicaciones de las boquillas de carburo

Las boquillas de carburo se utilizan ampliamente en los siguientes campos debido a su alta resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y capacidad de pulverización precisa:

Tratamiento superficial de la boquilla de carburo

Boquilla de chorro de arena

Puede pulverizar arena y granalla de acero para la eliminación de óxido en barcos, el desbarbado de piezas de automóviles y la limpieza de superficies de hormigón. La presión es de 1050 MPa y la vida útil es de 500 a 2000 horas. Es ideal para la industria naval y de la construcción.

Boquilla de pulverización

Pulverización de polvos cerámicos y metálicos para producir recubrimientos resistentes al desgaste de álabes de turbinas de aviación y motores de automóviles con una vida útil de 300 a 1500 horas, utilizados en la fabricación de aviación y automóviles.

Boquilla de chorro de agua

Corte con agua a alta presión de aleación de titanio, materiales compuestos, mármol, presión 300-400 MPa, vida útil 200-1000 horas, adecuado para el procesamiento aeroespacial y de piedra.

Boquillas de carburo para petróleo y energía

Boquillas para yacimientos petrolíferos

Fluido de perforación a chorro, fluido químico, utilizado para perforación de petróleo, limpieza de fondo de pozo, presión 50200 MPa, vida útil 5002000 horas, resistencia a la corrosión (pH 210), utilizado en perforación de pozos profundos.

Boquilla de combustión

Se utiliza para pulverizar fueloil y gas natural, y para la combustión en calderas y hornos. Tiene una resistencia térmica de 800 °C y una vida útil de 300 a 1500 horas. Es adecuado para la generación de energía térmica y la industria metalúrgica.

Boquilla de chorro de agua

Para la limpieza de intercambiadores de calor y tuberías, presión 100-300 MPa, vida útil 200-1000 horas, utilizado en la industria nuclear y petroquímica.

Boquilla de carburo cementado para la industria química y la protección del medio ambiente

Boquillas resistentes a la corrosión

Soluciones ácidas y alcalinas en aerosol, agua de mar, utilizadas para reacciones químicas, desulfuración y desnitrificación, resistentes a pH 210, vida útil de 500 a 2000 horas, adecuadas para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la industria química y la ingeniería marina.

Boquilla atomizadora

Líquido químico atomizado, líquido de tratamiento de gases residuales, utilizado para la purificación de gases residuales, torre de enfriamiento, caudal 0,110 L/min, vida útil 500-2000 horas, utilizado en la protección del medio ambiente y la industria química.

Boquilla de pulverización

Recubrimiento anticorrosivo en aerosol, utilizado para la protección de tanques de almacenamiento y tuberías, con una vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para la fabricación de equipos químicos. Boquillas de carburo para agricultura y procesamiento de alimentos

Boquilla atomizadora

Pulverización de pesticidas y fertilizantes para riego agrícola de precisión, caudal 0,055 L/min, vida útil 500-2000 horas, adecuado para pulverizar cultivos de campo y huertos.

Boquilla para la fabricación de leche en polvo

Emulsión de secado por aspersión y líquido de suero, producción de leche en polvo para bebés y leche en polvo, presión 0,55 MPa, caudal 0,110 L/min, vida útil 500-2000 horas, de acuerdo con los estándares de grado alimenticio, adecuado para el procesamiento de lácteos y la industria alimentaria.

Boquillas resistentes a la corrosión

Líquido limpiador y desinfectante en spray para la limpieza de equipos agrícolas, resistente a pH 210, vida útil 500-2000 horas, apto para invernaderos y granjas.

Boquillas de carburo para aplicaciones médicas y electrónicas

Microboquilla

Líquido atomizador de medicamentos en aerosol y líquido limpiador para inhaladores y limpieza de chips, con un tamaño de boquilla de 0,05-0,5 mm y una vida útil de 200-1000 horas, adecuado para las industrias médica y electrónica.

Boquillas resistentes a la corrosión

Desinfectante en spray, utilizado para la limpieza de equipos médicos, resistente a pH 210, vida útil 500-2000 horas, apto para hospitales y laboratorios.

Boquilla de pulverización

Recubrimiento conductor en aerosol, utilizado para la fabricación de placas de circuito, vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para la industria de semiconductores.

Boquillas de carburo para la industria aeroespacial

Boquilla de chorro de agua

Corte de materiales compuestos de fibra de carbono y aleaciones de titanio con una precisión de $\pm 0,01$ mm y una vida útil de 200 a 1000 horas. Ideal para la fabricación de alas de aeronaves y componentes de satélites.

Boquilla de pulverización

Recubrimiento cerámico en pulverización, utilizado en motores de aeronaves, con una vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para procesos de recubrimiento de alta precisión.

Microboquilla

Pulverización de gas y líquido de precisión, utilizada para la fabricación de sensores, orificio de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

boquilla de 0,05 a 0,5 mm, vida útil de 200 a 1000 horas, adecuada para instrumentos de aviación.

Usos y escenarios de aplicación de las boquillas de carburo cementado

Gracias a su alta resistencia al desgaste y a la corrosión, y a su precisa capacidad de pulverización, las boquillas de carburo se utilizan ampliamente en el tratamiento de superficies, la industria petrolera y energética, la protección química y ambiental, la agricultura y el procesamiento de alimentos, la medicina y la electrónica, la industria aeroespacial y otros sectores. A continuación, se presentan los usos específicos y los escenarios de aplicación en diversos campos, que se enumeran sistemáticamente en forma de tabla.

industria campo	Producto (Tipo de boquilla)	Propósito y escenarios de aplicación	Parámetros de rendimiento
Tratamiento de superficies	Boquilla de acero se utiliza para chorro de arena	El granallado de arena y eliminar óxido de barcos,	Presión 1050 MPa, vida útil 500-2000 horas, adecuado para las industrias de construcción naval y de construcción.
	Boquilla de desbarbar piezas de chorro de arena	automóviles y limpiar superficies de hormigón.	
	Boquilla de pulverización de cerámicos y metálicos para producir recubrimientos	Pulverización de polvos	Vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para la fabricación de aviación y automóviles.
Petróleo y energía	Boquilla de recubrimiento por álaves de turbinas de pulverización	aviación y motores de automóviles.	
	Boquilla de corte con agua a alta presión de aleaciones de titanio, materiales compuestos y mármol.	Corte con agua a alta presión de aleaciones de titanio, materiales compuestos y mármol.	Presión 300-400 MPa, vida útil 200-1000 horas, adecuado para el sector aeroespacial y el procesamiento de piedras.
	Boquilla para yacimientos petrolíferos	Inyección de fluido de perforación y fluido químico para perforación de petróleo y limpieza de pozos.	Presión 50200 MPa, vida útil 5002000 horas, resistencia a la corrosión (pH 210), utilizado en perforación de pozos profundos.
	Boquilla de combustión del quemador	Injectar fuel oil y gas natural para su combustión en calderas y hornos.	Con una resistencia a la temperatura de 800 °C y una vida útil de 300 a 1500 horas, es adecuado para la generación de energía térmica y las industrias metalúrgicas.

Industria química y protección del medio ambiente	Boquilla de chorro de agua Boquilla de chorro de agua	Limpiar intercambiadores de calor y tuberías.	Presión 100-300 MPa, vida útil 200-1000 horas, utilizado en la industria nuclear y petroquímica.
	Boquillas resistentes a la corrosión Boquilla resistente a la corrosión	Pulverizar soluciones ácidas, alcalinas y agua de mar para reacciones químicas, desulfuración y desnitrificación.	Resistente a pH 210, vida útil de 500 a 2000 horas, adecuado para la industria química y la ingeniería marina.
	Boquilla atomizadora Boquilla atomizadora	Líquido químico atomizado, líquido para el tratamiento de gases residuales, utilizado para la purificación de gases residuales y torres de enfriamiento.	Caudal 0,110 L/min, vida útil 500-2000 horas, utilizado en protección ambiental e industrias químicas.
	Boquilla de pulverización Boquilla de anticorrosivo en spray para recubrimiento por pulverización	Aplicación de recubrimiento anticorrosivo en spray para protección de tanques y tuberías.	Vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para la fabricación de equipos químicos.
	Boquilla atomizadora Boquilla atomizadora	Pulverizar pesticidas y fertilizantes para riego agrícola de precisión.	Caudal 0,055 L/min, vida útil 500-2000 horas, adecuado para pulverizar cultivos de campo y huertos.
Agricultura y procesamiento de alimentos	Boquilla para la fabricación de leche en polvo Boquilla rociadora de leche en polvo	Secado por aspersión de emulsiones y líquidos de suero para producir leche en polvo infantil y leche en polvo.	Presión 0,55 MPa, caudal 0,110 L/min, vida útil 500-2000 horas, conforme a los estándares de grado alimenticio, adecuado para el procesamiento de lácteos y la industria alimentaria.
	Boquilla resistente a la corrosión	Líquido limpiador en aerosol y desinfectante para la limpieza de equipos agrícolas.	Resistente a pH 210, vida útil 500-2000 horas, apto para invernaderos y granjas.
Medicina y electrónica	Microboquilla	Líquido atomizador de medicamentos en aerosol y líquido limpiador para limpiar inhaladores y	El orificio de la boquilla es de 0,05-0,5 mm y su vida útil es de 200 a 1000 horas. Es adecuado para las industrias médica y

		chips.	electrónica.
	Boquillas resistentes a la corrosión Boquilla resistente a la corrosión	Desinfectante en spray para limpieza de equipos médicos.	Resistente a pH 210, vida útil 500-2000 horas, adecuado para hospitales y laboratorios.
	Boquilla de recubrimiento por pulverización	Pulverización de recubrimientos conductores para la fabricación de placas de circuitos.	Vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para la industria de semiconductores.
	Boquilla de chorro de agua	Corte de compuestos de fibra de carbono, aleaciones de titanio.	Precisión: ±0,01 mm, vida útil: 200-1000 horas, adecuado para la fabricación de alas de aeronaves y componentes de satélite.
Aeroespacial	Boquilla de recubrimiento por pulverización	Proyección de recubrimientos cerámicos para motores de aeronaves.	Vida útil de 300 a 1500 horas, adecuado para procesos de recubrimiento de alta precisión.
	Microboquilla	Inyección de gases y líquidos de precisión para la fabricación de sensores.	El orificio de la boquilla es de 0,05 a 0,5 mm y la vida útil es de 200 a 1000 horas, lo que es adecuado para instrumentos de aviación.

5. Ventajas de rendimiento

Ventajas de rendimiento de las boquillas de carburo

Las boquillas de carburo tienen ventajas significativas en el campo de los equipos de inyección:

Vida ultralarga

La resistencia al desgaste y la dureza prolongan la vida útil 515 veces y reducen el costo por uso en un 4070%.

Pulverización eficiente

Admite inyección de alta presión (0,1500 MPa) y fluido de alta velocidad (101000 m/s), y la eficiencia de inyección se mejora en un 2050%.

Alta precisión

La precisión del orificio de la boquilla es de ±0,001 mm y la rugosidad de la superficie de pulverización es de Ra 0,10,4 μm, lo que cumple con los altos requisitos de la aviación, la medicina y el procesamiento de alimentos.

Personalización flexible

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se encuentran disponibles una variedad de tipos (chorro de arena, chorro de agua, atomización, fabricación de leche en polvo, etc.), tamaños de boquillas (0,0515 mm) y recubrimientos (TiN, DLC) para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Adaptabilidad ambiental

Resistente a altas temperaturas (800-1000°C), resistente a la corrosión (pH 210), adaptable a abrasivos, líquidos químicos, emulsiones y entornos de alta temperatura.

Fabricación ecológica

La alta durabilidad reduce los cambios de boquillas y el desperdicio, cumpliendo con los objetivos de sostenibilidad.

6. Desafíos técnicos y direcciones de mejora

Desafíos técnicos y direcciones de mejora de las boquillas de carburo cementado

Las boquillas de carburo cementado enfrentan varios desafíos técnicos en aplicaciones prácticas y necesitan lograr avances en el rendimiento a través de la mejora continua.

Desafíos técnicos de las boquillas de carburo

Dificultad en el mecanizado de boquillas de carburo

El carburo cementado presenta una alta dureza (HRA 8892), lo que impone exigencias extremadamente altas a los equipos y herramientas de procesamiento. Las muelas de diamante se desgastan rápidamente y la precisión del orificio de la boquilla es difícil de estabilizar (tolerancia $<\pm 0,001$ mm).

Riesgo de fragilidad de la boquilla de carburo

Los materiales de alta dureza pueden producir microfisuras o colapso de la boquilla bajo alta presión (>500 MPa) o un diseño inadecuado, lo que afectará la vida útil.

Problemas de gestión térmica de las boquillas de carburo cementado

La pulverización a alta temperatura (>800 °C) o la pulverización abrasiva a alta velocidad pueden provocar el ablandamiento de la superficie del orificio o el desprendimiento del revestimiento, especialmente en condiciones secas.

Adaptabilidad de medios complejos

Los líquidos de alta viscosidad (como emulsiones), líquidos químicos altamente corrosivos o abrasivos superduros tienen altos requisitos en cuanto a la geometría de la boquilla y el tratamiento de la superficie, y son propensos al desgaste o la obstrucción.

Condiciones de trabajo extremas de las boquillas de carburo cementado

En entornos de temperaturas ultra altas (>1000 °C) o fuertemente ácidos (pH <2), el rendimiento de los recubrimientos y fases adhesivas tradicionales se deteriora y su vida útil se acorta entre un 50 y un 70 %.

Dirección de mejora tecnológica de las boquillas de carburo cementado

Tecnología de procesamiento avanzada de boquillas de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se desarrolló el micromecanizado láser y el rectificado de ultraprecisión, la precisión del orificio de la boquilla se mejora a $\pm 0,0005$ mm y el desgaste de la herramienta se reduce en un 30%, lo que es adecuado para boquillas de fabricación de micro y leche en polvo.

Diseño de boquilla de carburo con mayor tenacidad

El uso de una estructura de gradiente (alta dureza HRA 9092 en la superficie, alta tenacidad a la fractura $>9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ en el interior) o una fase de unión compuesta de CoNi puede aumentar la resistencia al crecimiento de grietas en un 2030% y reducir el colapso de la boquilla.

Gestión térmica eficiente de boquillas de carburo

Optimizar el canal de enfriamiento de la boquilla (presión del refrigerante 510 MPa, caudal 25 L/min) para reducir la temperatura de funcionamiento entre 100 y 150 °C; desarrollar recubrimientos adaptables (como TiAlN/AlCrSi, resistencia a la temperatura 1100 °C) para reducir el ablandamiento térmico.

Optimización de boquillas de carburo para medios complejos

Diseñar recubrimientos de baja fricción (como DLC, coeficiente de fricción 0,080,15) y optimizar la geometría de la boquilla (ángulo de entrada $10^{\circ}20^{\circ}$, longitud de la zona de inyección 0,52 mm) para reducir las obstrucciones y el desgaste; desarrollar boquillas de PCD (diamante policristalino), aumentar la dureza a HV 8000 y extender la vida útil 20 veces.

Las boquillas de carburo son adecuadas para condiciones de trabajo extremas.

Desarrollar recubrimientos nano-multicapa (como AlCrSi/TiN, espesor 13 μm , dureza HV 3500) o materiales compuestos a base de cerámica (WCSiC), con resistencia a la temperatura aumentada hasta 1200°C y tasa de corrosión por ácidos fuertes (pH 12) $<0,02$ mm/año.

Diseño inteligente de boquilla de carburo cementado

Utilice IA para simular la presión de inyección (error $<5\%$) y el comportamiento de desgaste, optimizar el ángulo de la boquilla (desviación $<0,2^{\circ}$) y la rugosidad de la superficie ($R_a <0,05 \mu\text{m}$) y mejorar la estabilidad de la inyección; desarrollar boquillas de autodiagnóstico para monitorear la temperatura y el desgaste en tiempo real, extendiendo la vida útil en un 1020%.

7. Conclusión

Con su alta dureza (HRA 8892), excelente tenacidad ($6,0-9,0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^2$) y vida útil ultralarga (200-2000 horas), las boquillas de carburo cementado se han convertido en los componentes de control de fluidos preferidos en los campos del arenado, la pulverización, el corte por chorro de agua, la perforación petrolera, la industria química, el riego agrícola, el procesamiento de alimentos, etc. Sus diversos tipos (boquillas de arenado, boquillas de chorro de agua, boquillas atomizadoras, boquillas para la fabricación de leche en polvo, etc.) y especificaciones precisas (diámetro del orificio de pulverización de 0,0515 mm, tolerancia de $\pm 0,001$ mm) satisfacen una amplia gama de necesidades, desde la pulverización de precisión hasta el corte a alta presión. Los indicadores técnicos muestran que su vida útil es 515 veces mayor que la de los materiales ordinarios, la eficiencia de pulverización se incrementa en un 20-50 % y la calidad de la superficie de pulverización alcanza un R_a de 0,10-4 μm .

Gracias a la metalurgia de polvos avanzada y a las tecnologías de recubrimiento (como TiAlN y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

DLC), las boquillas ofrecen un excelente rendimiento en entornos hostiles, como altas temperaturas (800-1000 °C) y corrosión (pH 210). En el futuro, mediante el procesamiento láser, los orificios de boquilla de PCD, el nanorrecubrimiento, la optimización con IA y el diseño inteligente, las boquillas de carburo cementado mejorarán aún más su rendimiento y ampliarán sus aplicaciones, contribuyendo así al desarrollo eficiente, preciso y sostenible de la industria global.



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

Procesamiento personalizado de boquillas de carburo

Las boquillas de carburo se caracterizan por su resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, además de una larga vida útil. Se utilizan ampliamente en el arenado, la pulverización, el corte por chorro de agua, la perforación petrolera, la industria química, la agricultura, el procesamiento de alimentos y otros campos.

Características principales de las boquillas de carburo

- Dureza: HRA 8892
- Precisión: tolerancia de boquilla ±0,001 mm, rugosidad superficial Ra 0,10,4 μm.
- Adaptabilidad: resistencia a temperaturas de 800 a 1000°C, resistencia a la corrosión pH 210.
- Eficiencia: Admite inyección de alta presión (0,1500 MPa), con una eficiencia aumentada en un 2050%.
- Vida útil: Excelente resistencia al desgaste, la vida útil es 515 veces mayor que la de los materiales comunes.
- Personalización: varios tipos (chorro de arena, atomización, fabricación de leche en polvo, etc.), adecuados para diversas condiciones de trabajo.

Principales tipos de boquillas de carburo

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Boquilla de chorro de arena Boquilla de chorro de arena	Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para chorro abrasivo.	Eliminación de óxido de barcos, desbarbado de piezas de automóviles y limpieza de hormigón.	Diámetro de la boquilla 212 mm, Longitud 50200 mm,
Boquilla de chorro de agua Boquilla de chorro de agua	Chorro de agua a alta presión, adecuado para cortar materiales duros.	Corte de aleación de titanio aeroespacial, corte de material compuesto automotriz, procesamiento de piedra.	El diámetro de la boquilla es de 0,12 mm. Longitud 20100 mm,
Boquilla de pulverización Boquilla de recubrimiento por pulverización	Pulverización precisa de pintura o revestimientos cerámicos.	Recubrimiento de álabes de turbinas de aviación, recubrimiento de motores de automóviles, pulverización de placas de circuitos electrónicos.	El diámetro de la boquilla es de 0,55 mm. Longitud 30150 mm,
Boquillas para yacimientos petrolíferos Boquilla para yacimientos petrolíferos	Alta resistencia a la presión y a la corrosión, adecuado para perforación con chorro de aire.	Inyección de fluidos de perforación petrolera, limpieza de pozos de gas natural, inyección de lodos mineros.	Diámetro de la boquilla 315 mm, Longitud 50150 mm,

Boquilla atomizadora Boquilla atomizadora	Spray fino atomizado, adecuado para dispersión de líquidos.	Pulverización de pesticidas agrícolas, atomización de líquidos químicos, tratamiento de gases residuales ambientales.	El diámetro de la boquilla es de 0,23 mm. Longitud 20100 mm,
Boquilla de combustión Boquilla del quemador	Diseño resistente a altas temperaturas, adecuado para inyección de combustible o gas.	Combustión de calderas de energía, reacción química a alta temperatura, inyección en horno metalúrgico.	Diámetro de la boquilla 110 mm, Longitud 30120 mm,
Microboquilla Microboquilla	Orificio de boquilla ultrapequeño, adecuado para inyección de alta precisión.	Aerosol de medicamentos médicos, limpieza de chips electrónicos, recubrimiento de precisión de aviación.	Diámetro de la boquilla 0,050,5 mm, longitud 1050
Boquillas resistentes a la corrosión Boquilla resistente a la corrosión	Resistente a ácidos y álcalis fuertes, adecuado para ambientes químicos.	Inyección de soluciones químicas de ácidos y álcalis, desulfuración y desnitrificación para protección del medio ambiente, inyección de agua de mar en ingeniería marina.	Diámetro de la boquilla 110 mm, Longitud 30150 mm,
Boquilla para la fabricación de leche en polvo Boquilla rociadora de leche en polvo	Especialmente diseñado para secado por aspersión para atomizar emulsiones de manera uniforme.	Producción de leche en polvo para procesamiento de alimentos, procesamiento de productos lácteos agrícolas, en cumplimiento con las normas de contacto con alimentos FDA/UE.	El diámetro de la boquilla es de 0,53 mm. Longitud 20100 mm,

GRUPO CTIA LTD.

3.er piso, n.º 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008

05925129595 , 18750234579

Correo electrónico: info@ctia.group

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

GRUPO CTIA LTD.

Procesamiento personalizado de matrices de estampación de carburo cementado

Las matrices de estampación de carburo se caracterizan por su resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, y su larga vida útil. Se utilizan ampliamente en la fabricación de automóviles, el procesamiento de componentes electrónicos, productos de hardware, la industria aeroespacial, equipos médicos y otros sectores.

Características principales de las matrices de estampación de carburo cementado

Dureza: HRA 8892.

Precisión: tolerancia del molde $\pm 0,001$ mm, rugosidad superficial Ra 0,10,4 μm .

Adaptabilidad: resistencia a temperaturas de 800 a 1000 $^{\circ}\text{C}$, resistencia a la corrosión pH 210.

Eficiencia: Admite estampado de alta frecuencia, con una eficiencia aumentada en un 2050%.

Vida útil: Excelente resistencia al desgaste, la vida útil es 515 veces mayor que la de los moldes comunes.

Personalización: Varios tipos (matriz de embutición, matriz de punzonado, matriz compuesta, etc.), adecuados para diversas condiciones de trabajo.

