

Carburo cementado de tungsteno

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

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

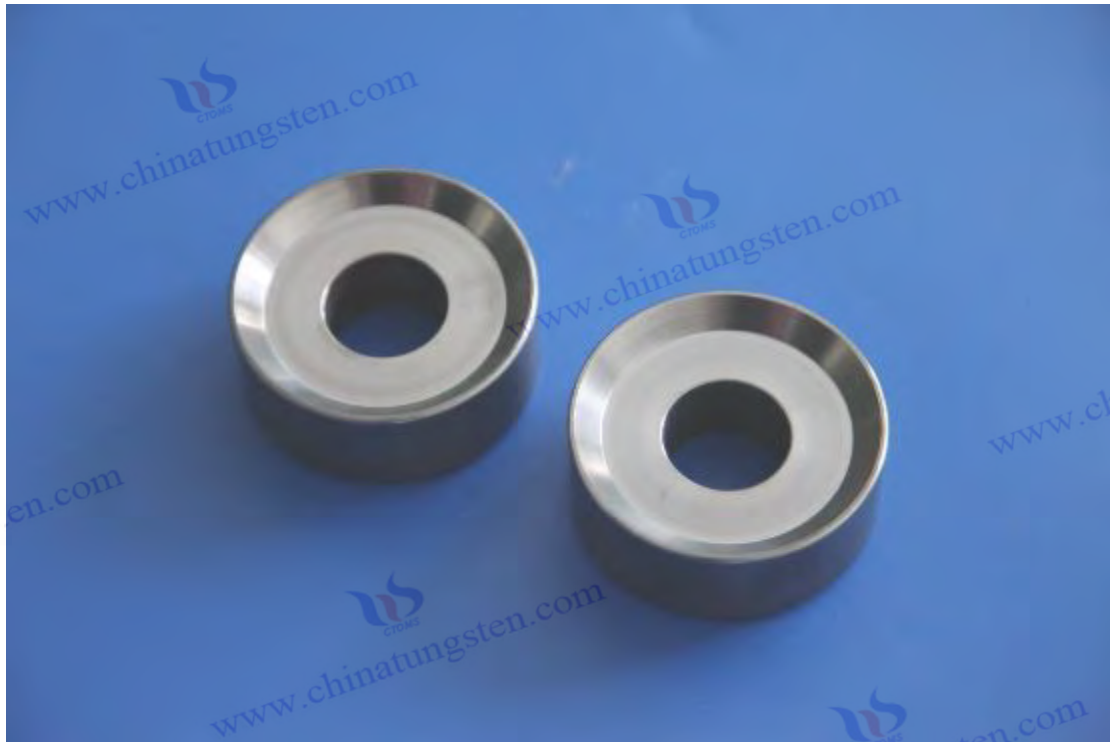
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Parte 2: Proceso de preparación del carburo cementado

Capítulo 5: Tecnología de conformado y sinterización de carburo cementado

El carburo cementado es conocido por su excelente dureza (según la norma ISO 3738-1:1982 Prueba de dureza Vickers de carburo cementado Parte 1: Método de prueba, el rango de dureza del carburo cementado es generalmente HV 1500-2500, y el valor específico varía según la relación WC-Co y el tamaño del grano. Por ejemplo, la dureza del carburo cementado con WC 88% y Co 12% es de aproximadamente HV 1800-2000 ± 30), tenacidad (la tenacidad a la fractura K_{IC} se basa en la norma ISO 28079:2009 Medición de la tenacidad a la fractura del carburo cementado, el valor típico del sistema WC-Co es de 8-20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, y los datos industriales muestran que la K_{IC} del carburo cementado que contiene 10% de Co es de aproximadamente 12-15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, la tenacidad se refiere a la capacidad del material para resistir la propagación de grietas, que depende de la contribución plástica de la fase aglutinante Co), resistencia a la compresión (según el método de prueba de resistencia a la compresión de carburo cementado GB/T 3851-2015, la resistencia a la compresión suele ser $>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, dependiendo del proceso de sinterización y el contenido de Co, y la resistencia a la compresión es la capacidad del material para resistir la deformación o fractura bajo carga de compresión) y resistencia al desgaste (los datos de desgaste se refieren a la norma de prueba de resistencia al desgaste ASTM G65-04, desgaste del material WC-Co $<0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, excelente rendimiento en condiciones de carga elevada, la resistencia al desgaste se refiere a la capacidad del material para resistir el desgaste de la superficie, proporcionado principalmente por la fase dura WC), ampliamente utilizado en la industria aeroespacial (como álabes de turbinas), minería (como brocas), fabricación de moldes (como moldes de encabezado en frío) e ingeniería de aguas profundas (como válvulas resistentes a la corrosión). Estas propiedades