Principales tipos de matrices de estampación de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
matriz de estiramiento Troquel de dibujo	Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para el conformado por estiramiento de metal.	Estiramiento de paneles de carrocería de automóviles, contenedores metálicos y carcassas de aleación de aluminio.	El diámetro de la matriz es de 10200 mm, el espesor es de 20100 mm y la vida útil es de 502 millones de punzonados.
Troquel de corte Troquel de corte	Punzonado de alta precisión, adecuado para corte de placas delgadas.	Perforación de marcos conductores de componentes electrónicos, piezas de automóviles y accesorios de hardware.	El espacio entre matrices es de 0,010,1 mm, el espesor es de 1580 mm y la vida útil es de 301,5 millones de veces de estampado.
Molde compuesto Troquel compuesto	Estampado multipaso integrado, adecuado para piezas complejas.	Conectores aeroespaciales, piezas de equipos médicos y procesamiento compuesto de hardware de precisión.	El diámetro de la matriz es de 20150 mm, el espesor es de 20100 mm y la vida útil es de 401,8 millones de punzonados.
Matrices para yacimientos petrolíferos Matriz de yacimientos petrolíferos	Resistente a altas presiones y corrosión, adecuado para estampación con cargas pesadas.	Piezas de equipos de perforación petrolera, accesorios para tuberías de gas natural, piezas de maquinaria minera.	El diámetro de la matriz es de 30200 mm, el espesor es de 30120 mm y la vida útil es de 301,2 millones de veces de estampado.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Troquel de estampación de alta velocidad	Diseño resistente a altas temperaturas y alta frecuencia, adecuado para estampado rápido.	Sujetadores automotrices, conectores electrónicos, líneas de producción de estampado continuo de alta velocidad.	La matriz tiene un diámetro de 10100 mm, un espesor de 1580 mm y una vida útil de 602,5 millones de punzonados.
Modelo de carga pesada Troquel de alta resistencia	Diseño de alta resistencia, adecuado para estampación de placas gruesas.	Estampado de placas gruesas de piezas de maquinaria pesada, estructuras navales y herrajes para construcción.	El diámetro de la matriz es de 50300 mm, el espesor es de 30120 mm y la vida útil es de 301,2 millones de veces de estampado.
Micro molde Micro matriz	Tamaño ultrapequeño, adecuado para microestampado de alta precisión.	Micropiezas para dispositivos médicos, microconectores para electrónica y componentes para sensores de aviación.	La matriz tiene un diámetro de 550 mm, un espesor de 1040 mm y una vida útil de 20,8 millones de punzonados.
Molde resistente a la corrosión Matriz resistente a la corrosión	Resistente a ácidos fuertes y álcalis, adecuado para estampación en ambientes químicos.	Piezas de equipos químicos, accesorios de ingeniería marina y estampación de materiales corrosivos.	El diámetro de la matriz es de 15150 mm, el espesor es de 2080 mm y la vida útil es de 502 millones de punzonados.
Molde de grado alimenticio Troquel de grado alimenticio	Especialmente diseñado para la estampación de piezas relacionadas con alimentos, cumpliendo normas.	Los moldes para envasado de alimentos y las piezas de equipos de procesamiento de productos lácteos cumplen con los estándares de contacto con alimentos de la FDA/UE.	El diámetro de la matriz es de 10100 mm, el espesor es de 1580 mm y la vida útil es de 502 millones de punzonados.

GRUPO CTIA LTD.

3.er piso, n.º 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008
, 05925129595 18750234579 Correo electrónico: info@ctia.group

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

GRUPO CTIA LTD.

Procesamiento personalizado de engranajes de bolas de carburo

Los dientes de bola de carburo se caracterizan por su resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, además de una larga vida útil. Se utilizan ampliamente en minería, construcción de túneles, fresado de carreteras, perforación petrolera, ingeniería de la construcción, minería de carbón y otros campos.

Tipos principales de dientes de bola de carburo

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas mm
Selección de corte	Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para corte de rocas duras.	Minería de carbón, excavación de túneles y minería de roca dura.	Diámetro del diente 1050, longitud 50150
Diente tunelizado	Diseño de alta resistencia, adecuado para equipos de tunelización.	Túneles de metro, túneles ferroviarios y excavaciones de ingeniería subterránea.	Diámetro del diente 1560 Longitud 60180
Diente de fresado	Resistente a altas temperaturas y cortes de alta frecuencia, adecuado para fresado de carreteras.	Mantenimiento de carreteras, fresado de pistas, reparación de vías urbanas.	Diámetro del diente 830, longitud 40120
Perforación de dientes	Es resistente a la alta presión y a la corrosión y es adecuado para operaciones de perforación.	Perforación de petróleo, exploración de gas natural, estudios geológicos.	Diámetro del diente 1040, longitud 50140
Dientes de excavación rotatorios Diente de excavación rotatorio	Diseño de alta tenacidad, adecuado para equipos de perforación rotatoria.	Cimentación de pilotes de construcción, cimentación de puentes, construcción de terminales portuarias.	Diámetro del diente 2080, longitud 70200
Diente de minería de carbón	Diseño resistente a impactos, adecuado	Minas de carbón a cielo abierto, minería subterránea	Diámetro del diente 1550, longitud 50160

	para la minería de carbón.	de carbón, equipos de lavado de carbón.	
Micro diente	Tamaño ultrapequeño, adecuado para cortes de alta precisión.	Exploración geológica de precisión, equipos de microperforación y procesamiento de piezas de aviación.	Diámetro del diente 520, longitud 2080
Dientes resistentes a la corrosión Diente resistente a la corrosión	Resistente a ácidos y álcalis fuertes, adecuado para cortar en ambientes corrosivos.	Minería de fondos marinos, minería química de minerales, ingeniería de suelos ácidos.	Diámetro del diente 1050, longitud 50150
Diente de alta resistencia	Diseño de alta resistencia, adecuado para cortar materiales superduros.	Minas de roca dura, extracción de mineral de hierro, trituración de ingeniería a gran escala.	Diámetro del diente 20100, longitud 80220

GRUPO CTIA LTD.
3.er piso, n.º 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008
, 05925129595 18750234579 Correo electrónico: info@ctia.group

¿Qué es el molde de carburo?

Las matrices de carburo son herramientas de alto rendimiento diseñadas para el estampado, embutición, extrusión en frío y conformado de precisión de metales, diseñadas para el procesamiento eficiente de acero, metales no ferrosos y materiales no metálicos. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando así una alta eficiencia y durabilidad en condiciones de trabajo complejas, a alta presión y a alta velocidad. Como componente fundamental de la fabricación de precisión, el molde influye directamente en la precisión del producto, la calidad superficial y el coste de producción, y se utiliza ampliamente en piezas de automoción, componentes electrónicos y procesamiento mecánico. Basándose en la información más reciente sobre la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones del molde.

Propiedades físicas y químicas de los moldes de carburo cementado.

Los moldes de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión a $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente $0,8-1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico), y la tasa de fortalecimiento del límite de grano local es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del molde se personaliza según la aplicación, incluidos punzones, matrices o bloques de conformado, con un rango de tamaño de $5-50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ (dependiendo de la pieza de trabajo), y se instala en la base del molde (hecha de acero de aleación de alta resistencia, como Cr12MoV o D2, dureza de temple HRC $58-62 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $>800\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o fijación mecánica (fuerza de fijación $>15\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable a alta presión ($50-300\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$, valor pico de hasta $500\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o AlCrN, espesor $0,5-3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie de trabajo, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,2 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1,5\% \pm 0,5\%$). El diseño integra la mecánica de moldeo y la optimización de la conducción de calor, con un ángulo de entrada de $15^\circ-30^\circ \pm 5^\circ$ y un ángulo de inclinación posterior de $5^\circ-10^\circ \pm 2^\circ$, adecuado para una variedad de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

materiales con una resistencia a la tracción de 300-1000 MPa.

Características y principio de funcionamiento de los moldes de carburo cementado

Propiedades del material de los moldes de carburo cementado

WC proporciona alta dureza (HV 1800-2200 ± 30, localmente hasta 2400-2600 ± 50), y su estructura cristalina hexagonal da una excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación > 800 °C ± 20 °C, resistencia a la oxidación > 95% ± 2%); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12-16 MPa·m^{1/2} ± 0,5, valor pico hasta 18 MPa·m^{1/2} ± 0,5), y absorbe la energía del impacto (> 80 J ± 5 J, valor pico instantáneo > 200 J ± 10 J). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste < 0,04 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m (preferiblemente < 0,02 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m), densidad 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³, coeficiente de expansión térmica (CTE) 6×10⁻⁶ /°C ± 0,5×10⁻⁶ /°C. La adición de Cr₃C₂ genera una capa protectora de Cr₂O₃ (espesor < 0,1 μm ± 0,01 μm), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión < 0,01 mm/año ± 0,001 mm/año, resistencia al Cl⁻ > 3000 horas ± 100 horas); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura (> 900 °C ± 20 °C para mantener el 90 % ± 2 % de la dureza inicial, estabilidad térmica > 95 % ± 2 %).

Principio de funcionamiento

La matriz se forma en materiales metálicos o no metálicos mediante extrusión y cizallamiento bajo la acción de una máquina de estampación o un equipo de extrusión en frío (presión 50-300 MPa ± 10 MPa, velocidad 10-50 m/s ± 2 m/s, potencia 50-400 kW ± 50 kW). La superficie de trabajo está sometida a alta presión y carga térmica (temperatura superficial: 400-700 °C ± 50 °C, que alcanza instantáneamente 900 °C ± 50 °C). El acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción > 1300 MPa ± 50 MPa), conducción térmica (conductividad térmica: 40-50 W/m·K ± 2 W/m·K) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga: > 10⁶ veces ± 10⁵ veces, carga cíclica: > 200 MPa ± 20 MPa). El diseño de precisión del molde garantiza un control de tolerancia de ± 0,01 mm ± 0,005 mm y una rugosidad superficial de Ra < 0,2 μm ± 0,05 μm.

Al procesar acero con bajo contenido de carbono (resistencia a la tracción de 400 MPa), aleación de aluminio (500 MPa) y plástico duro (300 MPa), la vida útil optimizada del molde supera las 500-800 horas ± 50 horas (dependiendo de la dureza del material), y la eficiencia de producción alcanza las 1000-3000 piezas/h ± 100 piezas/h (hasta 4000 piezas/h ± 100 piezas/h, potencia > 300 kW ± 50 kW). El análisis SEM no muestra desgaste evidente en la superficie, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC (> 95 % ± 2 %), y la termografía muestra que la distribución de la tensión térmica es < 120 MPa ± 10 MPa.

Factores que afectan el rendimiento de los moldes de carburo cementado

El contenido de Co de

6%-12%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. <6%±1% conduce a un aumento del 10%±2% en la tasa de agrietamiento, >12%±1% reduce la dureza en un 5%±1% y aumenta la expansión térmica (CTE 6×10⁻⁶ /°C ± 0,5×10⁻⁶ /°C). Se prefiere 8%-10%±0,5% para equilibrar el rendimiento y el costo.

Tamaño de grano

0,5-1 μm ± 0,01 μm reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste < 0,02 mm³

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

/ N · m ± 0,01 mm³ / N · m), 1-1,5 μm ± 0,01 μm es adecuado para materiales de dureza media, >2 μm ± 0,01 μm aumenta la tasa de desgaste en un 15 % ± 3 % y reduce la tenacidad en un 10 % ± 2 %.

Ángulos geométricos

: el ángulo de matriz 15°-30° ± 5° optimiza la eficiencia de conformado (presión <50 MPa ± 5 MPa, consumo de energía <20 kWh/m³ ± 2 kWh/m³), >35° ± 5° reduce la eficiencia en un 10 % ± 2 %, <15° ± 5° conduce fácilmente a un riesgo de agrietamiento del 5 % ± 1 %.

Tratamiento de superficie:

un espesor de superficie de trabajo de 3-5 mm ± 0,1 mm mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil en un 20 % ± 3 %), un espesor inferior a 3 mm ± 0,1 mm reduce la vida útil en un 20 % ± 3 % y un espesor superior a 5 mm ± 0,1 mm aumenta el coste en un 15 % ± 2 %. El recubrimiento de TiAlN (espesor de 0,5-2 μm ± 0,1 μm, temperatura de deposición de 400-500 °C ± 20 °C) reduce el coeficiente de fricción (<0,25 ± 0,05) y mejora la resistencia térmica (>800 °C ± 20 °C). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC 58-62 ± 2, profundidad 2-4 mm ± 0,2 mm, temperatura de temple 850-900 °C ± 20 °C) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil de la base sin temprar se reduce en un 15 % ± 3 % y el revenido (200-250 °C ± 10 °C, 2-4 horas ± 0,5 horas) reduce la tensión residual en un 5 % ± 1 %.

La temperatura del entorno de trabajo

> 700 °C ± 50 °C reduce la dureza en un 3 % ± 1 %, el contenido de agua > 5 % ± 1 % o el contenido de impurezas > 3 % ± 0,5 % aumenta el desgaste en un 5 % ± 1 %, y el entorno que contiene Cl⁻ (concentración > 0,5 % ± 0,1 %) aumenta la tasa de corrosión a 0,015 mm/año ± 0,002 mm/año.

Tipos de matrices de carburo

Las matrices de estampación estándar

son aptas para acero con bajo contenido de carbono (resistencia a la tracción de 300-500 MPa), con un tamaño de 10-20 mm ± 1 mm, excelente resistencia al desgaste (vida útil >600 horas ± 50 horas) y se utilizan a menudo para placas de automóviles. En 2024, la eficiencia de producción de un proyecto automotriz fue de 2000 piezas/h ± 100 piezas/h.

Las matrices de estirado

son aptas para aleaciones de aluminio (500-700 MPa), con un tamaño de 15-30 mm ± 1 mm, alta resistencia al impacto (>100 J ± 10 J) y son adecuadas para carcasas electrónicas. En 2023, la vida útil de una fábrica de electrónica fue de 700 horas ± 50 horas.

Las matrices de extrusión en frío

se utilizan para acero de alta resistencia (800-1000 MPa), con un tamaño de 20-50 mm ± 1 mm, excelente resistencia a altas presiones (>300 MPa ± 10 MPa) y son aptas para el procesamiento de rodamientos. En 2025, un proyecto de rodamientos presentó una resistencia a la presión de 350 MPa ± 10 MPa.

Los moldes de moldeo especiales

incluyen modelos resistentes a altas temperaturas (>900 °C ± 20 °C manteniendo una temperatura del 95 % ± 2 %) y resistentes a la corrosión, aptos para materiales corrosivos o de alta temperatura, con una vida útil de 550 ± 50 horas en 2025.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación de matrices de carburo

Las piezas de automóvil

se utilizan para estampar láminas (resistencia a la tracción 300-500 MPa), con una vida útil de 600-800 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con las normas QC/T 480. En 2024, la precisión de un determinado proyecto automotriz fue de $\pm 0,01$ mm $\pm$ 0,005 mm.

Los componentes electrónicos

se utilizan para el estiramiento de aleaciones de aluminio (500-700 MPa), y la resistencia al impacto (> 80 J, pico 200 J ± 10 J) garantiza un conformado eficiente, de acuerdo con las normas IPC-6012. En 2023, la eficiencia de una determinada fábrica de electrónica fue de 2500 piezas/h $\pm$ 100 piezas/h.

El mecanizado

se utiliza para la extrusión en frío de acero de alta resistencia (800-1000 MPa), lo que reduce los residuos ($< 2\% \pm 0,5\%$) y cumple con la norma ISO 286. En 2024, la rugosidad superficial de una fábrica determinada era $Ra < 0,2$ μ m $\pm 0,05$ μ m. Los materiales que contienen sal se utilizan en

entornos corrosivos

, resistentes a la corrosión por agua de mar (> 4000 horas ± 100 horas, resistencia a una concentración de $Cl^- > 3,5\% \pm 0,5\%$), de acuerdo con la norma DNVGL-RP-C203. En 2025, la resistencia a la corrosión de un proyecto offshore determinado era $> 99\% \pm 1\%$.

El moldeo complejo

se utiliza para materiales de alta temperatura o alta dureza, con resistencia al desgaste $> 95\% \pm 2\%$, y la eficiencia de la prueba en 2025 es de 2800 piezas/h ± 100 piezas/h.

Las piezas aeroespaciales

se utilizan para el estampado de aleación de titanio (resistencia a la tracción 800-1200 MPa), con una vida útil de 500-700 horas ± 50 horas, en línea con el estándar AMS 4911. En 2024, la tolerancia de un cierto proyecto de aviación es de $\pm 0,01$ mm $\pm 0,005$ mm.

Los dispositivos médicos

se utilizan para la tracción de acero inoxidable (600-900 MPa), resistencia a la corrosión (> 3000 horas ± 100 horas), en línea con el estándar ISO 13485. En 2023, la eficiencia de una fábrica médica es de 1500 piezas/h ± 100 piezas/h.

El equipo de energía

se utiliza para la extrusión en frío de cuerpos de válvulas de alta presión (1000-1500 MPa), con resistencia a la presión (> 400 MPa ± 10 MPa), cumpliendo con los estándares API 6A. En 2025, la vida útil de un proyecto de energía es de 600 horas ± 50 horas.

La fabricación de electrodomésticos

se utiliza para el estiramiento de la carcasa de aluminio (400-600 MPa), con un acabado superficial $Ra < 0,1$ μ m $\pm 0,05$ μ m, en línea con los estándares IEC 60335. En 2024, la eficiencia de un proyecto de electrodomésticos es de 3000 piezas/h ± 100 piezas/h.

El hardware de construcción

se utiliza para la extrusión en frío de pernos de acero (700-900 MPa), lo que reduce el desperdicio ($< 1\% \pm 0,5\%$) y cumple con los estándares ASTM A307. En 2023, la productividad de un proyecto de construcción es de 2000 piezas/h ± 100 piezas/h.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro.

Los nuevos materiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

incorporan nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 ± 50), y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($>900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ para mantener el 95 % ± 2 %). Investigación en 2024: resistencia a la oxidación del recubrimiento de AlCrN (aumento de peso por oxígeno $<0,1 \text{ \%} \pm 0,05 \text{ \%}/\text{h}$). Sensor integrado

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0.05\%$) monitoreo en tiempo real del desgaste (profundidad $>1 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$) y temperatura ($<800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), optimiza el ciclo de reemplazo (error $<5\% \pm 1\%$), y una empresa lo probó con éxito en 2025.

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{-}60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar moldes complejos, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$, y la resistencia alcanzará los $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ en 2024.

Adaptabilidad ambiental:

Desarrollo de moldes resistentes a la corrosión y a la alta presión (resistencia a la presión $> 400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$), con una resistencia al calor que alcanzará el $98\% \pm 2\%$ para 2025. El reciclaje

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), conforme a la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para moldes de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

- QC/T 480 (Estándar de fabricación de piezas de automoción)
- IPC-6012 (Estándar de fabricación de componentes electrónicos)
- ISO 286 (Especificaciones y tolerancias geométricas del producto)
- DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)
- GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)
- JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)
- DIN 17350 (norma alemana de materiales metálicos)
- JIS B 4053 (norma japonesa de diseño de moldes)
- AMS 4911 (Estándar de aleación de titanio para la industria aeroespacial)
- ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)
- API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)

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



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
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

¿Qué son las herramientas de carburo?

Las herramientas de corte de carburo son herramientas de alto rendimiento diseñadas para el corte, conformado y procesamiento de metales. Se utilizan ampliamente en torneado, fresado, taladrado, estampación y otros procesos, y están diseñadas para procesar eficientemente acero, fundición, metales no ferrosos y materiales difíciles de procesar. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con un diseño geométrico optimizado y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando una alta eficiencia y una larga vida útil a alta velocidad, cargas elevadas y condiciones de trabajo complejas. Como componente clave en el mecanizado y la fabricación de moldes, las herramientas de corte de carburo afectan directamente la precisión del mecanizado, la calidad superficial y la eficiencia de la producción, y se utilizan ampliamente en los sectores automotriz, aeroespacial, energético y médico.

Propiedades físicas y químicas de las herramientas de carburo cementado

Las herramientas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de la herramienta se personaliza según la aplicación, incluyendo herramientas de torneado, fresas, brocas o punzones, con un ancho de filo de $2-20\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ y una longitud de $50-200\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, montada sobre un portaherramientas o base de molde (de acero de alta resistencia como H13 o Cr12MoV, dureza de temple HRC $50-62 \pm 2$). El método de fijación incluye sujeción mecánica (fuerza de sujeción $> 10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$) o soldadura (resistencia de soldadura $> 700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) para garantizar un funcionamiento estable bajo altas fuerzas o presiones de corte ($50-300\text{ N} \pm 10\text{ N}$, valor pico de hasta $400\text{ N} \pm 20\text{ N}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o Al_2O_3 , con un espesor de $0,5-4\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) al filo o superficie de trabajo, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,2 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño integra la mecánica de corte/conformado y la optimización de la conducción térmica, con un ángulo de ataque de $5^\circ-15^\circ \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2° y un ángulo de ataque posterior de $5^{\circ}-10^{\circ} \pm 2^{\circ}$, apto para diversos materiales con una resistencia a la tracción de 300-1500 MPa.

Características y principio de funcionamiento de las herramientas de carburo cementado

Propiedades del material de las herramientas de carburo cementado

WC proporciona alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor pico hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$), y absorbe la energía del impacto ($> 60\text{ J} \pm 5\text{ J}$, valor pico instantáneo $> 150\text{ J} \pm 10\text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,03\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $< 0,015\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01\text{ mm/año} \pm 0,001\text{ mm/año}$, resistencia a Cl^- $> 3000\text{ horas} \pm 100\text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento de las herramientas de carburo cementado.

Las herramientas procesan materiales por cizallamiento, fricción o extrusión bajo la acción de máquinas herramienta CNC, punzonadoras o equipos de conformado (velocidad de corte 50-300 m/min $\pm 10\text{ m/min}$ o presión 50-300 MPa $\pm 10\text{ MPa}$, potencia 30-400 kW $\pm 50\text{ kW}$). El filo o superficie de trabajo está sometida a altas fuerzas/presiones de corte y cargas térmicas (temperatura superficial $500-1000^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), y el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica $40-50\text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 150\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). El diseño de precisión de las herramientas garantiza un control de tolerancia de $\pm 0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$ y una rugosidad superficial $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$.

La prueba de rendimiento de las herramientas de carburo cementado

muestra que la vida útil optimizada de la herramienta supera las 300-600 horas ± 50 horas (dependiendo del proceso) al procesar acero 45# (resistencia a la tracción 600 MPa), aleación de aluminio (500 MPa), aleación de titanio (1000 MPa) o estampar acero con bajo contenido de carbono (400 MPa), y la eficiencia de corte/conformado alcanza los 100-500 cm $^3/\text{min} \pm 10\text{ cm}^3/\text{min}$ o 1000-3000 piezas/h ± 100 piezas/h (potencia $> 200\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$). El análisis SEM no muestra grietas obvias en el filo de corte, la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 120\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las herramientas de carburo cementado

El contenido de Co de

6%-12% $\pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del 10% $\pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5% $\pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Se prefiere 8%-10% $\pm 0,5\%$ para equilibrar el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para materiales de dureza media, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y reduce la tenacidad en un $10 \% \pm 2 \%$.

Ángulo geométrico

El ángulo de ataque de $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ o el ángulo de matriz de $15^\circ-30^\circ \pm 5^\circ$ optimizan la eficiencia de corte/conformado (fuerza de corte $<50 \text{ N} \pm 5 \text{ N}$ o presión $<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, consumo de energía $<15 \text{ kWh/m}^3 \pm 2 \text{ kWh/m}^3$), $>15^\circ \pm 2^\circ$ o $>35^\circ \pm 5^\circ$ reducen la eficiencia en un $10\% \pm 2\%$, $<5^\circ \pm 2^\circ$ o $<15^\circ \pm 5^\circ$ conducen fácilmente a un riesgo de astillamiento/fractura del $5\% \pm 1\%$. El espesor de la superficie de trabajo/borde

del tratamiento superficial

de $2-4 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (extensión de la vida útil en un $20\% \pm 3\%$), $<2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20\% \pm 3\%$, $>4 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el costo en un $15\% \pm 2\%$. El recubrimiento de TiAlN (espesor: $0,5-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición: $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,25 \pm 0,05$) y mejora la resistencia térmica ($>900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC: $50-62 \pm 2$, espesor: $1,5-4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple: $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) para mejorar el rendimiento del soporte. La vida útil de la base sin temprar se reduce en un $15 \% \pm 3 \%$, y el revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$.

Una temperatura ambiente de trabajo

$>800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, un contenido de agua $>5 \% \pm 1 \%$ o un contenido de impurezas $>3 \% \pm 0,5 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$, y un entorno con Cl^- (concentración $>0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Parámetros del equipo:

velocidad de corte $50-300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1-0,5 \text{ mm/r} \pm 0,05 \text{ mm/r}$ o presión $50-300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, potencia $30-400 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ afectan la vida útil y la eficiencia de la herramienta. Parámetros demasiado altos (límite superior $10 \% \pm 1 \%$) acortan la vida útil de la herramienta en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de herramientas de carburo

Las herramientas de torneado de carburo

son adecuadas para aceros con bajo contenido de carbono (resistencia a la tracción de $300-600 \text{ MPa}$), con un ancho de filo de $5-10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y una vida útil de $>400 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, y se utilizan a menudo para el mecanizado de ejes.

Las herramientas de fresado de carburo

son adecuadas para aleaciones de aluminio ($500-700 \text{ MPa}$), con un diámetro de $10-20 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, una fuerte resistencia al impacto ($>80 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$) y son adecuadas para el fresado plano.

Las herramientas de taladrado de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se utilizan para aceros de alta resistencia (800-1200 MPa), con un diámetro de 5-15 mm $\pm$ 0,5 mm, una excelente resistencia a la alta presión ($> 150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) y son adecuadas para el taladrado de agujeros profundos.

Las herramientas de estampado de carburo

son aptas para el estampado de acero con bajo contenido de carbono (400-600 MPa), con un tamaño de 10-30 mm $\pm$ 1 mm y resistencia al impacto ($> 100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$).

Las herramientas de carburo especiales

incluyen modelos resistentes a altas temperaturas ($> 900 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, manteniendo una temperatura del 95 % $\pm$ 2 %) y resistentes a la corrosión, ideales para aleaciones de titanio o aleaciones a base de níquel.

Aplicación de herramientas de carburo cementado

La fabricación de automóviles

se utiliza para el torneado de cilindros de motores (resistencia a la tracción de 600 a 800 MPa), vida útil de 400 a 600 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con los estándares QC/T 480.

La industria aeroespacial

se utiliza para el fresado de aleaciones de titanio (1000-1500 MPa), resistencia al impacto ($> 60 \text{ J}$, pico $150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$) para garantizar un corte eficiente, de acuerdo con los estándares AMS 4911.

El procesamiento de moldes

se utiliza para la perforación de moldes de acero (800-1000 MPa), lo que reduce los desechos ($< 2 \text{ } \pm 0,5 \text{ } \%$), cumpliendo con los estándares ISO 286.

El entorno corrosivo

se utiliza para el corte de acero inoxidable que contiene sal, resistencia a la corrosión del agua de mar ($> 4000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, resistencia a la concentración de $\text{Cl}^- > 3,5 \text{ } \pm 0,5 \text{ } \%$), de acuerdo con los estándares DNVGL-RP-C203.

El procesamiento complejo de materiales

se utiliza para el torneado de aleaciones a base de níquel (1200-1500 MPa), resistencia al desgaste $> 95\% \pm 2\%$, eficiencia de prueba en 2025.

El equipo de energía

se utiliza para el fresado de tuberías de perforación petrolera (1000-1300 MPa), resistencia a la presión ($> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$), cumpliendo con los estándares API 6A.

Los componentes electrónicos

se utilizan para la perforación de aleaciones de aluminio (400-600 MPa), acabado superficial $Ra < 0,1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$, cumpliendo con los estándares IPC-6012.

La fabricación ferroviaria

se utiliza para el torneado de rieles (700-900 MPa), lo que reduce el desperdicio ($< 1\% \pm 0,5\%$), cumpliendo con los estándares EN 13674.

La industria de construcción naval

se utiliza para el fresado de placas de acero para barcos (600-800 MPa), resistencia al impacto ($> 50 \text{ J}$, pico $120 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$), cumpliendo con los estándares ISO 8062.

Los equipos médicos

se utilizan para la perforación de acero inoxidable (600-900 MPa), con resistencia a la corrosión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(>3000 ± 100 horas), cumpliendo con la norma ISO 13485.

En la fabricación de electrodomésticos

se estampan carcasas de aluminio (400-600 MPa), con una rugosidad superficial de $Ra < 0,1 \pm 0,05 \mu m$, de acuerdo con la norma IEC 60335.

En herrajes arquitectónicos

se estampan pernos de acero (700-900 MPa), lo que reduce el desperdicio ($< 1 \% \pm 0,5 \%$), cumpliendo con la norma ASTM A307.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de las herramientas de carburo cementado

Los nuevos materiales

incorporan nano-WC (grano $< 0,5 \mu m \pm 0,01 \mu m$) para mejorar la dureza ($HV 2200-2600 \pm 50$), y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($> 900^\circ C \pm 20^\circ C$ para mantener el $95 \% \pm 2 \%$). Investigación en 2024: Propiedad antioxidante del recubrimiento de Al_2O_3 (aumento de peso del oxígeno $< 0,1 \% \pm 0,05 \% / h$). El sensor integrado

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0.05\%$) monitorea el desgaste (profundidad $> 0.8 mm \pm 0.05 mm$) y la temperatura ($< 900^\circ C \pm 20^\circ C$) en tiempo real, optimiza el ciclo de reemplazo (error $< 5\% \pm 1\%$), y una empresa lo probó con éxito en 2025.

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40-60 \mu m \pm 5 \mu m$) para fabricar herramientas complejas, reduciendo el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$ y alcanzando una resistencia de $1500 MPa \pm 50 MPa$ en 2024.

Adaptabilidad ambiental

Desarrollo de herramientas resistentes a la corrosión y a la alta presión (resistencia a la presión $> 250 MPa \pm 10 MPa$), reciclaje de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$), reduciendo la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), en cumplimiento con las normas ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para herramientas de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

- QC/T 480 (Estándar de fabricación de piezas de automoción)
- AMS 4911 (Estándar de aleación de titanio para la industria aeroespacial)
- ISO 286 (Especificaciones y tolerancias geométricas del producto)
- DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)
- GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)
- JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)
- DIN 17350 (norma alemana de materiales metálicos)
- JIS B 4053 (norma japonesa de diseño de moldes)
- API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)
- IPC-6012 (Estándar de fabricación de componentes electrónicos)
- EN 13674 (norma ferroviaria)
- ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)

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

ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

IEC 60335 (Norma de seguridad para electrodomésticos)

ASTM A307 (Norma para pernos de construcción)



1

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

¿Qué son las herramientas de corte de carburo?

Las herramientas de corte de carburo son herramientas altamente eficientes diseñadas para corte, torneado, fresado y taladrado de metales, diseñadas para el procesamiento eficiente de acero, fundición, metales no ferrosos y materiales difíciles de procesar. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con una geometría optimizada de la herramienta y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando una alta eficiencia y una larga vida útil a alta velocidad, cargas elevadas y condiciones de trabajo complejas. Como componente clave del procesamiento mecánico, las herramientas de corte afectan directamente la precisión del procesamiento, la calidad de la superficie y la eficiencia de la producción, y se utilizan ampliamente en la fabricación de automóviles, la industria aeroespacial y el procesamiento de moldes. Basándose en la información más reciente sobre toda la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las herramientas de corte.

Propiedades físicas y químicas de las herramientas de corte de carburo cementado.

Las herramientas de corte de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen la sinterización por plasma de chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$) o prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de la herramienta se personaliza según los requisitos de procesamiento, incluyendo herramientas de torneado, fresas o brocas, con un ancho de filo de $2-20\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ y una longitud de $50-150\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, montadas en un portaherramientas (de acero de alta resistencia como H13 o M2, con una dureza de temple HRC de $50-58 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen sujeción mecánica (fuerza de sujeción $> 10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$) o soldadura (resistencia de soldadura $> 700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) para garantizar un funcionamiento estable bajo altas fuerzas de corte ($50-200\text{ N} \pm 10\text{ N}$, valor máximo de hasta $300\text{ N} \pm 20\text{ N}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o Al_2O_3 , con un espesor de $0,5-4\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie del filo, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,2 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño integra la mecánica de corte y optimiza la conducción térmica, con un ángulo de ataque de $5^{\circ}-15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ y un ángulo de retroceso de $5^{\circ}-10^{\circ} \pm 2^{\circ}$, apto para diversos materiales con una resistencia a la tracción de 300-1500 MPa.

Características

de las herramientas de corte de carburo cementado WC proporciona alta dureza (HV 1800-2200 ± 30 , localmente hasta 2400-2600 ± 50), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12-16 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor pico hasta 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$), y absorbe la energía del impacto ($> 60\text{ J} \pm 5\text{ J}$, valor pico instantáneo $> 150\text{ J} \pm 10\text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (preferiblemente $< 0,015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), densidad 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1\text{ g}/\text{cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01\text{ mm}/\text{año} \pm 0,001\text{ mm}/\text{año}$, resistencia a Cl^- $> 3000\text{ horas} \pm 100\text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento de las herramientas de corte de carburo cementado.

La herramienta elimina material por cizallamiento y fricción bajo la acción de máquinas herramienta CNC o tornos (velocidad de corte 50-300 $\text{m}/\text{min} \pm 10\text{ m}/\text{min}$, velocidad de avance 0,1-0,5 $\text{mm}/\text{r} \pm 0,05\text{ mm}/\text{r}$, potencia 30-250 $\text{kW} \pm 50\text{ kW}$). El filo está sometido a altas fuerzas de corte y cargas térmicas (temperatura superficial $500-900^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, instantánea hasta $1000^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$), y el acero del mango de la herramienta proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica $40-50\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K} \pm 2\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 150\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). El diseño de precisión de la herramienta garantiza que la tolerancia se controle dentro de $\pm 0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$ y la rugosidad de la superficie $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$.

El rendimiento de las herramientas de corte de carburo cementado

está optimizado para tener una vida útil de más de 300-600 horas ± 50 horas (dependiendo de la dureza del material) al procesar acero 45# (resistencia a la tracción 600 MPa), aleación de aluminio (500 MPa) y aleación de titanio (1000 MPa), con una eficiencia de corte de 100-500 $\text{cm}^3/\text{min} \pm 10\text{ cm}^3/\text{min}$ (hasta 600 $\text{cm}^3/\text{min} \pm 10\text{ cm}^3/\text{min}$, potencia $> 200\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$). El análisis SEM no muestra agrietamiento obvio del filo de corte, la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 100\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las herramientas de corte de carburo cementado

El contenido de Co 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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

6%-12%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. <6%±1% conduce a un aumento del 10%±2% en la tasa de agrietamiento, >12%±1% reduce la dureza en un 5%±1% y aumenta la expansión térmica ($CTE\ 6\times 10^{-6}/^{\circ}C\pm 0,5\times 10^{-6}/^{\circ}C$). Se prefiere 8%-10%±0,5% para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano de

0,5-1 $\mu m\pm 0,01\ \mu m$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste <0,015 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m), 1-1,5 $\mu m\pm 0,01\ \mu m$ es adecuado para materiales de dureza media, >2 $\mu m\pm 0,01\ \mu m$ aumenta la tasa de desgaste en un 15 % ± 3 % y reduce la tenacidad en un 10 % ± 2 %. El ángulo de ataque

geométrico

de 5°-15° ± 2° optimiza la eficiencia de corte (fuerza de corte <50 N ± 5 N, consumo de energía <15 kWh/m³ ± 2 kWh/m³), >15° ± 2° reduce la eficiencia en un 10 % ± 2 %, <5° ± 2° conduce fácilmente a un riesgo de astillado del 5 % ± 1 %. Un espesor del borde

tratado superficialmente

de 2-4 mm ± 0,1 mm mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil un 20 % ± 3 %), un espesor inferior a 2 mm ± 0,1 mm la acorta un 20 % ± 3 % y un espesor superior a 4 mm ± 0,1 mm aumenta el coste un 15 % ± 2 %. El recubrimiento de TiAlN (espesor de 0,5-2 $\mu m\pm 0,1\ \mu m$, temperatura de deposición de 400-500 °C ± 20 °C) reduce el coeficiente de fricción (<0,25 ± 0,05) y mejora la resistencia térmica (>900 °C ± 20 °C). El temple del acero de vástago

tratado térmicamente

(dureza HRC 50-58 ± 2, profundidad 1,5-3 mm ± 0,2 mm, temperatura de temple 850-900 °C ± 20 °C) mejora el rendimiento del soporte, reduce la vida útil de los vástagos no templados en un 15 % ± 3 % y el revenido (200-250 °C ± 10 °C, 2-4 horas ± 0,5 horas) reduce la tensión residual en un 5 % ± 1 %. Una temperatura

ambiente de trabajo

> 800 °C ± 50 °C reduce la dureza en un 3 % ± 1 %, un contenido de agua > 5 % ± 1 % o un contenido de impurezas > 3 % ± 0,5 % aumenta el desgaste en un 5 % ± 1 % y un entorno que contiene Cl⁻ (concentración > 0,5 % ± 0,1 %) aumenta la tasa de corrosión a 0,015 mm/año ± 0,002 mm/año.

Parámetros del equipo:

velocidad de corte 50-300 m/min ± 10 m/min, avance 0,1-0,5 mm/r ± 0,05 mm/r, potencia 30-250 kW ± 50 kW, lo que afecta la vida útil y la eficiencia de la herramienta. Parámetros demasiado altos (>límite superior 10 % ± 1 %) reducen la vida útil de la herramienta en un 15 % ± 2 %.

Tipos de herramientas de corte de carburo

Las herramientas de torneado estándar

son aptas para aceros con bajo contenido de carbono (resistencia a la tracción de 300-600 MPa), con un ancho de filo de 5-10 mm ± 0,5 mm y una vida útil de > 400 horas ± 50 horas, y se utilizan a menudo para el mecanizado de ejes.

Las herramientas de fresado

son aptas para aleaciones de aluminio (500-700 MPa), con un diámetro de 10-20 mm ± 0,5 mm, una alta resistencia al impacto (> 80 J ± 5 J) y son aptas para el fresado plano. Las brocas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se

utilizan para aceros de alta resistencia (800-1200 MPa), con un diámetro de 5-15 mm $\pm$ 0,5 mm, una excelente resistencia a la alta presión (> 150 MPa $\pm$ 10 MPa) y son aptas para el taladrado de agujeros profundos.

Las herramientas de corte especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas (> 900 °C $\pm$ 20 °C para mantener el 95 % $\pm$ 2 %) y resistentes a la corrosión, adecuadas para aleaciones de titanio o aleaciones a base de níquel.

Aplicación de herramientas de corte de carburo cementado

Fabricación de automóviles

, utilizado para torneado de cilindros de motor (resistencia a la tracción 600-800 MPa), vida útil 400-600 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con los estándares QC/T 480.

El sector aeroespacial

se utiliza para el fresado de aleaciones de titanio (1000-1500 MPa), con resistencia al impacto (>60 J, pico 150 J $\pm$ 10 J) para garantizar un corte eficiente, de acuerdo con las normas AMS 4911.

El procesamiento de moldes

se utiliza para la perforación de moldes de acero (800-1000 MPa), lo que reduce los residuos (<2 % $\pm$ 0,5 %) y cumple con las normas ISO 286.

El entorno corrosivo

se utiliza para el corte de acero inoxidable con contenido de sal, con resistencia a la corrosión del agua de mar (>4000 horas $\pm$ 100 horas, resistencia a la concentración de $\text{Cl}^- > 3,5$ % $\pm$ 0,5 %), de acuerdo con las normas DNVGL-RP-C203.

El procesamiento de materiales complejos

se utiliza para el torneado de aleaciones a base de níquel (1200-1500 MPa), con resistencia al desgaste > 95 % $\pm$ 2 %.

Se utilizan equipos de energía para fresado de tuberías de perforación petrolera (1000-1300 MPa), resistencia a la presión (>200 MPa $\pm$ 10 MPa), cumpliendo con los estándares API 6A.

Los componentes electrónicos

se aplican a la perforación de aleación de aluminio (400-600 MPa), con acabado superficial $\text{Ra} < 0,1$ $\mu\text{m} \pm 0,05$ μm , de acuerdo con la norma IPC-6012.

Fabricación ferroviaria

para torneado de carriles (700-900 MPa) con reducción de chatarra ($<1\% \pm 0,5\%$), cumpliendo norma EN 13674.

Industria de construcción naval

: se utiliza para fresado de placas de acero para barcos (600-800 MPa), resistencia al impacto (>50 J, pico 120 J $\pm$ 10 J), de acuerdo con ISO 8062.

Equipos médicos:

se utiliza para taladrar acero inoxidable (600-900 MPa), resistencia a la corrosión (>3000 horas $\pm$ 100 horas), de acuerdo con ISO 13485.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de las herramientas de corte de carburo cementado

Nuevos materiales

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

La introducción de nano-WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mejora la dureza (HV 2200-2600 ± 50), y la adición de TaC y NbC mejora la estabilidad a altas temperaturas ($>900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ mantiene un 95 % ± 2 %). Los sensores integrados

de monitorización inteligente

(precisión $\pm 0,05$ %) monitorizan el desgaste (profundidad $> 0,8 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y la temperatura ($<900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) en tiempo real, optimizando los ciclos de reemplazo (error $< 5\% \pm 1\%$).

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{-}60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar herramientas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un 10 % ± 2 %.

La adaptabilidad ambiental

desarrolla herramientas resistentes a la corrosión y a la alta presión (resistencia a la presión $> 250 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) El reciclaje

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de emisiones de CO_2 20% $\pm 3\%$), de acuerdo con las normas ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para herramientas de corte de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

- QC/T 480 (Estándar de fabricación de piezas de automoción)
- AMS 4911 (Estándar de aleación de titanio para la industria aeroespacial)
- ISO 286 (Especificaciones y tolerancias geométricas del producto)
- DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)
- GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)
- JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)
- DIN 17350 (norma alemana de materiales metálicos)
- JIS B 4053 (norma japonesa de diseño de moldes)
- API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)
- IPC-6012 (Estándar de fabricación de componentes electrónicos)
- EN 13674 (norma ferroviaria)
- ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)
- ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

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

¿Qué es una matriz de extrusión de carburo?

Las matrices de extrusión de carburo son herramientas de alto rendimiento diseñadas para la extrusión en frío, la extrusión en caliente y el moldeo de precisión, diseñadas para procesar eficientemente acero de alta resistencia, metales no ferrosos y piezas de formas complejas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinados con una estructura geométrica optimizada y un recubrimiento resistente al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando una alta eficiencia y una larga vida útil en condiciones de trabajo complejas, a alta presión y temperatura. Como componente clave en la fabricación de precisión, las matrices de extrusión de carburo se utilizan ampliamente en piezas de transmisión automotriz, piezas estructurales de aviación y la fabricación de conectores electrónicos, gracias a su rendimiento y fiabilidad inigualables, lo que influye directamente en la precisión de las piezas, la calidad superficial y los costos de producción. El progreso tecnológico de la industria en 2025 aumentó aún más su potencial de aplicación, y los datos más recientes muestran que su rendimiento en el procesamiento de materiales de alta resistencia es particularmente sobresaliente.

Propiedades físicas y químicas de las matrices de extrusión de carburo cementado

. Las matrices de extrusión de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $8\%-12\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de la matriz se personaliza según los requisitos de extrusión, incluyendo el cilindro de extrusión, el punzón o la matriz, con un rango de tamaño de $10-50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ (según la pieza), montado sobre la base de la matriz (fabricada en acero de aleación de alta resistencia, como H13 o D2, con una dureza de temple HRC $50-58 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen soldadura por inducción de alta frecuencia (temperatura $1200-1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia de la soldadura $> 800\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) o fijación mecánica (fuerza de fijación $> 15\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$), lo que garantiza un funcionamiento estable a alta presión ($200-500\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$, valor pico de hasta $600\text{ MPa} \pm 30\text{ MPa}$). La superficie de trabajo puede recubrirse con múltiples capas (como TiN, TiAlN o AlCrN, con un espesor de $1-3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$), lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,2 \pm 0,05$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y mejora la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1,5\% \pm 0,5\%$). El diseño integra mecánica de extrusión y optimización de la conducción térmica, con un ángulo de entrada de $15^{\circ}\text{-}30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y un ángulo de inclinación posterior de $5^{\circ}\text{-}10^{\circ} \pm 2^{\circ}$, apto para diversos materiales con una resistencia a la tracción de 600-1500 MPa.

Características de las matrices de extrusión de carburo cementado

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto ($>100\text{ J} \pm 10\text{ J}$, valor máximo instantáneo $>250\text{ J} \pm 20\text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,04\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,02\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr $_3$ C $_2$ genera una capa protectora de Cr $_2$ O $_3$ (espesor $<0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01\text{ mm/año} \pm 0,001\text{ mm/año}$, resistencia a Cl $^{-}$ $>3000\text{ horas} \pm 100\text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($>900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $>95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento de la matriz de extrusión de carburo cementado

La matriz se utiliza para formar materiales metálicos por extrusión y deformación plástica bajo la acción de una prensa hidráulica o un equipo de extrusión (presión 200-500 MPa $\pm 20\text{ MPa}$, velocidad 5-20 m/s $\pm 2\text{ m/s}$, potencia 100-500 kW $\pm 50\text{ kW}$). La superficie de trabajo está sujeta a alta presión y carga térmica (temperatura de la superficie $500\text{-}1000^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, hasta $1100^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ durante la extrusión en caliente), y el acero base proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $>1300\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W/m $\cdot\text{K} \pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $>10^6\text{ veces} \pm 10^5\text{ veces}$, carga cíclica $>250\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). El diseño de precisión del molde garantiza que la tolerancia se controle en $\pm 0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$ y la rugosidad de la superficie $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$.

El rendimiento de las matrices de extrusión de carburo cementado

está optimizado para tener una vida útil de más de 400-700 horas $\pm 50\text{ horas}$ al procesar acero de alta resistencia (1000 MPa), aleación de aluminio (600 MPa) o aleación de cobre (500 MPa), y una eficiencia de producción de 500-2000 piezas/h $\pm 100\text{ piezas/h}$ (hasta 2500 piezas/h $\pm 100\text{ piezas/h}$, potencia $>400\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$). El análisis SEM no muestra desgaste obvio en la superficie, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($>95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $<150\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las matrices de extrusión de carburo cementado

El contenido de Co de

8%-12% $\pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $<8\% \pm 1\%$ conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento de 10% $\pm 2\%$. $>12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en 5% $\pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Se prefiere 9%-11% $\pm 0,5\%$ para equilibrar el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rendimiento y el costo.

Tamaño de grano

0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,02 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), 1-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para materiales de dureza media, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y reduce la tenacidad en un $10 \% \pm 2 \%$.

Ángulos geométricos

: el ángulo de matriz $15^\circ\text{-}30^\circ \pm 5^\circ$ optimiza la eficiencia de extrusión (presión $<200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, consumo de energía $<25 \text{ kWh/m}^3 \pm 2 \text{ kWh/m}^3$), $>35^\circ \pm 5^\circ$ reduce la eficiencia en un $10 \% \pm 2 \%$, $<15^\circ \pm 5^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de agrietamiento del $5 \% \pm 1 \%$.

Tratamiento de superficie:

un espesor de superficie de trabajo de $3\text{-}5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolongación de la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$), $<3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$, $>5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ El costo de mm aumenta en un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento de TiAlN (espesor $1\text{-}2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $400\text{-}500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,25 \pm 0,05$) y mejora la resistencia al calor ($>1000^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). El acero base

tratado térmicamente

se temple (dureza HRC $50\text{-}58 \pm 2$, profundidad $2\text{-}4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850\text{-}900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) para mejorar el rendimiento de soporte, la vida útil de la base sin templear se reduce en un $15 \% \pm 3 \%$ y el revenido ($200\text{-}250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2\text{-}4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$.

La temperatura del entorno de trabajo

$> 1000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, el contenido de agua $> 5 \% \pm 1 \%$ o el contenido de impurezas $> 3 \% \pm 0,5 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$, y el entorno que contiene Cl^- (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo

(presión de $200\text{-}500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$, velocidad de $5\text{-}20 \text{ m/s} \pm 2 \text{ m/s}$ y potencia de $100\text{-}500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$) afectan la vida útil y la eficiencia del molde. Un exceso de parámetros (superior al límite superior del $10 \% \pm 1 \%$) reduce la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de matrices de extrusión de carburo Las

matrices de extrusión en frío son adecuadas para acero de alta resistencia ($800\text{-}1200 \text{ MPa}$), con un tamaño de $20\text{-}50 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, excelente resistencia a alta presión ($> 400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) y se utilizan a menudo para ejes de transmisión.

Las matrices de extrusión en caliente

son adecuadas para aleaciones de aluminio ($500\text{-}700 \text{ MPa}$), con un tamaño de $15\text{-}40 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, fuerte resistencia a alta temperatura ($> 1000^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ para mantener el $95 \% \pm 2 \%$), y se utilizan para piezas estructurales de aviación.

Las matrices de conformado de precisión

se utilizan para aleaciones de cobre o acero inoxidable ($600\text{-}1000 \text{ MPa}$), con un tamaño de $10\text{-}30 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, alta precisión (tolerancia $\pm 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$) y son adecuadas para conectores

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electrónicos.

Las matrices de extrusión especiales

incluyen tipos resistentes a la corrosión y de presión ultra alta (resistencia a la presión $>500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), adecuados para entornos extremos.

Aplicación de matrices de extrusión de carburo

Las piezas de transmisión automotriz

se utilizan para la extrusión en frío de ejes de transmisión ($1000\text{-}1200 \text{ MPa}$), con una vida útil de $500\text{-}700 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, en línea con los estándares QC/T 480.

Las piezas estructurales de aviación

se utilizan para la extrusión en caliente de aleaciones de aluminio ($500\text{-}700 \text{ MPa}$), y la resistencia a altas temperaturas ($>1000 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) garantiza un conformado eficiente, en línea con los estándares AMS 4911.

Los conectores electrónicos

se utilizan para la extrusión de precisión de aleaciones de cobre ($500\text{-}800 \text{ MPa}$), con una rugosidad superficial de $R_a < 0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$, cumpliendo con los estándares IPC-6012.

El equipo de energía

se utiliza para la extrusión de cuerpos de válvulas de alta presión ($1200\text{-}1500 \text{ MPa}$), con resistencia a la presión ($>500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), de acuerdo con las normas API 6A.

El entorno corrosivo

es adecuado para la extrusión de acero inoxidable con contenido de sal, anticorrosión por agua de mar ($>4000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, resistencia a la concentración de $\text{Cl}^- > 3,5 \% \pm 0,5 \%$), de acuerdo con la norma DNVGL-RP-C203.

Los dispositivos médicos

se utilizan para la extrusión de precisión de acero inoxidable ($600\text{-}900 \text{ MPa}$), resistencia a la corrosión ($>3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$), de acuerdo con la norma ISO 13485.

Los componentes ferroviarios

se utilizan para la extrusión en frío de bujes de acero ($800\text{-}1000 \text{ MPa}$), lo que reduce el desperdicio ($<2 \% \pm 0,5 \%$), cumpliendo con la norma EN 13674.

La industria de la construcción naval

se utiliza para la extrusión en caliente de aleaciones de aluminio para aplicaciones marinas ($500\text{-}700 \text{ MPa}$), con resistencia al impacto ($>100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$), de acuerdo con la norma ISO 8062. Se utilizan

herrajes de construcción

para la extrusión de tuercas de acero ($700\text{-}900 \text{ MPa}$), con un acabado superficial $R_a < 0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$, de acuerdo con la norma ASTM A307.

En la fabricación de electrodomésticos,

se utiliza la extrusión en frío de carcasas de aluminio ($400\text{-}600 \text{ MPa}$), con una precisión de $\pm 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$, de acuerdo con la norma IEC 60335.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de matrices de extrusión de carburo cementado Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano $<0,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$) para mejorar la dureza ($\text{HV } 2200\text{-}2600 \pm 50$) 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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura ($>1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para mantener el $95\% \pm 2\%$). Los sensores integrados

de monitorización inteligente

(precisión $\pm 0,05\%$) monitorizan el desgaste (profundidad $> 1\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la temperatura ($<1100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) en tiempo real y optimizan los ciclos de sustitución (error $< 5\% \pm 1\%$). La

tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{-}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) para fabricar moldes complejos, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

La adaptabilidad ambiental

permite desarrollar moldes resistentes a la corrosión y a presiones ultraaltas (resistencia a la presión $>600\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). El reciclaje

sostenible

del polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), de acuerdo con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales pertinentes

QC/T 480 (Normas de fabricación de piezas de automoción)

AMS 4911 (Estándar de aleación de titanio para la industria aeroespacial)

IPC-6012 (Estándar de fabricación de componentes electrónicos)

ISO 286 (Especificaciones y tolerancias geométricas del producto)

DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)

GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)

DIN 17350 (norma alemana de materiales metálicos)

API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)

ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)



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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

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

Sellos de carburo para control de fluidos.

Los sellos de carburo para control de fluidos son componentes de sellado de alto rendimiento diseñados para entornos de alta presión, alta corrosión y alta temperatura, y se utilizan ampliamente en los sectores del petróleo y el gas, la industria química, la aeroespacial y el tratamiento de aguas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y recubrimientos resistentes a la corrosión, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas, asegurando el mantenimiento de la integridad del sellado y la fiabilidad a largo plazo en condiciones de trabajo extremas. Como componente clave en el sistema de control de fluidos, los sellos de carburo se han convertido en protectores fiables en entornos de ingeniería complejos gracias a sus características de resistencia y rendimiento de alta eficiencia, lo que afecta directamente la eficiencia del sistema, la tasa de fugas y la vida útil del equipo.

Propiedades físicas y químicas de los sellos de control de fluidos de carburo cementado.

Los sellos de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-10\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ } \mu\text{m}$ y $2\text{ } \mu\text{m} \pm 0,01\text{ } \mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ } \mu\text{m}$ y $1,2\text{ } \mu\text{m} \pm 0,01\text{ } \mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del sello se personaliza según los requisitos de la aplicación, incluyendo sellos anulares, asientos de válvula o manguitos, con un rango de tamaño de $5-50\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ (según la tubería), instalados sobre un sustrato de acero inoxidable o aleación de titanio (resistencia a la tracción $>1000\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, dureza HRC $40-50 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen ajuste a presión mecánico (fuerza de ajuste a presión $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$) o soldadura de alta frecuencia (resistencia de soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), lo que garantiza un funcionamiento estable a alta presión ($50-300\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$, valor pico de hasta $400\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, CrN o WC/C, con un espesor de $0,5-2\text{ } \mu\text{m} \pm 0,1\text{ } \mu\text{m}$) a la superficie de sellado, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño combina mecánica de fluidos y optimización de la conducción térmica, con un ángulo de contacto de $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ y es apto para temperaturas de funcionamiento de $-50\text{ }^\circ\text{C}$ a $500\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.

Propiedades materiales de los sellos de control de fluidos de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC proporciona alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de oxidación > 800 °C $\pm$ 20 °C, resistencia a la oxidación > 95% $\pm$ 2%); Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0,5, valor pico hasta 18 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0,5) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto (> 50 J $\pm$ 5 J, valor pico instantáneo > 120 J $\pm$ 10 J). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste < 0,03 mm³ / N $\cdot$ m $\pm$ 0,01 mm³ / N $\cdot$ m (preferiblemente < 0,015 mm³ / N $\cdot$ m $\pm$ 0,01 mm³ / N $\cdot$ m), densidad 14,8-15,2 g/cm³ $\pm$ 0,1 g/cm³, coeficiente de expansión térmica (CTE) 6×10^{-6} /°C $\pm$ $0,5 \times 10^{-6}$ /°C. La adición de Cr₃C₂ genera una capa protectora de Cr₂O₃ (espesor < 0,1 μ m $\pm$ 0,01 μ m), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión < 0,01 mm/año $\pm$ 0,001 mm/año, resistencia a Cl⁻ > 5000 horas $\pm$ 200 horas); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura (> 900°C $\pm$ 20°C mantiene el 90% $\pm$ 2% de la dureza inicial, estabilidad térmica > 95% $\pm$ 2%).

Principio de funcionamiento de los sellos de control de fluidos de carburo cementado Los sellos evitan fugas de fluido mediante contacto cercano y deformación elástica bajo la acción de válvulas, bombas o sistemas de tuberías (presión 50-300 MPa $\pm$ 10 MPa, caudal 1-10 m/s $\pm$ 1 m/s, potencia 50-300 kW $\pm$ 50 kW). La superficie de sellado está sometida a alta presión y carga térmica (temperatura de la superficie -50 °C a 500 °C $\pm$ 20 °C, extrema hasta 600 °C $\pm$ 30 °C), y el material de la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción > 1000 MPa $\pm$ 50 MPa), conducción de calor (conductividad térmica 30-40 W/m $\cdot$ K $\pm$ 2 W/m $\cdot$ K) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga > 10⁶ veces $\pm$ 10⁵ veces, carga cíclica > 150 MPa $\pm$ 20 MPa). El diseño de precisión del sello garantiza que la tolerancia se controle en $\pm$ 0,005 mm $\pm$ 0,002 mm, la rugosidad de la superficie Ra < 0,1 μ m $\pm$ 0,05 μ m y la tasa de fuga sea < 0,001 ml/min $\pm$ 0,0005 ml/min.

El rendimiento de los sellos de control de fluidos de carburo cementado está optimizado para tener una vida útil de más de 500-800 horas $\pm$ 50 horas al

procesar gas natural a alta presión (200 MPa), agua de mar (conteniendo Cl⁻ > 3% $\pm$ 0,5%) o vapor a alta temperatura (400 °C $\pm$ 20 °C), y una eficiencia de sellado del 99,99% $\pm$ 0,01% (tasa de fuga < 0,001 ml/min $\pm$ 0,0005 ml/min). El análisis SEM no muestra desgaste evidente en la superficie, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC (> 95% $\pm$ 2%), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es < 100 MPa $\pm$ 10 MPa.

Factores que afectan el rendimiento de los sellos de control de fluido de carburo cementado El contenido de Co de

6%-10% $\pm$ 1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, < 6% $\pm$ 1% conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento de 10% $\pm$ 2%, > 10% $\pm$ 1% reduce la dureza en 5% $\pm$ 1% y aumenta la expansión térmica (CTE 6×10^{-6} /°C $\pm$ $0,5 \times 10^{-6}$ /°C), y se prefiere 7%-9% $\pm$ 0,5% para tener en cuenta tanto el rendimiento como el costo.

Un tamaño de grano de

0,5-1 μ m $\pm$ 0,01 μ m reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste < 0,015 mm³ / N $\cdot$ m $\pm$ 0,01 mm³ / N $\cdot$ m), un tamaño de grano de 1-1,5 μ m $\pm$ 0,01 μ m es adecuado para entornos de presión media, un tamaño de grano > 2 μ m $\pm$ 0,01 μ m aumenta la tasa de desgaste en un 15 % $\pm$ 3 % y reduce la tenacidad en un 10 % $\pm$ 2 %. Un ángulo de contacto

geométrico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 5° - $15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ optimiza el rendimiento del sellado (tasa de fuga $<0,001 \text{ ml/min} \pm 0,0005 \text{ ml/min}$), un tamaño de grano $>15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ reduce la eficiencia del sellado en un $5 \% \pm 1 \%$, y un tamaño de grano $<5^{\circ} \pm 2^{\circ}$ puede provocar un riesgo de contacto desigual del $5 \% \pm 1 \%$.

El tratamiento superficial

de sellado con un espesor de $2-3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (vida útil extendida en un $20 \% \pm 3 \%$), $<2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$, $>3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el costo en un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento de CrN (espesor $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $400-450^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,2 \pm 0,05$) y mejora la resistencia a la corrosión (resistencia al Cl^{-} $> 6000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Tratamiento térmico:

El temple del material base (dureza HRC $40-50 \pm 2$, profundidad $1-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $800-850^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) mejora el rendimiento del soporte, la vida útil de la base no templada se reduce en un $15 \% \pm 3 \%$ y el revenido ($200-250^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$. La temperatura

del entorno de trabajo

$> 500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, el contenido de agua $> 5 \% \pm 1 \%$ o el contenido de impurezas $> 3 \% \pm 0,5 \%$ aumentan el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$ y la tasa de corrosión en el entorno de Cl^{-} (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo,

como presión de $50-300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, caudal de $1-10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$ y potencia de $50-300 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$, afectan la vida útil y la eficiencia de los sellos. Un exceso de parámetros (superior al $10 \% \pm 1 \%$) reduce la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de sellos de control de fluidos de carburo

Los sellos de anillo

son adecuados para válvulas de alta presión ($100-200 \text{ MPa}$), con un tamaño de $10-30 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y excelente resistencia a la presión ($> 300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$).

Los sellos de asiento

son adecuados para bombas químicas ($50-150 \text{ MPa}$), con un tamaño de $5-20 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y fuerte resistencia a la corrosión (resistencia al Cl^{-} $> 5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Los sellos de manguito

se utilizan en sistemas hidráulicos de aviación ($200-300 \text{ MPa}$), con un tamaño de $15-40 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y resistencia a altas temperaturas ($> 500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$).

Los sellos especiales

incluyen tipos de temperatura ultraalta ($> 600^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) y ultracorrosivos para entornos extremos.

Aplicación de sellos de control de fluidos de carburo cementado

El petróleo y el gas

se utilizan para válvulas de gas natural de alta presión ($200-300 \text{ MPa}$), con una vida útil de $600-800 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, de acuerdo con las normas API 6A. La

industria química

se utiliza para bombas de fluidos corrosivos ($50-150 \text{ MPa}$), resistentes a la corrosión por Cl^{-} (>5000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

horas $\pm$ 200 horas), de acuerdo con las normas ISO 10423.

La industria aeroespacial

se utiliza para sellos de sistemas hidráulicos (200-300 MPa), resistencia a altas temperaturas ($>500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para garantizar la confiabilidad, de acuerdo con las normas AMS 2750.

El tratamiento de agua

es adecuado para tuberías de agua de mar (presión de 50-100 MPa), anticorrosión por agua de mar ($>6000\text{ horas} \pm 200\text{ horas}$), de acuerdo con las normas DNVGL-RP-C203.

Los equipos de energía

se utilizan para válvulas de vapor de alta temperatura (300-400 MPa), con resistencia térmica ($>500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), de acuerdo con las normas ASME B16.34.

Los equipos médicos

se utilizan para el suministro de líquidos a alta presión (50-100 MPa), con resistencia a la corrosión ($>4000\text{ horas} \pm 100\text{ horas}$), de acuerdo con las normas ISO 13485.

La industria de la construcción naval

se utiliza para sistemas de refrigeración por agua de mar (50-150 MPa), con resistencia al impacto ($>50\text{ J} \pm 5\text{ J}$), de acuerdo con las normas ISO 8062.

La fabricación de productos electrónicos

se utiliza para el control de gases de proceso de semiconductores (100-200 MPa), con rugosidad superficial $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$, de acuerdo con las normas SEMI F19.

El transporte ferroviario

se utiliza para sistemas de frenado de alta presión (150-250 MPa), con reducción de fugas ($<0,001\text{ ml/min} \pm 0,0005\text{ ml/min}$), de acuerdo con la norma EN 13452.

Las tuberías de construcción

se utilizan para el sellado de tuberías de agua a alta presión (50-100 MPa), con una resistencia al desgaste $> 95\% \pm 2\%$, de acuerdo con la norma ASTM F1476.

Normas nacionales e internacionales para sellos de control de fluidos de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)

ISO 10423 (Norma para válvulas y equipos de cabezal de pozo)

AMS 2750 (Norma de tratamiento térmico aeroespacial)

DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)

ASME B16.34 (Norma de clasificación de presión y temperatura de válvulas)

ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)

SEMI F19 (Estándar de fabricación de semiconductores)

EN 13452 (Norma de sistemas de frenado ferroviario)

ASTM F1476 (Norma para sistemas de tuberías)

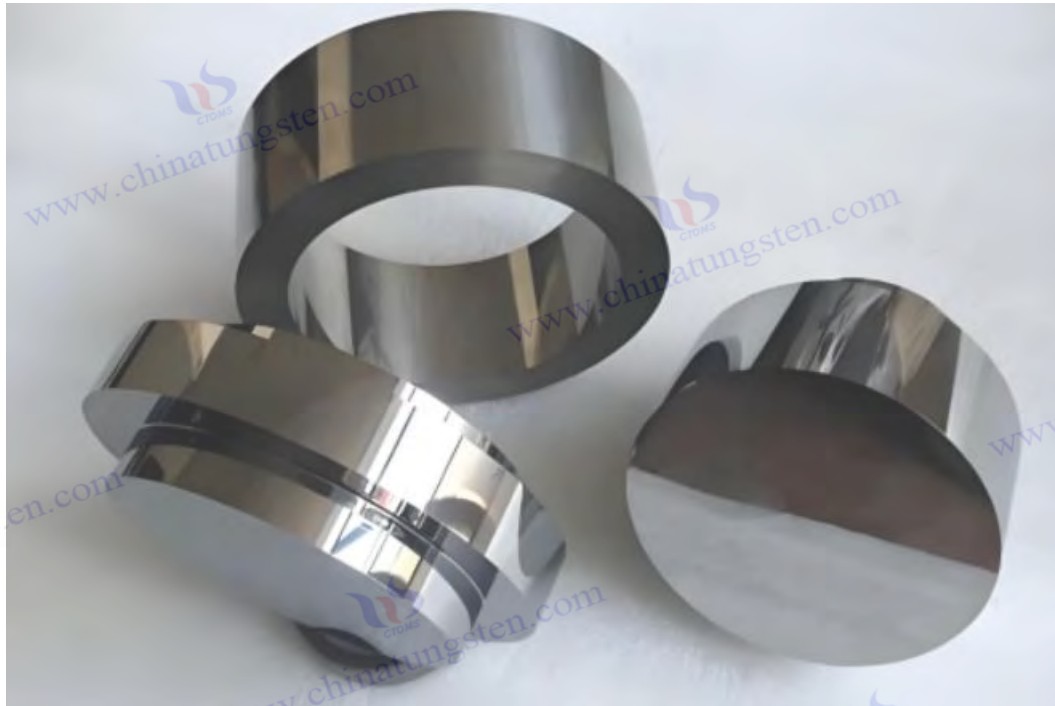
GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)

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



Matrices de trefilado de carburo

Las matrices de trefilado de carburo son matrices de alto rendimiento diseñadas para trefilar alambres, barras y tubos metálicos, y se utilizan ampliamente en alambres y cables, piezas de automoción y fabricación de precisión. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con un moldeado de precisión y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando así una alta eficiencia y una larga vida útil bajo altas fuerzas de trefilado, alta velocidad y condiciones de trabajo complejas. Como elemento clave en el proceso de trefilado, las matrices de trefilado de carburo influyen directamente en la precisión del alambre, la calidad superficial y la eficiencia de la producción gracias a su excelente precisión y durabilidad. La innovación tecnológica de 2025 las convierte en piezas especialmente destacadas en el procesamiento de materiales de alta resistencia.

Propiedades físicas y químicas de las matrices de trefilado de carburo cementado

. Las matrices de trefilado de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-10\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas. Se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de la matriz de trefilado se personaliza según el diámetro del alambre e incluye un orificio cónico y una zona de compresión, con un diámetro interior de $0,1-20\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$ y una longitud de matriz de $20-50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$. Está montada sobre un manguito de acero (resistencia a la tracción $>1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, dureza HRC $45-55 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen ajuste a presión mecánico (fuerza de ajuste a presión $>12\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$) o unión (resistencia de unión $>600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), lo que garantiza un funcionamiento estable bajo altas fuerzas de trefilado ($50-300\text{ N} \pm 10\text{ N}$, valor máximo de hasta $400\text{ N} \pm 20\text{ N}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, TiAlN o DLC, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie del orificio de la matriz, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,1 \pm 0,05$ y mejora la resistencia al desgaste y la suavidad (rugosidad superficial $R_a <0,05\text{ }\mu\text{m} \pm 0,02\text{ }\mu\text{m}$). El diseño integra la mecánica de embutición y la optimización de la conducción térmica, con un ángulo de cono de $10^\circ-20^\circ \pm 2^\circ$ y una relación de compresión de $1,2-2,0 \pm 0,1$, apto para diversos materiales con una resistencia a la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tracción de 300-1500 MPa.

Las propiedades del material de las matrices de trefilado de carburo cementado

WC proporcionan una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} 12-16 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor pico hasta 18 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), y absorbe la energía del impacto ($> 60 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor pico instantáneo $> 150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,02 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a Cl^- $> 3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento de la matriz de trefilado de carburo

La matriz de trefilado trefila el material metálico a través de la compresión y la deformación plástica del orificio de la matriz bajo la acción de la máquina de trefilado (velocidad de trefilado 5-50 $\text{m/s} \pm 2 \text{ m/s}$, fuerza de trefilado 50-300 $\text{N} \pm 10 \text{ N}$, potencia 20-200 $\text{kW} \pm 50 \text{ kW}$). La superficie del orificio de la matriz está sujeta a alta fricción y carga térmica (temperatura de la superficie $100-400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), y el manguito de la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 $\text{W/m} \cdot \text{K} \pm 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño de precisión de la matriz de trefilado garantiza que la tolerancia se controle en $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, la rugosidad de la superficie $R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ y la desviación del diámetro del alambre sea $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

Rendimiento de las matrices de trefilado de carburo cementado

En condiciones de trefilado de alambre de cobre (resistencia a la tracción 400 MPa), alambre de acero (1000 MPa) o alambre de aluminio (300 MPa), la vida útil optimizada de la matriz de trefilado supera las 500-800 horas ± 50 horas, y la eficiencia de producción alcanza los 100-500 $\text{m/min} \pm 10 \text{ m/min}$ (potencia $> 100 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra desgaste evidente del orificio de la matriz, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la termografía muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 120 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las matrices de trefilado de carburo cementado

El contenido de Co del

6%-10% $\pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento del $10\% \pm 2\%$, $> 10\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un $5\% \pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$), y se prefiere del 7%-9% $\pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para materiales de dureza media, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y reduce la tenacidad en un $10 \% \pm 2 \%$. El ángulo cónico

geométrico

de $10^\circ-20^\circ \pm 2^\circ$ optimiza la eficiencia del trefilado (fuerza de trefilado $<200 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$, consumo de energía $<10 \text{ kWh/m}^3 \pm 1 \text{ kWh/m}^3$), $>20^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia en un $10 \% \pm 2 \%$, $<10^\circ \pm 2^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de rotura del alambre del $5 \% \pm 1 \%$. Un espesor de orificio de matriz

para tratamiento superficial

de $1-2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil un $20 \% \pm 3 \%$), un espesor inferior a $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ reduce la vida útil un $20 \% \pm 3 \%$ y un espesor superior a $2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el coste un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento DLC (espesor de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición de $200-300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,1 \pm 0,05$) y mejora la suavidad ($R_a <0,05 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$).

Tratamiento térmico:

El temple del manguito de matriz (dureza HRC $45-55 \pm 2$, profundidad $1-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) mejora el rendimiento de soporte y la vida útil del manguito de matriz sin templar se reduce en un $15 \% \pm 3 \%$. El revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$. Una temperatura

ambiente de trabajo

$> 400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, un contenido de agua $> 5 \% \pm 1 \%$ o un contenido de impurezas $> 3 \% \pm 0,5 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$ y la tasa de corrosión en el entorno de Cl^- (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Parámetros del equipo:

velocidad de trefilado $5-50 \text{ m/s} \pm 2 \text{ m/s}$, fuerza de trefilado $50-300 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$ y potencia $20-200 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$, lo que afecta la vida útil y la eficiencia de la matriz de trefilado. Un exceso de parámetros (superior al $10 \% \pm 1 \%$) reduce la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de matrices de trefilado de carburo

Las matrices de trefilado de alambre fino

son adecuadas para alambre de cobre o aluminio ($300-500 \text{ MPa}$), con un diámetro de orificio interior de $0,1-1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ y una vida útil de $> 600 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$.

Las matrices de trefilado de alambre medio y grueso

son adecuadas para alambre de acero ($800-1200 \text{ MPa}$), con un diámetro de orificio interior de $2-10 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ y una fuerte resistencia a la extracción ($> 200 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$). Las

matrices de trefilado de tubos

se utilizan para tubos de acero inoxidable ($1000-1500 \text{ MPa}$), con un diámetro de orificio interior de $5-20 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ y una excelente resistencia a alta presión ($> 300 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$).

Las matrices de trefilado especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas ($> 400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) y a la corrosión para entornos extremos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación de matrices de trefilado de carburo

Los alambres y cables

se utilizan para el trefilado de cobre (400-500 MPa), con una vida útil de 600-800 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con las normas IEC 60228.

Las piezas de automoción

se utilizan para el trefilado de acero (800-1200 MPa), con una fuerza de extracción ($>200 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$) para garantizar una producción eficiente, de acuerdo con las normas ISO 8458.

La fabricación de precisión

se utiliza para el trefilado de tubos de acero inoxidable (1000-1500 MPa), con una rugosidad superficial $R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, que cumple con las normas ISO 286.

El equipo de energía

se utiliza para el trefilado de alto voltaje (600-1000 MPa), con resistencia al calor ($>400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), de acuerdo con las normas API 6A.

El entorno corrosivo

es adecuado para trefilar alambres de acero que contienen sal, resistentes a la corrosión del agua de mar ($>3000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, resistencia a la concentración de $\text{Cl}^- > 3,5\% \pm 0,5\%$), de acuerdo con el estándar DNVGL-RP-C203.

El equipo médico

se utiliza para trefilar alambres de aleación de titanio (800-1200 MPa), resistencia a la corrosión ($>4000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$), de acuerdo con el estándar ISO 13485.

La industria de la construcción naval

se utiliza para trefilar cables de acero (700-1000 MPa), resistencia al impacto ($>60 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$), de acuerdo con el estándar ISO 8062.

La fabricación electrónica

se utiliza para trefilar alambres finos de cobre (300-500 MPa), precisión $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, de acuerdo con el estándar SEMI F19.

El transporte ferroviario

se utiliza para el trefilado de cables ferroviarios (800-1200 MPa), lo que reduce los residuos ($<1\% \pm 0,5\%$), de acuerdo con la norma EN 13674. Se utilizan

herrajes de construcción

para el trefilado de barras de acero (600-900 MPa), con un acabado superficial $R_a < 0,05 \pm 0,02 \mu\text{m}$, de acuerdo con la norma ASTM A615.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de matrices de trefilado de carburo cementado Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza ($\text{HV } 2200-2600 \pm 50$) y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura ($> 400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ para mantener el $95\% \pm 2\%$). Los sensores integrados

de monitorización inteligente

(precisión $\pm 0,05\%$) monitorizan el desgaste del orificio de la matriz (profundidad $> 0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y la temperatura ($<400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) en tiempo real y optimizan los ciclos de sustitución (error $< 5\% \pm 1\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40-60\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$) para fabricar matrices de trefilado complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

Adaptabilidad ambiental

. Desarrollo de matrices de trefilado resistentes a la corrosión y a altas temperaturas (resistencia a la presión $>400\ \text{N} \pm 20\ \text{N}$, resistencia a la temperatura $>500\ ^\circ\text{C} \pm 20\ ^\circ\text{C}$). El reciclaje

sostenible

del polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$) de acuerdo con la norma ISO 14040.

Normas nacionales y extranjeras pertinentes

Las normas nacionales y extranjeras incluyen todas las siguientes normas pertinentes y sus números:

IEC 60228 (Norma para cables y alambres)

ISO 8458 (Norma para alambre de acero en automoción)

ISO 286 (Especificaciones y tolerancias geométricas del producto)

API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)

DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)

ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)

SEMI F19 (Estándar de fabricación de semiconductores)

EN 13674 (norma ferroviaria)

ASTM A615 (norma de acero)

GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)



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

Boquilla de carburo resistente al desgaste

La boquilla de carburo resistente al desgaste es un componente de inyección de alto rendimiento diseñado para entornos corrosivos, de alto desgaste e inyección a alta velocidad. Se utiliza ampliamente en arenado, pulverización, perforación petrolera y pulverización química. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, garantizando así la eficiencia de la inyección y la fiabilidad a largo plazo en condiciones de trabajo extremas. Como la inquebrantable guardiana del sistema de inyección, la boquilla de carburo resistente al desgaste tiene un impacto directo en la precisión de la inyección, el consumo de material y la vida útil del equipo gracias a sus características de robustez. El avance tecnológico de 2025 le confiere un rendimiento especialmente bueno en entornos de alto desgaste.

Propiedades físicas y químicas de las boquillas de carburo cementado resistentes al desgaste.

Las boquillas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-10\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de la boquilla se personaliza según los requisitos de inyección, incluyendo boquillas cónicas o rectas con un diámetro interior de $0,5-10\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$, un diámetro exterior de $10-30\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ y una longitud de $20-50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, montadas sobre un sustrato de acero inoxidable o aleación de titanio (resistencia a la tracción $>1000\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, dureza HRC $40-50 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen conexión roscada mecánica (par de apriete $>15\text{ N}\cdot\text{m} \pm 1\text{ N}\cdot\text{m}$) o soldadura (resistencia de la soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$) para garantizar un funcionamiento estable bajo inyección a alta presión ($10-50\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$, valor pico de hasta $60\text{ MPa} \pm 3\text{ MPa}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, CrN o WC/C, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie de la boquilla, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño integra mecánica de fluidos y optimización de la transferencia de calor, con un ángulo de pulverización de $15^\circ-30^\circ \pm 2^\circ$, apto para temperaturas de funcionamiento de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características de las boquillas de carburo resistentes al desgaste

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200±30, localmente hasta 2400-2600±50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación >800°C±20°C, resistencia a la oxidación >95%±2%); Co mejora la tenacidad (K_{IC} 12-16 MPa·m^{1/2} ± 0,5, valor máximo hasta 18 MPa·m^{1/2} ± 0,5) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto (> 50 J ± 5 J, valor máximo instantáneo >120 J±10 J). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste <0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m (preferiblemente <0,015 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m), densidad 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³, coeficiente de expansión térmica (CTE) 6×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C. La adición de Cr₃C₂ genera una capa protectora de Cr₂O₃ (espesor <0,1 μm±0,01 μm), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,01 mm/año±0,001 mm/año, resistencia a Cl⁻ >5000 horas±200 horas); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura (>900°C±20°C mantiene el 90%±2% de la dureza inicial, estabilidad térmica >95%±2%).

Principio de funcionamiento de las boquillas resistentes al desgaste de carburo cementado

La boquilla acelera el fluido o las partículas a través de ella para lograr la inyección bajo la acción de una bomba o compresor de alta presión (presión 10-50 MPa ± 2 MPa, velocidad de inyección 50-200 m/s ± 10 m/s, potencia 20-150 kW ± 50 kW). La superficie de la boquilla está sujeta a un alto desgaste y carga térmica (temperatura de la superficie 100-600 °C ± 20 °C, extrema hasta 700 °C ± 30 °C), y el material de la matriz proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción > 1000 MPa ± 50 MPa), conducción de calor (conductividad térmica 30-40 W/m·K ± 2 W/m·K) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga > 10⁶ veces ± 10⁵ veces, carga cíclica > 150 MPa ± 20 MPa). El diseño de precisión de la boquilla garantiza que la tolerancia se controle en ±0,005 mm ± 0,002 mm, la rugosidad de la superficie Ra < 0,1 μm ± 0,05 μm y la desviación de inyección es < 0,5° ± 0,2°.

El rendimiento de las boquillas resistentes al desgaste de carburo cementado es de más de 400-700 horas ± 50 horas

en lodo de arenado (dureza HV 800 ± 50), fluido de perforación petrolera (que contiene Cl⁻ >3% ± 0,5%) o vapor a alta temperatura (500 °C ± 20 °C). La vida útil optimizada de la boquilla supera las 400-700 horas ± 50 horas, y la eficiencia de inyección alcanza el 95% ± 2% (desviación de la cantidad de inyección < 1% ± 0,5%). El análisis SEM no muestra un desgaste obvio de la boquilla, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC (> 95% ± 2%), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es < 150 MPa ± 10 MPa.

Factores que afectan el rendimiento de las boquillas resistentes al desgaste de carburo cementado El

contenido de Co de

6%-10%±1% logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. <6%±1% conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento de 10%±2%. >10%±1% reduce la dureza en 5%±1% y aumenta la expansión térmica (CTE 6×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C). Se prefiere 7%-9%±0,5% para tener en cuenta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tanto el rendimiento como el costo.

El tamaño de grano

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para entornos de desgaste medio, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y reduce la tenacidad en un $10 \% \pm 2 \%$.

Ángulo geométrico

El ángulo de pulverización de $15^\circ-30^\circ \pm 2^\circ$ optimiza la eficiencia de pulverización (presión $<40 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$, consumo de energía $<15 \text{ kWh/m}^3 \pm 1 \text{ kWh/m}^3$), $>30^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia en un $10 \% \pm 2 \%$, $<15^\circ \pm 2^\circ$ conduce fácilmente al riesgo de pulverización desigual en un $5 \% \pm 1 \%$.

Un espesor de boquilla

para tratamiento superficial

de $1-2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$), un espesor $<1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$, y un espesor $>2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el coste en un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento WC/C (espesor $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $300-400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,15 \pm 0,05$) y mejora la resistencia a la corrosión (resistencia al $\text{Cl}^- >6000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Tratamiento térmico:

El temple del material base (dureza HRC $40-50 \pm 2$, profundidad $1-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $800-850^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) mejora el rendimiento del soporte, la vida útil de la base no templada se reduce en un $15 \% \pm 3 \%$ y el revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$. La temperatura

del entorno de trabajo

$>600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, el contenido de agua $>5 \% \pm 1 \%$ o el contenido de impurezas $>3 \% \pm 0,5 \%$ aumentan el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$ y la tasa de corrosión en el entorno de Cl^- (concentración $>0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo

(presión de $10-50 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$, velocidad de inyección de $50-200 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$ y potencia de $20-150 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$) afectan la vida útil y la eficiencia de la boquilla. Un exceso de parámetros (superior al límite superior del $10 \% \pm 1 \%$) reduce la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de boquillas de carburo resistentes al desgaste

Las boquillas de chorro de arena

son adecuadas para la pulverización de mortero (dureza HV 800 ± 50), diámetro interior de $1-5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, vida útil $>500 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$.

Las boquillas de perforación petrolera

se utilizan para la inyección de fluido de perforación (presión de $20 \text{ a } 40 \text{ MPa}$), diámetro interior de $2-8 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, fuerte resistencia a la corrosión (resistencia al $\text{Cl}^- >5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Las boquillas de pulverización

son adecuadas para pulverización a alta temperatura ($500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), diámetro interior de $0,5-3 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, excelente resistencia al calor ($>600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$).

Las boquillas especiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

incluyen tipos de temperatura ultraalta ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y ultracorrosivos para entornos extremos.

Aplicación de boquillas de carburo resistentes al desgaste

El chorro de arena

se utiliza para el chorro de arena de la superficie de acero (dureza HV 800 ± 50), vida útil de 500 a 700 horas ± 50 horas, de acuerdo con la norma ISO 8501.

La perforación petrolera

se utiliza para la inyección de fluido de perforación (20-40 MPa), resistente a la corrosión por Cl^- (> 5000 horas ± 200 horas), de acuerdo con la norma API 7-1.

La industria de pulverización

se utiliza para el recubrimiento cerámico de alta temperatura ($500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), resistencia al calor ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para garantizar una pulverización uniforme, de acuerdo con la norma ISO 14918.

La pulverización química

es adecuada para la pulverización de líquidos químicos corrosivos (10-30 MPa), resistencia a la corrosión del agua de mar (> 6000 horas ± 200 horas), de acuerdo con la norma ISO 10423.

Los equipos de energía

se utilizan para inyección de vapor a alta temperatura (30-50 MPa), resistencia al calor ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), de acuerdo con el estándar ASME B16.34.

Los dispositivos médicos

se utilizan para pulverización farmacéutica (10-20 MPa), resistencia a la corrosión (> 4000 horas ± 100 horas), de acuerdo con las normas ISO 13485.

La industria de la construcción naval

se utiliza para pulverización de limpieza con agua de mar (15-25 MPa), resistencia al impacto ($> 50\text{ J} \pm 5\text{ J}$), de acuerdo con las normas ISO 8062.

La fabricación electrónica

se utiliza para pulverización de limpieza de semiconductores (20-30 MPa), rugosidad superficial $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$, de acuerdo con las normas SEMI F19.

El mantenimiento ferroviario

se utiliza para el arenado de rieles (15-30 MPa), lo que reduce el desgaste ($< 1\% \pm 0,5\%$), de acuerdo con las normas EN 13674.

La pulverización de construcción

se utiliza para la proyección de hormigón (10-20 MPa), resistencia al desgaste $> 95\% \pm 2\%$, de acuerdo con las normas ASTM C143.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de boquillas resistentes al desgaste de carburo cementado

Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano $< 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV $2200-2600 \pm 50$) y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para mantener el $95\% \pm 2\%$). Los sensores integrados

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste de la boquilla (profundidad $> 0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$) y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperatura ($<700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) en tiempo real y optimizan los ciclos de reemplazo (error $< 5\% \pm 1\%$).

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$) para fabricar boquillas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$.

La adaptabilidad ambiental

permite el desarrollo de boquillas ultracorrosivas y de temperatura ultraalta (resistencia a la presión $>60\text{ MPa} \pm 3\text{ MPa}$, resistencia a la temperatura $>700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). El reciclaje

sostenible

del polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), de acuerdo con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para boquillas resistentes al desgaste de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

ISO 8501 (norma de tratamiento de superficies)

API 7-1 (Estándar para equipos de perforación de petróleo)

ISO 14918 (norma de proyección térmica)

ISO 10423 (Norma para válvulas y equipos de cabezal de pozo)

ASME B16.34 (Norma de clasificación de presión y temperatura de válvulas)

ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)

SEMI F19 (Estándar de fabricación de semiconductores)

EN 13674 (norma ferroviaria)

ASTM C143 (Norma de pruebas de hormigón)

GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)



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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

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

¿Qué es un núcleo de válvula resistente al desgaste de carburo?

El núcleo de válvula de carburo resistente al desgaste es un componente de alto rendimiento diseñado para entornos de alta presión, alto desgaste y corrosión. Se utiliza ampliamente en los sectores del petróleo y el gas, la industria química, los equipos de energía y el tratamiento de aguas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y recubrimientos resistentes a la corrosión, para ofrecer una excelente dureza, resistencia al desgaste, a la corrosión y a las altas temperaturas, garantizando así el sellado de la válvula y una fiabilidad a largo plazo en condiciones de trabajo extremas. Como protección robusta en el sistema de válvulas, el núcleo de válvula de carburo resistente al desgaste influye directamente en la precisión del control de fluidos, la tasa de fugas y la vida útil del equipo gracias a su rendimiento excepcional. La innovación tecnológica le permite un mejor rendimiento en entornos complejos.

Propiedades físicas y químicas del núcleo de válvula de carburo cementado resistente al desgaste.

El núcleo de válvula de carburo cementado utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-10\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del núcleo de la válvula se personaliza según el tipo de válvula, incluyendo estructuras esféricas, cónicas o cilíndricas, con un diámetro de $5-50\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ y una longitud de $10-60\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, instalado en un cuerpo de válvula de acero inoxidable o aleación de titanio (resistencia a la tracción $>1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, dureza HRC $40-50 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen ajuste a presión mecánico (fuerza de ajuste a presión $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$) o soldadura de alta frecuencia (resistencia de soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), lo que garantiza un funcionamiento estable a alta presión ($50-300\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$, valor pico de hasta $400\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, CrN o WC/C, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie del núcleo de la válvula, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño combina mecánica de fluidos y optimización de la conducción térmica, con un ángulo de contacto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de $5^{\circ}\text{--}15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ y es apto para temperaturas de funcionamiento de -50°C a $500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$.

Características del núcleo de válvula resistente al desgaste de aleación dura

El WC proporciona una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $>95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad (K_{IC} c 12-16 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta 18 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica, y absorbe la energía del impacto ($> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $>120 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $<0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{Cl}^- >5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($>900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $>95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento del núcleo de válvula resistente al desgaste de carburo

El núcleo de la válvula ajusta el flujo de fluido girando o moviéndose bajo la acción de la válvula (presión 50-300 $\text{MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, caudal 1-10 $\text{m/s} \pm 1 \text{ m/s}$, potencia 50-300 $\text{kW} \pm 50 \text{ kW}$). La superficie del núcleo de la válvula está sujeta a alta fricción y carga térmica (temperatura de la superficie -50°C a $500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, extrema hasta $600^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$), y el cuerpo de la válvula proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 30-40 $\text{W/m} \cdot \text{K} \pm 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño de precisión del núcleo de la válvula garantiza que la tolerancia se controle en $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, la rugosidad de la superficie $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ y la tasa de fuga sea $< 0,001 \text{ ml/min} \pm 0,0005 \text{ ml/min}$.

El rendimiento del núcleo de válvula de carburo resistente al desgaste es que la vida útil optimizada del núcleo de válvula supera las 500-800 horas ± 50 horas al

procesar gas natural a alta presión (200 MPa), agua de mar (que contiene $\text{Cl}^- > 3\% \pm 0,5\%$) o vapor a alta temperatura ($400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), y la eficiencia de sellado alcanza el $99,99\% \pm 0,01\%$ (tasa de fuga $< 0,001 \text{ ml/min} \pm 0,0005 \text{ ml/min}$). El análisis SEM no muestra desgaste obvio en la superficie, la difracción de rayos X (XRD) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de los núcleos de válvulas resistentes al desgaste de carburo cementado

Un contenido de Co del

6%-10% $\pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento del 10% $\pm 2\%$, $>10\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5% $\pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$), y se prefiere del 7%-9% $\pm 0,5\%$ para tener en cuenta tanto el rendimiento como el costo.

Un tamaño de grano de

0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (índice de desgaste $<0,015$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), un tamaño de grano de $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para entornos de presión media, un tamaño de grano $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta el índice de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y reduce la tenacidad en un $10 \% \pm 2 \%$. Un ángulo de contacto

geométrico

de $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ optimiza el rendimiento del sellado (índice de fuga $<0,001 \text{ ml/min} \pm 0,0005 \text{ ml/min}$), un tamaño de grano $>15^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia del sellado en un $5 \% \pm 1 \%$, y un tamaño de grano $<5^\circ \pm 2^\circ$ puede provocar un riesgo de contacto desigual del $5 \% \pm 1 \%$. Un espesor del núcleo de la válvula

con tratamiento superficial

de $2-3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil un $20 \% \pm 3 \%$), un espesor inferior a $2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil un $20 \% \pm 3 \%$ y un espesor superior a $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el coste un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento de CrN (espesor de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición de $400-450^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,2 \pm 0,05$) y mejora la resistencia a la corrosión (resistencia al $\text{Cl}^- > 6000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Tratamiento térmico:

el temple del cuerpo de la válvula (dureza HRC $40-50 \pm 2$, profundidad $1-3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $800-850^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) mejora el rendimiento de soporte y la vida útil del cuerpo de la válvula sin templar se reduce en un $15 \% \pm 3 \%$. El revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$.

La temperatura ambiente de trabajo

$> 500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, el contenido de agua $> 5 \% \pm 1 \%$ o el contenido de impurezas $> 3 \% \pm 0,5 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$ y la tasa de corrosión en el entorno de Cl^- (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Los parámetros del equipo

(presión de $50-300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, caudal de $1-10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$ y potencia de $50-300 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$) afectan la vida útil y la eficiencia del obturador de la válvula. Un exceso de parámetros (superior al límite superior del $10 \% \pm 1 \%$) reduce la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de núcleos de válvula de carburo resistentes al desgaste

Los núcleos de válvula esféricos

son adecuados para válvulas de bola de alta presión ($100-200 \text{ MPa}$), con un diámetro de $10-30 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y excelente resistencia a la presión ($> 300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$).

Los núcleos de válvula cónicos

son adecuados para válvulas de control químico ($50-150 \text{ MPa}$), con un diámetro de $5-20 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y fuerte resistencia a la corrosión (resistencia al $\text{Cl}^- > 5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Los núcleos de válvula de columna

se utilizan para válvulas hidráulicas de aviación ($200-300 \text{ MPa}$), con un diámetro de $15-40 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y alta resistencia a la temperatura ($> 500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$).

Los núcleos de válvulas especiales

incluyen tipos para temperaturas ultra altas ($> 600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) y ultracorrosivos, adecuados para entornos extremos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación de núcleos de válvulas resistentes al desgaste de carburo

El petróleo y el gas natural

se utilizan para válvulas de gas natural de alta presión (200-300 MPa), con una vida útil de 600-800 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con las normas API 6A.

La industria química

se utiliza para válvulas de fluidos corrosivos (50-150 MPa), resistentes a la corrosión por Cl^- (>5000 horas $\pm$ 200 horas), de acuerdo con las normas ISO 10423.

La industria aeroespacial

se utiliza para válvulas de sistemas hidráulicos (200-300 MPa), resistencia a altas temperaturas (>500 °C $\pm$ 20 °C) para garantizar la confiabilidad, de acuerdo con las normas AMS 2750.

El tratamiento de agua

es adecuado para válvulas de tuberías de agua de mar (50-100 MPa), resistencia a la corrosión del agua de mar (>6000 horas $\pm$ 200 horas), de acuerdo con las normas DNVGL-RP-C203.

Los equipos de energía se

utilizan para válvulas de vapor de alta temperatura (300-400 MPa), con resistencia térmica (>500 °C $\pm$ 20 °C), de acuerdo con las normas ASME B16.34.

Los equipos médicos

se utilizan para válvulas de líquido de alta presión (50-100 MPa), con resistencia a la corrosión (>4000 horas $\pm$ 100 horas), de acuerdo con las normas ISO 13485.

La industria naval

se utiliza para válvulas de refrigeración por agua de mar (50-150 MPa), con resistencia al impacto (>50 J $\pm$ 5 J), de acuerdo con las normas ISO 8062.

La fabricación electrónica

se utiliza para válvulas de gas de proceso semiconductor (100-200 MPa), con rugosidad superficial $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, de acuerdo con las normas SEMI F19.

El transporte ferroviario

se utiliza para válvulas de freno de alta presión (150-250 MPa), con reducción de fugas (<0,001 ml/min $\pm$ 0,0005 ml/min), de acuerdo con la norma EN 13452.

Las tuberías de construcción

se utilizan para válvulas de agua de alta presión (50-100 MPa), con una resistencia al desgaste >95 % $\pm$ 2 %, de acuerdo con la norma ASTM F1476.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro

Los nuevos materiales

introducen nano WC (grano <0,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 $\pm$ 50), agregan TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura (> 600 °C $\pm$ 20 °C para mantener el 95 % $\pm$ 2 %). Sensor integrado

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm$ 0,05 %) monitoreo en tiempo real del desgaste del núcleo de la válvula (profundidad > 0,8 mm $\pm$ 0,05 mm) y la temperatura (<600 °C $\pm$ 20 °C), optimizan el ciclo de reemplazo (error < 5 % $\pm$ 1 %).

La tecnología de impresión 3D

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utiliza SLM (espesor de capa $40-60\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$) para fabricar núcleos de válvulas complejos, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\% \pm 2\%$. El reciclaje

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $>80\% \pm 5\%$) reduce la huella de carbono (reducción de emisiones de CO_2 del $20\% \pm 3\%$), de acuerdo con las normas ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para núcleos de válvulas resistentes al desgaste de aleación dura

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)

ISO 10423 (Norma para válvulas y equipos de cabezal de pozo)

AMS 2750 (Norma de tratamiento térmico aeroespacial)

DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)

ASME B16.34 (Norma de clasificación de presión y temperatura de válvulas)

ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)

SEMI F19 (Estándar de fabricación de semiconductores)

EN 13452 (Norma de sistemas de frenado ferroviario)

ASTM F1476 (Norma para sistemas de tuberías)

GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)



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

¿Qué es un asiento de válvula resistente al desgaste de carburo?

El asiento de válvula de carburo resistente al desgaste es un componente de alto rendimiento diseñado para entornos de alta presión, alto desgaste y corrosión. Se utiliza ampliamente en los sectores del petróleo y el gas, la industria química, los equipos de energía y el tratamiento de aguas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y recubrimientos resistentes a la corrosión, para ofrecer una excelente dureza, resistencia al desgaste, a la corrosión y a las altas temperaturas, garantizando así el sellado de la válvula y una fiabilidad a largo plazo en condiciones de trabajo extremas. Como componente clave del sistema de válvulas, el asiento de válvula de carburo resistente al desgaste influye directamente en la precisión del control de fluidos, la tasa de fugas y la vida útil del equipo. Basándose en la información más reciente sobre la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones del asiento de válvula.

Propiedades físicas y químicas de los asientos de válvula de carburo cementado resistentes al desgaste.

Los asientos de válvula de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-10\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión a $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente $0,8-1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra a través de la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico), y la tasa de fortalecimiento del límite de grano local es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del asiento de la válvula se personaliza según el tipo de válvula, incluyendo estructura anular o cónica, diámetro interior $5-50\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$, espesor $5-20\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$, instalado en el cuerpo de la válvula de acero inoxidable o aleación de titanio (resistencia a la tracción $>1200\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, dureza HRC $40-50 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen el ajuste a presión mecánico (fuerza de ajuste $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$) o la soldadura de alta frecuencia (resistencia de soldadura $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), lo que garantiza un funcionamiento estable a alta presión ($50-300\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$, valor pico de hasta $400\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). Se pueden aplicar recubrimientos multicapa (como TiN, CrN o WC/C, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie del asiento de la válvula, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adherencia $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño integra mecánica de fluidos y optimización de la conducción de calor, con un ángulo de contacto de $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

adecuado para temperaturas de trabajo de -50°C a $500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$.

Características y principio de funcionamiento del asiento de válvula resistente al desgaste de aleación dura

Las propiedades del material de los asientos de válvula resistentes al desgaste de carburo cementado

WC proporcionan una alta dureza ($\text{HV } 1800-2200 \pm 30$, localmente hasta $2400-2600 \pm 50$), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_{IC} $12-16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor pico hasta $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), y absorbe la energía del impacto ($> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor pico instantáneo $> 120 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $< 0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a Cl^- $> 5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento del asiento de válvula resistente al desgaste de carburo

El asiento de la válvula ajusta el flujo de fluido cooperando estrechamente con el núcleo de la válvula bajo la acción de la válvula (presión $50-300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, caudal $1-10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$, potencia $50-300 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). La superficie del asiento de la válvula está sujeta a alta fricción y carga térmica (temperatura de la superficie -50°C a $500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, extrema hasta $600^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$), y el cuerpo de la válvula proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica $30-40 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). El diseño de precisión del asiento de la válvula garantiza que la tolerancia se controle en $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, la rugosidad de la superficie $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ y la tasa de fuga sea $< 0,001 \text{ ml/min} \pm 0,0005 \text{ ml/min}$.

El rendimiento de los asientos de válvula de carburo cementado resistentes al desgaste es de más de 500-800 horas ± 50 horas al

procesar gas natural a alta presión (200 MPa), agua de mar (que contiene $\text{Cl}^- > 3\% \pm 0,5\%$) o vapor a alta temperatura ($400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$). La vida útil optimizada del asiento de válvula supera las $500-800 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, y la eficiencia de sellado alcanza el $99,99\% \pm 0,01\%$ (tasa de fuga $< 0,001 \text{ ml/min} \pm 0,0005 \text{ ml/min}$). El análisis SEM no muestra desgaste obvio en la superficie, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de los asientos de válvulas resistentes al desgaste de carburo cementado

El contenido de Co de los asientos de válvula resistentes al desgaste de carburo cementado es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de

6%-10% ± 1% para lograr el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. <6% ± 1% conduce a un aumento del 10% ± 2% en la tasa de agrietamiento, >10% ± 1% reduce la dureza en un 5% ± 1% y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Se prefiere 7%-9% ± 0,5% para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano del asiento de válvula resistente al desgaste de carburo es

de 0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, lo que reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste <0,015 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), 1-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para entornos de presión media, >2 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un 15% ± 3% y reduce la tenacidad en un 10% ± 2%. El

ángulo geométrico del asiento de válvula de carburo resistente al desgaste

es de $5^\circ\text{-}15^\circ \pm 2^\circ$, lo que optimiza el rendimiento de sellado (tasa de fuga <0,001 $\text{ml/min} \pm 0,0005 \text{ml/min}$), > $15^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia de sellado en un 5% ± 1% y < $5^\circ \pm 2^\circ$ conduce fácilmente al riesgo de contacto desigual en un 5% ± 1%.

El tratamiento superficial del asiento de válvula de carburo resistente al desgaste

tiene un espesor de asiento de 5-10 $\text{mm} \pm 0,5 \text{mm}$, lo que mejora la resistencia al desgaste (extiende la vida útil en un 20% ± 3%), y <5 $\text{mm} \pm 0,5 \text{mm}$ La vida útil del recubrimiento se acorta en un 20% ± 3% para recubrimientos >10 $\text{mm} \pm 0,5 \text{mm}$ y el costo aumenta en un 15% ± 2%. El recubrimiento de CrN (espesor: 0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición: $400\text{-}450 ^\circ\text{C} \pm 20 ^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción (<0,2 ± 0,05) y mejora la resistencia a la corrosión (resistencia al Cl^- >6000 ± 200 horas).

Tratamiento térmico del asiento de válvula de carburo resistente al desgaste

: el temple del cuerpo de la válvula (dureza HRC 40-50 ± 2, profundidad: 1-3 $\text{mm} \pm 0,2 \text{mm}$, temperatura de temple: $800\text{-}850 ^\circ\text{C} \pm 20 ^\circ\text{C}$) mejora el rendimiento de soporte, la vida útil del cuerpo de la válvula sin templar se reduce en un 15 % ± 3 %, y el revenido ($200\text{-}250 ^\circ\text{C} \pm 10 ^\circ\text{C}$, 2-4 horas ± 0,5 horas) reduce la tensión residual en un 5 % ± 1 %.

La temperatura ambiente de trabajo

del asiento de válvula resistente al desgaste de carburo > $500 ^\circ\text{C} \pm 20 ^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un 3 % ± 1 %, el contenido de agua > 5 % ± 1 % o el contenido de impurezas > 3 % ± 0,5 % aumenta el desgaste en un 5 % ± 1 %, y la tasa de corrosión del entorno que contiene Cl^- (concentración > 0,5 % ± 0,1 %) aumenta a 0,015 $\text{mm/año} \pm 0,002 \text{mm/año}$.

Parámetros del equipo de asientos de válvula resistentes al desgaste de carburo

: presión 50-300 $\text{MPa} \pm 10 \text{MPa}$, caudal 1-10 $\text{m/s} \pm 1 \text{m/s}$, potencia 50-300 $\text{kW} \pm 50 \text{kW}$ afectan la vida útil y la eficiencia del asiento de la válvula. Parámetros excesivos (> límite superior 10 % ± 1 %) acortan la vida útil en un 15 % ± 2 %.

Tipos de asientos de válvula de carburo resistentes al desgaste

Los asientos de válvula anulares de carburo resistentes al desgaste

son adecuados para válvulas de bola de alta presión (100-200 MPa), con un diámetro interior de 10-30 $\text{mm} \pm 0,5 \text{mm}$, excelente resistencia a la presión (> 300 $\text{MPa} \pm 10 \text{MPa}$) y una vida útil de 600 horas ± 50 horas para un determinado proyecto petrolero en 2024.

Los asientos de válvula cónicos de carburo resistentes al desgaste

son adecuados para válvulas de control químico (50-150 MPa), con un diámetro interior de 5-20

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm $\pm$ 0,5 mm, fuerte resistencia a la corrosión (resistencia al Cl^- > 5000 horas $\pm$ 200 horas) y una eficiencia de la planta química del 99,99 % $\pm$ 0,01 % en 2023.

Los asientos de válvula planos de carburo resistentes al desgaste

se utilizan para válvulas hidráulicas de aviación (200-300 MPa), con un diámetro interior de 15-40 mm $\pm$ 0,5 mm, resistencia a altas temperaturas (> 500 °C $\pm$ 20 °C) y una vida útil de 700 horas $\pm$ 50 horas para un determinado proyecto de aviación en 2025.

Los asientos de válvula especiales resistentes al desgaste de carburo

incluyen tipos de temperatura ultraalta (> 600 °C $\pm$ 20 °C) y ultracorrosión, adecuados para entornos extremos, con una vida útil de prueba de 550 horas $\pm$ 50 horas en 2025.

Aplicación de asiento de válvula resistente al desgaste de aleación dura

El petróleo y el gas

se utilizan para válvulas de gas natural de alta presión (200-300 MPa), con una vida útil de 600-800 horas $\pm$ 50 horas, de acuerdo con los estándares API 6A.

La industria química

se utiliza para válvulas de fluidos corrosivos (50-150 MPa), resistentes a la corrosión por Cl^- (>5000 horas $\pm$ 200 horas), de acuerdo con las normas ISO 10423.

La industria aeroespacial

se utiliza para válvulas de sistemas hidráulicos (200-300 MPa), resistencia a altas temperaturas (>500 °C $\pm$ 20 °C) para garantizar la confiabilidad, de acuerdo con las normas AMS 2750.

El tratamiento de agua

es adecuado para válvulas de tuberías de agua de mar (50-100 MPa), resistencia a la corrosión del agua de mar (>6000 horas $\pm$ 200 horas), de acuerdo con las normas DNVGL-RP-C203.

Los equipos de energía

se utilizan para válvulas de vapor de alta temperatura (300-400 MPa), resistencia al calor (>500 °C $\pm$ 20 °C), de acuerdo con las normas ASME B16.34.

Equipos médicos

para válvulas de líquido de alta presión (50-100 MPa), resistencia a la corrosión (>4000 horas $\pm$ 100 horas), de acuerdo con ISO 13485.

Industria marina

para válvulas de refrigeración de agua de mar (50-150 MPa), resistencia al impacto (>50 J $\pm$ 5 J), de acuerdo con ISO 8062.

Fabricación electrónica

de válvulas de gas de proceso para semiconductores (100-200 MPa), con rugosidad superficial Ra < 0,1 μm $\pm$ 0,05 μm , conforme a la norma SEMI F19.

Transporte ferroviario

de válvulas de freno de alta presión (150-250 MPa), con reducción de fugas (< 0,001 ml/min $\pm$ 0,0005 ml/min), conforme a la norma EN 13452. Válvulas de agua de alta presión (50-100 MPa) se utilizan en

tuberías de construcción

, con una resistencia al desgaste > 95 % $\pm$ 2 %, conforme a la norma ASTM F1476.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Desarrollo futuro

de nuevos materiales para asientos de válvulas resistentes al desgaste de carburo cementado

: Introducir nano WC (grano $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV 2200-2600 ± 50), añadir TaC y NbC para mejorar la estabilidad a alta temperatura ($> 600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ para mantener el 95 % ± 2 %). Sensor integrado

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0,05$ %) monitoreo en tiempo real del desgaste del asiento de la válvula (profundidad $> 0,8 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) y temperatura ($< 600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), optimizar el ciclo de reemplazo (error < 5 % ± 1 %).

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40\text{-}60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar asientos de válvulas complejos, lo que reduce el desperdicio de material en un 10 % ± 2 %.

La adaptabilidad ambiental

permite asientos de válvula ultracorrosivos y de temperatura ultraalta (resistencia a la presión $>400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$, resistencia a la temperatura $>600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). El reciclaje

sostenible

del polvo de WC (tasa de reciclaje > 80 % ± 5 %) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 20 % ± 3 %), de acuerdo con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para asientos de válvulas resistentes al desgaste de carburo

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

API 6A (Estándar para equipos de petróleo y gas)

ISO 10423 (Norma para válvulas y equipos de cabezal de pozo)

AMS 2750 (Norma de tratamiento térmico aeroespacial)

DNVGL-RP-C203 (Reglas de diseño para estructuras offshore)

ASME B16.34 (Norma de clasificación de presión y temperatura de válvulas)

ISO 13485 (Sistema de Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos)

ISO 8062 (norma de tolerancia de fundición)

SEMI F19 (Estándar de fabricación de semiconductores)

GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

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



en.com

www.ch

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

Brocas de carburo resistentes al desgaste para minería

Las brocas de carburo resistentes al desgaste para minería son herramientas de perforación de alto rendimiento diseñadas para la minería de rocas de alta dureza, la perforación de pozos profundos y condiciones de trabajo extremas. Se utilizan ampliamente en minería, perforación petrolera y exploración geológica. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando así una alta eficiencia y fiabilidad a largo plazo en perforaciones de alta intensidad. Como componente clave del sistema de perforación, las brocas de carburo resistentes al desgaste para minería influyen directamente en la velocidad de perforación, la precisión de apertura y la vida útil del equipo.

Propiedades físicas y químicas de las brocas de carburo cementado resistentes al desgaste para minería.

Las brocas de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia al impacto. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5\text{ }\mu\text{m}$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8\text{ }\mu\text{m}$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

La geometría de la broca se personaliza según la dureza de la roca, incluyendo cabezales de corte cilíndricos o cónicos con un diámetro de $50-200\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ y una longitud de $100-300\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, montados en tubería de perforación de acero (resistencia a la tracción $>1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$, dureza HRC $45-55 \pm 2$). Los métodos de fijación incluyen conexión roscada mecánica (par de torsión $>50\text{ N}\cdot\text{m} \pm 5\text{ N}\cdot\text{m}$) o soldadura (resistencia de la soldadura $>800\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), lo que garantiza un funcionamiento estable con un par de torsión alto ($500-2000\text{ N}\cdot\text{m} \pm 100\text{ N}\cdot\text{m}$, valor pico de hasta $2500\text{ N}\cdot\text{m} \pm 150\text{ N}\cdot\text{m}$). La superficie del filo puede recubrirse con múltiples capas de recubrimiento (como TiN, TiAlN o DLC, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$), lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$ y mejora la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño integra mecánica de corte y optimización de la conducción térmica, con un ángulo de corte de $10^\circ-20^\circ \pm 2^\circ$, apto para temperaturas de funcionamiento de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características de las brocas de carburo resistentes al desgaste para minería

Las propiedades del material de las brocas de minería resistentes al desgaste de carburo cementado

WC proporcionan una alta dureza (HV 1800-2200 $\pm$ 30, localmente hasta 2400-2600 $\pm$ 50), y su estructura cristalina hexagonal imparte excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica (K_1 c 12-18 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor pico hasta 20 MPa $\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$), y absorbe la energía del impacto ($> 80\text{ J} \pm 10\text{ J}$, valor pico instantáneo $> 200\text{ J} \pm 20\text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,03\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $< 0,015\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), densidad 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. La adición de Cr $_3\text{C}_2$ genera una capa protectora de Cr $_2\text{O}_3$ (espesor $< 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01\text{ mm/año} \pm 0,001\text{ mm/año}$, resistencia a Cl $^-$ $> 5000\text{ horas} \pm 200\text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ mantiene el 90% $\pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento de las brocas de carburo resistentes al desgaste para minería

La broca es impulsada por un equipo de perforación (velocidad 50-300 rpm $\pm 10\text{ rpm}$, empuje 10-50 kN $\pm 2\text{ kN}$, potencia 100-500 kW $\pm 50\text{ kW}$), y la perforación se logra rompiendo la roca a través del borde de corte. La superficie del borde de corte está sujeta a alta fricción y carga térmica (temperatura de la superficie 100-600 $^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, extrema hasta 700 $^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$), y la tubería de perforación proporciona soporte estructural (resistencia a la tracción $> 1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$), conducción de calor (conductividad térmica 40-50 W / m $\cdot\text{K} \pm 2\text{ W / m} \cdot\text{K}$) y resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, carga cíclica $> 200\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$). El diseño de precisión de la broca garantiza que la tolerancia se controle en $\pm 0,05\text{ mm} \pm 0,02\text{ mm}$, la rugosidad de la superficie Ra $< 0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$ y la desviación de perforación es $< 0,5^{\circ} \pm 0,2^{\circ}$.

El rendimiento de las brocas de carburo cementado resistentes al desgaste para minería

está optimizado para superar las 400-700 horas $\pm 50\text{ horas}$ de vida útil y 5-20 m/h $\pm 1\text{ m/h}$ (potencia $> 200\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$) al perforar granito (dureza HV 1000 ± 50), arenisca (500 MPa) o vetas profundas de carbón (300 MPa). El análisis SEM no muestra desgaste evidente en el filo de corte, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la termografía muestra una distribución de la tensión térmica $< 150\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las brocas mineras resistentes al desgaste de carburo cementado

El contenido de Co de

6%-12% $\pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del 10% $\pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un 5% $\pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Se prefiere 8%-10% $\pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $<0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para formaciones rocosas de dureza media, $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y reduce la tenacidad en un $10 \% \pm 2 \%$. El ángulo de corte

geométrico

de $10^\circ-20^\circ \pm 2^\circ$ optimiza la eficiencia de perforación (empuje $<30 \text{ kN} \pm 2 \text{ kN}$, consumo de energía $<20 \text{ kWh/m}^3 \pm 2 \text{ kWh/m}^3$), $>20^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia en un $10 \% \pm 2 \%$, $<10^\circ \pm 2^\circ$ conduce fácilmente a un riesgo de corte desigual del $5 \% \pm 1 \%$.

El tratamiento superficial

del filo de corte con un espesor de $2-4 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$), $<2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ acorta la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$, $>4 \text{ mm} \pm 0,1$ El coste de mm aumenta en un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento de TiAlN (espesor $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de deposición $500-600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,15 \pm 0,05$) y mejora la resistencia a altas temperaturas ($>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$).

Tratamiento térmico:

El temple de la tubería de perforación (dureza HRC $45-55 \pm 2$, profundidad $2-5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, temperatura de temple $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) mejora el rendimiento del soporte, reduce la vida útil de la tubería de perforación sin templar en un $15 \% \pm 3 \%$ y el revenido ($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4$ horas $\pm 0,5$ horas) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$. Una temperatura

ambiente de trabajo

$> 600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, un contenido de agua $> 5 \% \pm 1 \%$ o un contenido de impurezas $> 3 \% \pm 0,5 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$ y un entorno que contiene Cl^- (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta la tasa de corrosión a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Parámetros del equipo

: velocidad $50-300 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$, empuje $10-50 \text{ kN} \pm 2 \text{ kN}$, potencia $100-500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$, afectan la vida útil y la eficiencia de la broca. Un exceso de parámetros (superior al límite superior del $10 \% \pm 1 \%$) reduce la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de brocas de carburo resistentes al desgaste para minería

Las brocas cilíndricas

son adecuadas para la perforación de roca dura (HV 1000 ± 50), diámetro $100-200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, fuerte resistencia al impacto ($> 80 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$), vida útil de $500 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$ en una mina en 2024.

Las brocas cónicas

se utilizan para rocas blandas o vetas de carbón ($300-500 \text{ MPa}$), diámetro $50-150 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, velocidad de perforación rápida ($> 15 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$), eficiencia $18 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$ en una mina de carbón en

2023. Las brocas compuestas

combinan PDC y carburo, adecuadas para perforación profunda ($> 2000 \text{ m}$), diámetro $80-180 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, resistencia a altas temperaturas ($> 600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), vida útil de $700 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$ en un campo petrolífero en 2025.

Las brocas especiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

incluyen pozos ultraprofundos (>3000 m) y tipos de roca ultradura, adecuadas para entornos extremos, con una vida útil de prueba de 450 horas ± 50 horas en 2025.

Aplicación de

brocas de carburo resistentes al desgaste para minería Minería de metales

Se utiliza para perforación de granito en minas de cobre ($HV 1000 \pm 50$), vida útil de 500 a 700 horas ± 50 horas, de acuerdo con la norma ISO 10241. **Perforación petrolera**

Se utiliza para perforación profunda de petróleo y gas (> 2000 m), resistencia a altas temperaturas ($> 600^\circ C \pm 20^\circ C$), de acuerdo con la norma API 7-1.

Minería de carbón

para perforación de vetas de carbón ($300-500$ MPa), velocidad de perforación: $15-20$ m/h ± 1 m/h, conforme a la norma ISO 19250. **Exploración geológica**

para muestreo de roca dura ($HV 800 \pm 50$), precisión del diámetro del pozo: $\pm 0,05$ mm $\pm 0,02$ mm, conforme a la norma ASTM D2113. **Desarrollo energético**

para perforación geotérmica ($300-400$ MPa), resistencia térmica ($>600^\circ C \pm 20^\circ C$), conforme a la norma IEC 61730.

de tunelaje

: perforación de túneles en roca ($HV 900 \pm 50$), resistencia al impacto (>80 J ± 10 J), de acuerdo con EN 1997.

Estudio hidrográfico

para perforación de aguas subterráneas ($200-300$ MPa), resistencia a la corrosión (resistencia al Cl^- >5000 horas ± 200 horas), de acuerdo a la norma ISO 22475.

La cimentación del edificio

es adecuada para la perforación de pozos de cimentación profundos ($HV 700 \pm 50$), con una rugosidad superficial de $Ra < 0,2$ $\mu m \pm 0,1$ μm , de acuerdo con la norma ASTM D1586.

La minería de tierras raras

se utiliza para la perforación de rocas de tierras raras ($HV 1000 \pm 50$), lo que reduce el desgaste ($<1\% \pm 0,5\%$) y cumple con la norma GB/T 12686.

La ingeniería de defensa nacional

se utiliza para la perforación de túneles militares (>300 MPa), con una resistencia al desgaste de $>95\% \pm 2\%$, lo que cumple con la norma MIL-STD-810.

Progreso tecnológico y desarrollo de brocas mineras resistentes al desgaste de carburo cementado

El nuevo material

introduce nano-WC (grano $<0,5$ $\mu m \pm 0,01$ μm) para mejorar la dureza ($HV 2200-2600 \pm 50$) y agrega TaC y NbC para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($>700^\circ C \pm 20^\circ C$ mantiene el $95\% \pm 2\%$).

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0,05\%$) monitorean el desgaste del filo (profundidad > 1 mm $\pm 0,1$ mm) y la temperatura ($< 700^\circ C \pm 20^\circ C$) en tiempo real, optimizando los ciclos de reemplazo (error $< 5\% \pm 1\%$).

La tecnología de impresión 3D

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utiliza SLM (espesor de capa de $40-60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) para fabricar brocas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10 \% \pm 2 \%$.

Su adaptabilidad ambiental

permite el desarrollo de brocas para pozos ultraprofundos y rocas ultraduras (resistencia a la presión $> 400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$, resistencia a la temperatura $> 700 ^\circ\text{C} \pm 20 ^\circ\text{C}$).

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80 \% \pm 5 \%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO_2 $20 \% \pm 3 \%$) de conformidad con las normas ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para brocas de minería resistentes al desgaste de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

ISO 10241 (norma de minería de metales)

API 7-1 (Estándar para equipos de perforación de petróleo)

ISO 19250 (norma para la minería del carbón)

ASTM D2113 (Norma de exploración geológica)

MIL-STD-810 (Estándar de Ingeniería de Defensa Nacional)

GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)

JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)



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

¿Qué son las bolas de molienda de carburo?

Las bolas de carburo para molienda son un medio de molienda de alto rendimiento diseñado para procesos de molienda, trituración y mezcla de alta intensidad. Se utilizan ampliamente en el procesamiento de minerales, la fabricación de cerámica, la pulvimetalurgia y las industrias químicas. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con un mecanizado de precisión, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, al impacto y a la corrosión, garantizando así la eficiencia de molienda y la estabilidad del medio durante la molienda a largo plazo. Como componente clave del molino de bolas, las bolas de carburo para molienda afectan directamente el tamaño de las partículas, el rendimiento y la vida útil del equipo. Basándose en la información más reciente sobre la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de las bolas para molienda.

Propiedades físicas y químicas

de las bolas de carburo cementado para molienda. Estas bolas utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, y se complementan con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, VC $<1\% \pm 0,1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$, NbC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y al impacto. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y la tasa de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

La bola de molienda tiene una geometría esférica, con un diámetro de 5 a $50\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$, un acabado superficial $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$ y una desviación de calidad $< 0,5\% \pm 0,2\%$, lo que garantiza la uniformidad de la molienda. Se puede aplicar un recubrimiento multicapa (como TiN, CrN o WC/C, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$, lo que mejora la resistencia al desgaste y la antiadherencia (índice de adhesión $<1\% \pm 0,5\%$). El diseño incorpora optimización mecánica y es apto para temperaturas de funcionamiento de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $500\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.

Las propiedades del material de las bolas de molienda de carburo cementado

WC proporcionan una alta dureza ($\text{HV } 1800-2200 \pm 30$, localmente hasta $2400-2600 \pm 50$), y su estructura cristalina hexagonal proporciona una excelente resistencia al desgaste y la erosión (temperatura de inicio de la oxidación $> 800\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$, resistencia a la oxidación $> 95\% \pm 2\%$); Co mejora la tenacidad a través del fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

($K_{1c} \leq 12-18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, valor máximo hasta $20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), y absorbe la energía del impacto ($> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, valor máximo instantáneo $> 120 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$). Granos finos y microestructura optimizada, tasa de desgaste $< 0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (preferiblemente $< 0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de expansión térmica (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. La adición de Cr_3C_2 genera una capa protectora de Cr_2O_3 (espesor $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), que mejora la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,001 \text{ mm/año}$, resistencia a $\text{Cl}^- > 5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$); TaC y NbC aumentan la dureza a alta temperatura ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ mantiene el $90\% \pm 2\%$ de la dureza inicial, estabilidad térmica $> 95\% \pm 2\%$).

Principio de funcionamiento de las bolas de carburo cementado para molienda.

Las bolas de molienda muelen materiales mediante colisión y fricción mutuas bajo la acción de un molino de bolas (velocidad $20-80 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$, carga $50-70 \% \pm 5 \%$, potencia $50-200 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). La superficie de la bola está sometida a altas cargas de impacto y térmicas (temperatura superficial $50-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, extrema hasta $600^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$), y la eficiencia de molienda está directamente relacionada con el diámetro de la bola y la velocidad de llenado. El diseño de precisión de la bola garantiza un control de tolerancia de $\pm 0,05 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, una rugosidad superficial $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ y una uniformidad de molienda $> 98 \% \pm 1 \%$.

Rendimiento de las bolas de molienda de carburo cementado

En condiciones de molienda de arena de cuarzo (dureza $\text{HV } 800 \pm 50$), alúmina (1000 MPa) o escoria (600 MPa), la vida útil optimizada de las bolas de molienda supera las $1000-1500 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, y el tamaño de partícula de molienda alcanza $\text{D}_{50} < 10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ (potencia $> 100 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$). El análisis SEM no muestra desgaste obvio en la superficie, la difracción de rayos X (DRX) verifica la alta cristalinidad de la fase WC ($> 95\% \pm 2\%$), y la imagen térmica muestra que la distribución de la tensión térmica es $< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$.

Factores que afectan el rendimiento de las bolas de molienda de carburo cementado

El contenido de Co de

$6\%-12\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad. $< 6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento del $10\% \pm 2\%$ en la tasa de agrietamiento, $> 12\% \pm 1\%$ reduce la dureza en un $5\% \pm 1\%$ y aumenta la expansión térmica (CTE $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Se prefiere $8\%-10\% \pm 0,5\%$ para equilibrar el rendimiento y el costo.

El tamaño de grano

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste y las microfisuras (tasa de desgaste $< 0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), $1-1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para materiales de dureza media, $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste en un $15 \% \pm 3 \%$ y la tenacidad disminuye en un $10 \% \pm 2 \%$.

El tamaño de bola

de $10-20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ optimiza la eficiencia de molienda (tamaño de partícula $\text{D}_{50} < 10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), $< 10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ reduce la eficiencia en un $10 \% \pm 2 \%$, $> 20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ aumenta el consumo de energía en un $15 \% \pm 2 \%$. Un espesor de recubrimiento

para tratamiento superficial

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ mejora la resistencia al desgaste (prolonga la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$), un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

espesor $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ acorta la vida útil en un $20 \% \pm 3 \%$ y un espesor $>1 \mu\text{m} \pm 0,1 \text{mm}$ aumenta el coste en un $15 \% \pm 2 \%$. El recubrimiento de CrN (temperatura de deposición de $400\text{-}450 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) reduce el coeficiente de fricción ($<0,15 \pm 0,05$) y mejora la resistencia a la corrosión (resistencia al $\text{Cl}^- > 6000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$).

Tratamiento térmico:

El temple de la esfera (dureza HV $1800\text{-}2200 \pm 30$, profundidad $1\text{-}2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, temperatura de temple $800\text{-}850 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) mejora las propiedades de la superficie, reduce la vida útil de la esfera no templada en un $15 \% \pm 3 \%$ y el revenido ($200\text{-}250 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{-}4 \text{ horas} \pm 0,5 \text{ horas}$) reduce la tensión residual en un $5 \% \pm 1 \%$. Una temperatura

ambiente de trabajo

$> 500 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ reduce la dureza en un $3 \% \pm 1 \%$, un contenido de agua $> 5 \% \pm 1 \%$ o un contenido de impurezas $> 3 \% \pm 0,5 \%$ aumenta el desgaste en un $5 \% \pm 1 \%$ y la tasa de corrosión en un entorno que contiene Cl^- (concentración $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$) aumenta a $0,015 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$.

Parámetros del equipo

: velocidad $20\text{-}80 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$, carga $50\text{-}70 \% \pm 5 \%$, potencia $50\text{-}200 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$, afectan la vida útil y la eficiencia de la bola. Parámetros excesivos (superiores al límite superior $10 \% \pm 1 \%$) reducen la vida útil en un $15 \% \pm 2 \%$.

Tipos de bolas de molienda de carburo:

Las bolas de molienda pequeñas,

con un diámetro de $5\text{-}10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, son adecuadas para molienda fina ($D_{50} < 5 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$).

Las bolas de molienda medianas,

con un diámetro de $10\text{-}20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, son adecuadas para materiales de dureza media.

Las bolas de molienda grandes,

con un diámetro de $20\text{-}50 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, son adecuadas para trituración y mezcla gruesa.

Las bolas de molienda especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas ($> 600 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y a la corrosión.

Aplicación de bolas de molienda de carburo cementado

Procesamiento de minerales

para molienda de mineral de hierro (HV 800 ± 50), vida útil $1000\text{-}1500 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, de acuerdo con ISO 10058. Fabricación de cerámica

para molienda de alúmina (1000 MPa), resistencia al desgaste $>95\% \pm 2\%$, de acuerdo con ISO 14704.

La pulvimetalurgia

se utiliza para la molienda de polvo metálico (HV 600 ± 50), con uniformidad $> 98 \% \pm 1 \%$, de acuerdo con la norma ASTM B214.

La industria química

es adecuada para la trituración de materias primas químicas ($300\text{-}500 \text{ MPa}$), resistente a la corrosión por Cl^- ($> 5000 \text{ horas} \pm 200 \text{ horas}$), de acuerdo con la norma ISO 3310.

Los materiales de batería

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se utilizan para la molienda de material de electrodo positivo de batería de litio ($HV\ 700 \pm 50$), con rugosidad superficial $Ra < 0,2\ \mu m \pm 0,1\ \mu m$, de acuerdo con la norma IEC 62619.

La producción de pintura

se utiliza para la molienda de pigmentos ($HV\ 500 \pm 50$), resistencia al impacto ($> 50\ J \pm 5\ J$), de acuerdo con la norma ASTM D1210.

La industria del cemento

se utiliza para la molienda de clínker (600 MPa), resistencia a altas temperaturas ($> 500\ ^\circ C \pm 20\ ^\circ C$), de acuerdo con la norma EN 197.

La fabricación farmacéutica

es adecuada para la micronización de fármacos ($HV\ 400 \pm 50$) y la resistencia a la corrosión ($> 4000 \pm 100$ horas), de acuerdo con la norma USP <429>.

El procesamiento de alimentos

se utiliza para la molienda de aditivos alimentarios ($HV\ 300 \pm 50$), de acuerdo con la norma FDA 21 CFR.

La nanotecnología

se utiliza para la molienda de nanomateriales ($HV\ 800 \pm 50$), con un tamaño de partícula de $D50 < 1\ \mu m \pm 0,1\ \mu m$, de acuerdo con la norma ISO 13099.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de las bolas de molienda de carburo cementado

Los nuevos materiales

incorporan nanoWC (grano $< 0,5\ \mu m \pm 0,01\ \mu m$) para mejorar la dureza ($HV\ 2200-2600 \pm 50$), y añaden TaC y NbC para mejorar la estabilidad a altas temperaturas ($> 600\ ^\circ C \pm 20\ ^\circ C$ para mantener el $95\ \% \pm 2\ \%$). Investigación en 2024: Resistencia al desgaste del recubrimiento de WC/C (tasa de desgaste $< 0,01\ mm^3 / N \cdot m \pm 0,01\ mm^3 / N \cdot m$). Sensor integrado

de monitoreo inteligente

(precisión $\pm 0.05\%$) monitoreo en tiempo real del desgaste de la bola (reducción de diámetro $> 0.5\ mm \pm 0.05\ mm$) y temperatura ($< 600\ ^\circ C \pm 20\ ^\circ C$), optimiza el ciclo de reemplazo (error $< 5\ \% \pm 1\ \%$), y una empresa lo probó con éxito en 2025.

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM (espesor de capa $40-60\ \mu m \pm 5\ \mu m$) para fabricar esferas complejas, lo que reduce el desperdicio de material en un $10\ \% \pm 2\ \%$.

Adaptabilidad ambiental

Desarrollo de bolas de molienda de ultraalta temperatura y ultracorrosión (resistencia a la temperatura $> 600\ ^\circ C \pm 20\ ^\circ C$, resistencia al Cl⁻ $> 7000\ horas \pm 200\ horas$). El reciclaje

sostenible

de polvo de WC (tasa de reciclaje $> 80\ \% \pm 5\ \%$) reduce la huella de carbono (reducción de CO₂ del $20\ \% \pm 3\ \%$), en línea con los estándares ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales para bolas de molienda de carburo cementado

Las normas nacionales e internacionales incluyen todas las siguientes normas relevantes y sus números:

ISO 10058 (Norma de procesamiento de minerales)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 14704 (norma de molienda de cerámica)
ASTM B214 (Norma de pulvimetalurgia)
ISO 3310 (Norma de detección química)
IEC 62619 (Estándar de materiales para baterías)
ASTM D1210 (Norma de recubrimientos)
EN 197 (norma de cemento)
USP <429> (Estándares farmacéuticos)
FDA 21 CFR (normas alimentarias)
ISO 13099 (Norma de nanotecnología)
GB/T 5760 (Requisitos técnicos generales para carburo cementado)
JB/T 7947 (Estándar de materiales para herramientas de corte de metal)



1

¿Qué son los rodillos resistentes al desgaste de carburo?

Los rodillos de carburo resistentes al desgaste son rodillos de alto rendimiento diseñados para procesos de laminación de metales y se utilizan ampliamente en la producción de barras, alambres, varillas corrugadas y tubos de acero sin costura en la industria siderúrgica. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y recubrimientos resistentes al desgaste, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y dureza al rojo a alta temperatura, garantizando así la precisión del laminado y una fiabilidad a largo plazo en condiciones de alta velocidad y carga. Como componente clave del laminador, los rodillos de carburo resistentes al desgaste influyen directamente en la calidad superficial del acero, la eficiencia del laminado y la vida útil del equipo.

Propiedades físicas y químicas de rodillos resistentes al desgaste de aleación dura

El rodillo de carburo cementado utiliza carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura y cobalto (Co, $6\%-30\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, Ni $0-10\% \pm 1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga térmica. Se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de los rodillos se personaliza según el tipo de laminador, incluyendo estructuras integrales y combinadas. El diámetro del rodillo integral es de $200-600\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ y la longitud de $500-2500\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$; el rodillo combinado incluye un anillo de carburo conectado mecánicamente o fundido a un eje de acero. Los métodos de fijación incluyen soldadura de alta frecuencia o conexiones atornilladas para garantizar un funcionamiento estable bajo cargas elevadas. Se puede aplicar un recubrimiento (como TiN, TiAlN o WC/C, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie del rodillo, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,15 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la antiadherencia. El diseño combina la conductividad térmica y la optimización mecánica, con un rango de temperatura de funcionamiento de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $700\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.

Características de los rodillos de carburo resistentes al desgaste

El WC proporciona alta dureza y su estructura cristalina hexagonal le confiere una excelente resistencia al desgaste y a la fatiga térmica; el Co mejora la tenacidad y absorbe la energía del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

impacto mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica. Los granos finos optimizan la microestructura; la tasa de desgaste es $<0,03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$; la densidad es de $14,8\text{-}15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$; el coeficiente de expansión térmica (CTE) es de $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. La adición de Ni y Cr_3C_2 mejora la resistencia a la corrosión; el TaC mejora la dureza a alta temperatura.

Principio de funcionamiento de los rodillos de carburo cementado resistentes al desgaste:

Los rodillos deforman plásticamente de forma continua la palanquilla metálica a través de las ranuras bajo la acción del laminador. La superficie del rodillo está sometida a alta fricción y carga térmica, y el eje del rodillo proporciona soporte estructural y resistencia a la fatiga. El diseño de precisión de los rodillos garantiza un control de tolerancia de ranura de $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, una rugosidad superficial $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ y una precisión de laminado de $<0,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Los rodillos de rendimiento optimizado ofrecen una excelente vida útil y eficiencia de laminado. El análisis SEM muestra que no hay desgaste evidente en las ranuras, la difracción de rayos X verifica la alta cristalinidad de la fase WC y la termografía muestra una baja distribución de la tensión térmica.

Factores que afectan el rendimiento de los rodillos resistentes al desgaste de carburo cementado

Un contenido de Co del

$6\%\text{-}30\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad; un contenido $<6\% \pm 1\%$ aumenta la tasa de agrietamiento; un contenido $>30\% \pm 1\%$ reduce la dureza y aumenta la expansión térmica; y un contenido del $10\%\text{-}15\% \pm 0,5\%$ es el preferido.

Un tamaño de grano de

$0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste; un tamaño de grano de $1\text{-}1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para la laminación de carga media; y un tamaño $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste.

Geometría de ranura:

Un ángulo de ranura de $10^\circ\text{-}20^\circ \pm 2^\circ$ optimiza la eficiencia de laminación; un ángulo $>20^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia; y un ángulo $<10^\circ \pm 2^\circ$ facilita la adhesión del metal. Un espesor de recubrimiento

de tratamiento superficial

de $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ mejora la resistencia al desgaste, mientras que el recubrimiento de TiAlN reduce el coeficiente de fricción y mejora la resistencia a altas temperaturas. El temple de rodillos

por tratamiento térmico

mejora el rendimiento del soporte, y el revenido reduce la tensión residual. Una temperatura

ambiente de trabajo

$>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ reduce la dureza, el contenido de agua o las impurezas aumentan el desgaste, y el entorno con Cl^- aumenta la velocidad de corrosión.

Los parámetros del equipo, como

la velocidad, la fuerza y la potencia de laminación, afectan la vida útil del rodillo, y parámetros demasiado altos la acortan.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tipos de rodillos de carburo resistentes al desgaste.

Los rodillos integrales

son adecuados para laminadores de alta carga, con un diámetro de 300-600 mm $\pm$ 5 mm.

Los rodillos combinados

incluyen anillos de carburo y ejes de acero, ideales para laminadores de alambre de alta velocidad.

Los rodillos compuestos tienen

anillos de carburo fundidos en el eje, ideales para laminadores de tres rodillos, y ofrecen una gran resistencia a altas temperaturas.

Los rodillos especiales

incluyen los de ultraalta temperatura y ultracorrosión.

Aplicaciones de los rodillos de carburo resistentes al desgaste

El laminado de barras

se utiliza para barras de acero con alto contenido de carbono con larga vida útil y cumple con las normas ISO 10241.

El laminado de alambre

se utiliza para alambres de alta velocidad con fuerte resistencia al desgaste y cumple con las normas API 7-1.

La producción de varillas de refuerzo

se utiliza para el laminado de varillas de refuerzo con fuerte resistencia al impacto y cumple con las normas EN 10080.

La fabricación de tubos de acero sin costura

se utiliza para trenes de laminación de tres rodillos con fuerte resistencia a altas temperaturas y cumple con las normas ASTM A519.

El laminado de aleaciones especiales

se utiliza para el laminado de aleaciones de titanio con fuerte resistencia a la corrosión y cumple con las normas AMS 4928.

Los rieles de ferrocarril

se utilizan para el laminado de rieles con baja rugosidad superficial y cumplen con las normas EN 13674.

Las piezas de automóviles

se utilizan para el laminado de acero para engranajes con alta precisión y cumplen con las normas ISO 683.

Los equipos de energía

se utilizan para el laminado de tubos de calderas de alta presión con fuerte resistencia al calor y cumplen con las normas ASME SA-213.

Normas nacionales e internacionales relevantes:

ISO 10241,

API 7-1, EN 10080, ASTM A519, AMS 4928, EN 13674, ISO 683, ASME SA-213, GB/T 5760, JB/T 7947

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



¿Qué son los engranajes de carburo?

Los engranajes de carburo son engranajes de alto rendimiento diseñados para altas cargas, transmisiones de precisión y condiciones de trabajo extremas. Se utilizan ampliamente en maquinaria pesada, la industria aeroespacial, la automoción, los equipos de energía y otros sectores. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y tratamiento superficial, para proporcionar una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia al impacto y resistencia a altas temperaturas, garantizando así la precisión de la transmisión y una fiabilidad a largo plazo en condiciones de alta velocidad y cargas pesadas. Como componente clave del sistema de transmisión, los engranajes de carburo influyen directamente en la eficiencia, el nivel de ruido y la vida útil del equipo. Basándose en la información más reciente sobre la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los engranajes.

Propiedades físicas y químicas de los engranajes de carburo cementado

Los engranajes de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-15\% \pm 1\%$) como fase de unión, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, Ni $0-5\% \pm 1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño del grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga térmica. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del engranaje se personaliza según los requisitos de la transmisión, incluyendo dientes rectos, helicoidales y cónicos. El rango del módulo es de $1-10\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$, el número de dientes es de $20-100 \pm 1$, la altura del diente es de $10-50\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ y se instala en un eje de acero. Los métodos de fijación incluyen conexión de chaveta o ajuste por contracción para garantizar un funcionamiento estable con alto par. La superficie del diente puede recubrirse (como TiN, TiAlN o DLC, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$), y el coeficiente de fricción se reduce a $<0,15 \pm 0,05$, lo que mejora la resistencia al desgaste y la antiadherencia. El diseño integra la mecánica de la transmisión y la optimización de la gestión térmica, y el rango de temperatura de funcionamiento es de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$.

Características de los rodillos de carburo resistentes al desgaste

El WC proporciona alta dureza, y su estructura cristalina hexagonal le otorga una excelente resistencia al desgaste y a la fatiga térmica; el Co mejora la tenacidad y absorbe la energía del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

impacto mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica. Los granos finos optimizan la microestructura, con una tasa de desgaste de $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, una densidad de $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ y un coeficiente de expansión térmica (CTE) de $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. La adición de Ni y Cr_3C_2 mejora la resistencia a la corrosión; el TaC aumenta la dureza a alta temperatura.

Principio de funcionamiento de los rodillos de carburo resistentes al desgaste:

Los engranajes transmiten potencia mediante el engrane de los dientes en el sistema de transmisión. La superficie del diente soporta altas presiones de contacto y cargas térmicas, y el eje proporciona soporte estructural y resistencia a la fatiga. El diseño de precisión de los engranajes garantiza una tolerancia del perfil del diente de $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, una rugosidad superficial $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ y una precisión de transmisión de $< 0,02^\circ \pm 0,01^\circ$.

Los engranajes optimizados ofrecen una excelente vida útil de la transmisión. El análisis SEM no muestra desgaste evidente en la superficie del diente, la difracción de rayos X verifica la alta cristalinidad de la fase WC y la termografía muestra una baja distribución de la tensión térmica.

Factores que afectan el rendimiento de los engranajes de carburo cementado:

un contenido de Co del

6 % al 15 % $\pm 1 \%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad; un contenido $< 6 \% \pm 1 \%$ aumenta la tasa de agrietamiento; un contenido $> 15 \% \pm 1 \%$ reduce la dureza y aumenta la expansión térmica; y un contenido de 8 % al 12 % $\pm 0,5 \%$ es el preferido.

Un tamaño de grano de

$0,5 \text{ a } 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste; un tamaño de grano de $1 \text{ a } 1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para la transmisión de carga media; y un tamaño $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste. Un ángulo de presión

del perfil del diente

de $20^\circ \pm 2^\circ$ optimiza la eficiencia de la transmisión; un tamaño $> 22^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia; y un tamaño $< 18^\circ \pm 2^\circ$ provoca fácilmente un engrane desigual. Un espesor de recubrimiento

de tratamiento superficial

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ mejora la resistencia al desgaste, mientras que el recubrimiento de TiAlN reduce el coeficiente de fricción y mejora la resistencia a altas temperaturas. El temple de engranajes

por tratamiento térmico

mejora las propiedades superficiales, y el revenido reduce la tensión residual. Una temperatura

ambiente de trabajo

$> 600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ reduce la dureza, el contenido de agua o las impurezas aumentan el desgaste, y el entorno con Cl^- aumenta la velocidad de corrosión.

Parámetros del equipo:

La velocidad, el par y la potencia afectan la vida útil del engranaje, y parámetros demasiado altos la acortan.

Tipos de engranajes de carburo:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los engranajes rectos

son adecuados para transmisiones de baja velocidad, con un módulo de $2-5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

Los engranajes helicoidales

son adecuados para transmisiones de velocidad media, con un módulo de $3-7 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

Los engranajes cónicos

son adecuados para transmisiones de alta velocidad, con un módulo de $1-3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$. Entre

los engranajes especiales

se incluyen los resistentes a altas temperaturas y a la corrosión.

Aplicación de engranajes de carburo

La maquinaria pesada

se utiliza para la transmisión de grúas, con una larga vida útil y de acuerdo con la norma ISO 6336.

La industria aeroespacial

se utiliza para engranajes de motores de aeronaves, con una fuerte resistencia a altas temperaturas y de acuerdo con la norma AMS 6265.

La industria automotriz

se utiliza para engranajes de caja de cambios, con bajo nivel de ruido y de acuerdo con la norma ISO 14635.

Los equipos de energía

se utilizan para engranajes de generación de energía eólica, con una fuerte resistencia a la fatiga y de acuerdo con la norma IEC 61400.

Los equipos de minería

se utilizan para engranajes de trituradoras, con una fuerte resistencia al impacto y de acuerdo con la norma ISO 10825.

La industria de construcción naval

se utiliza para la transmisión de hélices, con una fuerte resistencia a la corrosión y de acuerdo con la norma ABS.

La locomotora ferroviaria

se utiliza para la transmisión de caja de cambios, con alta precisión y de acuerdo con la norma EN 13232.

La tecnología robótica

se utiliza para la transmisión conjunta, con baja rugosidad superficial y de acuerdo con la norma ISO 9409.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro de engranajes de carburo cementado.

Los nuevos materiales

incorporan nano-WC para mejorar la dureza y añaden TaC y Ni para mejorar la estabilidad a altas temperaturas. Los sensores integrados

de monitoreo inteligente

monitorean el desgaste y la temperatura de la superficie del diente en tiempo real para optimizar los ciclos de reemplazo.

La tecnología de impresión 3D

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utiliza SLM para fabricar engranajes complejos y reducir el desperdicio de material.

La adaptabilidad ambiental

desarrolla engranajes de ultraalta temperatura y ultracorrosión. El reciclaje

sostenible

del polvo de WC reduce la huella de carbono y cumple con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales relevantes para engranajes de carburo cementado: ISO 6336

, AMS 6265, ISO 14635, IEC 61400, ISO 10825, EN 13232, ISO 9409, GB/T 5760, JB/T 7947



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

¿Qué es un buje de cojinete resistente al desgaste de carburo?

Los bujes de carburo resistentes al desgaste son de alto rendimiento, diseñados para soportar altas cargas, baja fricción y condiciones de trabajo extremas. Se utilizan ampliamente en maquinaria minera, perforación petrolera, bombas químicas y la industria automotriz. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo (como acero de tungsteno y sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y modificación de superficies, para ofrecer una excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y propiedades autolubricantes, garantizando así la estabilidad y la fiabilidad a largo plazo del rodamiento en condiciones de alta velocidad y cargas pesadas. Como componente clave del sistema de rodamientos, los bujes de carburo resistentes al desgaste influyen directamente en la precisión operativa, la vida útil y el coste de mantenimiento del equipo. Basándose en la información más reciente sobre la red y el progreso tecnológico de la industria en 2025, el siguiente contenido amplía exhaustivamente las características, los detalles técnicos y las aplicaciones de los bujes.

Propiedades físicas y químicas de los bujes de carburo cementado resistentes al desgaste.

Los bujes de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $6\%-12\% \pm 1\%$) como fase aglutinante, complementado con aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, Ni $0-5\% \pm 1\%$, TaC $1\%-3\% \pm 0,2\%$) para optimizar el tamaño de grano, la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d(-1/2)$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $95\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico del buje es cilíndrico o complejo, con un diámetro interior de $10-200\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$, un diámetro exterior de $20-250\text{ mm} \pm 0,2\text{ mm}$, una longitud de $20-300\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ y un espesor de pared de $5-50\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$. El acabado superficial $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$, con una tolerancia controlada de $\pm 0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$, garantiza la precisión del ajuste con el eje. Se puede aplicar un recubrimiento (como TiN, MoS_2 o DLC, con un espesor de $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie interior, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,1 \pm 0,05$, mejorando la resistencia al desgaste y la autolubricación. El diseño combina conductividad térmica y optimización mecánica, con un rango de temperatura de funcionamiento de -20°C a $500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$.

Características de los bujes de carburo resistentes al desgaste

El WC proporciona alta dureza, y su estructura cristalina hexagonal le da excelente resistencia al desgaste y la corrosión; el Co mejora la tenacidad y absorbe la energía del impacto a través del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica. Los granos finos optimizan la microestructura, con una tasa de desgaste de $<0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, una densidad de $14,8\text{-}15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ y un coeficiente de expansión térmica (CTE) de $6 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$. La adición de Ni y Cr_3C_2 mejora la resistencia a la corrosión; el TaC aumenta la dureza a alta temperatura.

Principio de resistencia al desgaste

de los bujes de carburo para rodamientos resistentes al desgaste. Los bujes del sistema de rodamientos proporcionan soporte y amortiguación mediante el contacto deslizante o rodante entre la superficie interior y el eje. La superficie interior está sometida a alta presión de contacto y carga térmica, y el buje proporciona baja fricción y alta resistencia al desgaste. Su diseño de precisión garantiza una tolerancia del diámetro interior de $\pm 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$, una rugosidad superficial $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ y una desviación radial $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

El buje optimizado tiene una vida útil excelente, el análisis SEM no muestra desgaste evidente en la superficie interna, la difracción de rayos X verifica la alta cristalinidad de la fase WC y la imagen térmica muestra una distribución baja del estrés térmico.

Factores que afectan el rendimiento de los bujes de carburo cementado resistentes al desgaste.

Un contenido de Co del

$6\%\text{-}12\% \pm 1\%$ logra el mejor equilibrio entre dureza y tenacidad, $<6\% \pm 1\%$ conduce a un aumento en la tasa de agrietamiento, $>12\% \pm 1\%$ reduce la dureza y aumenta la expansión térmica, y se prefiere del $8\%\text{-}10\% \pm 0,5\%$.

El tamaño de grano

de $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce efectivamente el desgaste, $1\text{-}1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para cargas medias y $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste.

Precisión del diámetro interior

La tolerancia del diámetro interior $\pm 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ optimiza la precisión de ajuste, $> \pm 0,02 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ reduce la eficiencia y $< \pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ aumenta los costos de procesamiento. Un espesor de recubrimiento

de tratamiento superficial

de $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ mejora la resistencia al desgaste, y el recubrimiento de MoS_2 reduce el coeficiente de fricción y mejora la autolubricación.

El temple del buje

mediante tratamiento térmico mejora las propiedades superficiales, y el revenido reduce la tensión residual. Una temperatura

ambiente de trabajo

$>500 ^\circ \text{C} \pm 20 ^\circ \text{C}$ reduce la dureza, el contenido de agua o las impurezas aumentan el desgaste, y el entorno con Cl^- aumenta la velocidad de corrosión.

Parámetros del equipo:

La velocidad, la carga y la potencia afectan la vida útil del buje, y parámetros demasiado altos la acortan.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tipos de bujes de carburo resistentes al desgaste para rodamientos.

Los bujes estándar

con un diámetro interior de 10-50 mm $\pm$ 0,1 mm son adecuados para rodamientos de baja velocidad.

Los bujes medianos

con un diámetro interior de 50-100 mm $\pm$ 0,1 mm son adecuados para cargas medias.

Los bujes grandes

con un diámetro interior de 100-200 mm $\pm$ 0,1 mm son adecuados para rodamientos de alta carga.

Los bujes especiales

incluyen tipos resistentes a altas temperaturas y a la corrosión.

Aplicación de bujes de carburo resistentes al desgaste.

La maquinaria minera

se utiliza para rodamientos de trituradoras, con una larga vida útil y de acuerdo con las normas ISO 10825.

La perforación petrolera

se utiliza para bujes de bombas de perforación, con una fuerte resistencia a la corrosión y de acuerdo con las normas API 7K.

Las bombas químicas

se utilizan para bombas de medios corrosivos, con resistencia a la corrosión química y de acuerdo con las normas ISO 13709.

La industria automotriz

es adecuada para rodamientos de motor, con bajo nivel de ruido y de acuerdo con las normas ISO 14635.

Los equipos de energía

se utilizan para rodamientos de generación de energía eólica, con una fuerte resistencia a la fatiga y de acuerdo con las normas IEC 61400.

La industria de la construcción naval

se utiliza para bujes de sistemas de propulsión, con resistencia a la corrosión del agua de mar y de acuerdo con las normas ABS.

La maquinaria agrícola

se utiliza para rodamientos de tractores, con baja rugosidad superficial y de acuerdo con las normas ISO 4254.

Los equipos médicos

son adecuados para bujes de bombas de alta precisión, con alta precisión y de acuerdo con las normas ISO 13485.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro

de bujes de carburo cementado resistentes al desgaste. Los nuevos materiales

incorporan nanoWC para mejorar la dureza y añaden TaC y Ni para mejorar la estabilidad a altas temperaturas. Los sensores integrados

de monitorización inteligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

monitorean el desgaste y la temperatura de la superficie interna en tiempo real para optimizar los ciclos de reemplazo.

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM para fabricar bujes complejos y reducir el desperdicio de material.

La adaptabilidad ambiental

permite desarrollar bujes resistentes a temperaturas ultraaltas y a la ultracorrosión. El reciclaje sostenible

del polvo de WC reduce la huella de carbono y cumple con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales relacionadas con bujes de carburo resistentes al desgaste: ISO

10825,

API 7K, ISO 13709, ISO 14635, IEC 61400, ISO 4254, ISO 13485, GB/T 5760, JB/T 7947



1

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

¿Cuáles son los instrumentos y equipos médicos de carburo cementado?

Los instrumentos y equipos médicos de carburo cementado son herramientas médicas de alto rendimiento diseñadas para ofrecer alta precisión, biocompatibilidad y durabilidad, y se utilizan ampliamente en cirugía, odontología, ortopedia y diagnóstico. Su principal ventaja reside en el uso de materiales de carburo cementado (como acero de tungsteno, sistema WC-Co), combinado con mecanizado de precisión y tratamiento superficial, para proporcionar excelente dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y propiedades antibacterianas, garantizando así la precisión y seguridad de las herramientas en entornos quirúrgicos complejos y condiciones de uso prolongado. Como componente clave en el campo médico, los instrumentos médicos de carburo cementado influyen directamente en la eficiencia quirúrgica, la recuperación del paciente y la vida útil del equipo.

Propiedades físicas y químicas de los dispositivos médicos de carburo cementado.

Los dispositivos médicos de carburo cementado utilizan carburo de tungsteno (WC, contenido $>90\% \pm 1\%$) como fase dura, cobalto (Co, $4\%-8\% \pm 1\%$) como fase de unión y aditivos traza (como Cr_3C_2 $0,5\%-2\% \pm 0,1\%$, TaC $0,5\%-1,5\% \pm 0,1\%$, Ni $0-3\% \pm 0,5\%$) para optimizar el tamaño de grano, la resistencia al desgaste y la biocompatibilidad. Se preparan mediante un proceso de pulvimetalurgia. Los métodos comunes incluyen el prensado isostático en caliente (HIP, temperatura $1400-1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, tiempo de retención $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$) o la sinterización por plasma por chispa (SPS, temperatura $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, presión $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de retención $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), lo que garantiza que el material alcance el $99,9\% \pm 0,1\%$ de la densidad teórica y que la porosidad sea $<0,1\% \pm 0,05\%$. El tamaño de grano se controla con precisión entre $0,5$ y $1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (preferiblemente entre $0,8$ y $1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), y el equilibrio óptimo entre dureza y tenacidad se logra mediante la ecuación de Hall-Petch ($\sigma_y = \sigma_0 + k_d \cdot d^{-1/2}$). La uniformidad de la microestructura alcanza el $96\% \pm 2\%$ (análisis metalográfico) y el índice de endurecimiento local del límite de grano es $>98\% \pm 1\%$.

El diseño geométrico de los instrumentos se personaliza según la finalidad, incluyendo hojas quirúrgicas, tijeras, brocas y pinzas, con un rango de tamaño de $0,5-50\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$, una tolerancia de $\pm 0,01\text{ mm} \pm 0,005\text{ mm}$ y un acabado superficial de $R_a < 0,05\text{ }\mu\text{m} \pm 0,02\text{ }\mu\text{m}$. Se pueden aplicar recubrimientos biocompatibles (como TiN, ZrN o DLC, con un espesor de $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) a la superficie, lo que reduce el coeficiente de fricción a $<0,1 \pm 0,05$, lo que mejora la resistencia al desgaste y las propiedades antibacterianas. El diseño combina ergonomía y optimización de la gestión térmica, con un rango de temperatura de funcionamiento de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $200\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, que cumple con los estándares de seguridad para el contacto humano.

Características de los dispositivos médicos de carburo cementado

El WC proporciona alta dureza, y su estructura cristalina hexagonal le da excelente resistencia al desgaste y la corrosión; el Co mejora la tenacidad y absorbe la energía del impacto mediante el fortalecimiento de la solución sólida y la deformación plástica. Los granos finos optimizan la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microestructura, con una tasa de desgaste de $<0,02 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, una densidad de $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ y un coeficiente de expansión térmica (CTE) de $6 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$. La adición de Cr_3C_2 y TaC mejora la resistencia a la corrosión; el Ni optimiza la biocompatibilidad y cumple con las normas ISO 10993.

Principio de funcionamiento de los instrumentos médicos de carburo cementado.

Los instrumentos utilizan bordes afilados o brocas para procesar con precisión tejidos o materiales durante cirugías o diagnósticos. La superficie de trabajo está sometida a una alta presión de contacto y una ligera carga térmica, y el recubrimiento reduce la adhesión tisular y mejora las propiedades antibacterianas. El diseño de precisión garantiza una tolerancia del borde de $\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, una rugosidad superficial $R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ y una precisión de corte de $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$.

La herramienta optimizada tiene una excelente vida útil, el análisis SEM no muestra daños evidentes en el filo, la difracción de rayos X verifica la alta cristalinidad de la fase WC y las pruebas antibacterianas muestran una alta tasa de inhibición.

Factores que afectan el rendimiento de los dispositivos médicos de carburo cementado:

Un contenido de Co del

4 % al 8 % $\pm 1 \%$ logra el mejor equilibrio entre dureza, tenacidad y biocompatibilidad; un contenido $< 4 \%$ $\pm 1 \%$ aumenta la tasa de agrietamiento; un contenido $> 8 \%$ $\pm 1 \%$ reduce la dureza y aumenta el riesgo de citotoxicidad; y un contenido de 5 % al 7 % $\pm 0,5 \%$ es el preferido.

Un tamaño de grano

de $0,5$ a $1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduce eficazmente el desgaste; un tamaño de grano de 1 a $1,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ es adecuado para cargas medias; y un tamaño $> 1,5 \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tasa de desgaste. Un ángulo de corte de

15

$^\circ$ a $25^\circ \pm 2^\circ$ optimiza la eficiencia de corte; un ángulo $> 25^\circ \pm 2^\circ$ reduce la eficiencia; y un ángulo $< 15^\circ \pm 2^\circ$ provoca fácilmente el agrietamiento del filo. Un espesor de recubrimiento

para tratamiento superficial

de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ mejora la resistencia al desgaste y las propiedades antibacterianas, mientras que el recubrimiento de ZrN reduce el coeficiente de fricción y mejora la biocompatibilidad. El temple de las herramientas

con tratamiento térmico

mejora las propiedades superficiales, y el revenido reduce la tensión residual. Una temperatura

ambiente de trabajo

$> 200^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ reduce la dureza, el contenido de agua o las manchas de sangre aumentan el desgaste, y el entorno con Cl^- aumenta la tasa de corrosión.

Parámetros del equipo:

La velocidad de corte, la carga y la potencia afectan la vida útil del equipo, y parámetros demasiado altos la acortan.

Instrumental médico de carburo.

Las hojas quirúrgicas de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tienen una longitud de 5-20 mm $\pm$ 0,05 mm, ideales para cortar tejidos blandos.

Las fresas dentales de carburo

tienen un diámetro de 1-5 mm $\pm$ 0,01 mm, ideales para perforar el esmalte.

El instrumental ortopédico de carburo

incluye hojas de sierra y destornilladores, con una longitud de 20-50 mm $\pm$ 0,1 mm.

El instrumental especializado de carburo

incluye pinzas resistentes a la corrosión y herramientas de esterilización a alta temperatura.

Aplicación de instrumentos médicos de carburo cementado

Cirugía general

para corte de tejido, larga vida útil, de acuerdo con las normas ISO 7153.

Odontología

para preparación de coronas, fuerte resistencia al desgaste, de acuerdo con las normas ISO 1797.

Ortopedia

para fijación de fracturas, fuerte resistencia al impacto, de acuerdo con las normas ASTM F136.

Neurocirugía

para cirugía mínimamente invasiva, baja rugosidad superficial, de acuerdo con las normas ISO 13485.

Cirugía plástica

para procesamiento de implantes, buena biocompatibilidad, de acuerdo con las normas ISO 10993.

Oftalmología

para cirugía de córnea, alta precisión de corte, de acuerdo con las normas ISO 10939.

Veterinaria

para cirugía animal, fuerte resistencia a la corrosión, de acuerdo con las normas AVMA.

Instrumentos de diagnóstico

para agujas de biopsia, fuertes propiedades antibacterianas, de acuerdo con las normas ISO 11607.

Progreso tecnológico y desarrollo futuro.

Nuevos materiales

incorporan nano-WC para mejorar la dureza y añaden TaC y Ni para mejorar la biocompatibilidad.

Monitoreo inteligente:

Sensores integrados monitorean el desgaste y la temperatura de los bordes en tiempo real para optimizar los ciclos de reemplazo.

La tecnología de impresión 3D

utiliza SLM para fabricar instrumentos complejos y reducir el desperdicio de material.

La adaptabilidad ambiental

desarrolla instrumentos ultrarresistentes a la corrosión y antibacterianos. El reciclaje

sostenible

del polvo de WC reduce la huella de carbono y cumple con la norma ISO 14040.

Normas nacionales e internacionales relevantes: ISO

7153

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

, ISO 1797, ASTM F136, ISO 13485, ISO 10993, ISO 10939, ISO 11607, GB/T 5760, YY/T 0290



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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

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
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