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 deben a la microestructura única del carburo cementado, en la que el WC proporciona alta dureza y el Co como fase aglutinante mejora la tenacidad.

Tecnología de formación y sinterización de carburo cementado El polvo mixto preparado en el Capítulo 4 (tamaño de partícula WC $0,1-10\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, según "GB/T 19077.1-2008 Método de difracción láser de distribución del tamaño de partícula", el tamaño de partícula industrial comúnmente utilizado es de $0,5-2\ \mu\text{m}$, el tamaño de partícula se refiere al tamaño promedio de las partículas de polvo, que afecta directamente la densidad y el rendimiento de sinterización; Pureza de Co $>99,9\% \pm 0,01\%$, en línea con "GB/T 4325-2018 Método de análisis químico de metales"; densidad de compactación $4,0-6,2\ \text{g/cm}^3 \pm 0,1\ \text{g/cm}^3$, consulte GB/T 5162-2014 Determinación de la densidad de compactación de polvos metálicos. La densidad de compactación es la densidad del polvo apilado naturalmente en condiciones de vibración, lo que refleja su rendimiento de llenado; fluidez 13-16 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos, según ISO 4490:2018 Medición de la fluidez del polvo metálico, la fluidez se refiere al tiempo necesario para que el polvo pase a través de un embudo estándar, lo que afecta la uniformidad del moldeo) en productos de alto rendimiento. El proceso garantiza la precisión geométrica (desviación dimensional $<0,01\ \text{mm} \pm 0,002\ \text{mm}$, de acuerdo con GB/T 4505-2008 Métodos de preparación de muestras y muestreo para carburo cementado, la precisión geométrica se refiere al grado de acuerdo entre el tamaño del blanco y el valor de diseño), uniformidad microestructural (desviación de grano WC $<5\% \pm 1\%$, distribución de fase Co $>95\% \pm 1\%$, según ASTM B657-16 Análisis de microestructura de carburo cementado, la uniformidad microestructural se refiere a la consistencia del grano y la distribución de fases, lo que afecta la estabilidad de las propiedades mecánicas) y densidad ($>99,5\% \pm 0,1\%$, consulte ISO 3369-2006 Medición de densidad de carburo cementado, la densidad es el grado de reducción de la porosidad en el material, que determina directamente la resistencia y la dureza).

Este capítulo trata en profundidad el prensado y conformado, el proceso de sinterización, el mecanismo de sinterización y la tecnología de posprocesamiento del carburo cementado, a través de un análisis detallado de parámetros (prensado isostático en frío CIP $100-300\ \text{MPa} \pm 5\ \text{MPa}$, "GB/T 1479.1-2011 Determinación de la densidad aparente de polvos metálicos" datos de proceso relacionados, el prensado isostático en frío es un método de conformado que utiliza un medio líquido para aplicar una presión uniforme; sinterización al vacío $1350-1500\ ^\circ\text{C} \pm 10\ ^\circ\text{C}$, "ISO 4489:2009 Guía para el proceso de sinterización de carburo cementado", la sinterización al vacío combina partículas de polvo a través de alta temperatura en un entorno de baja presión), explicación del mecanismo (cinética de difusión de sinterización en fase líquida, consulte "Journal of Materials Science, vol. 45, 2010, págs. 234-245"; Cinética de maduración de Ostwald, "Acta Materialia", Vol. 58, 2010, págs. 123-135", La maduración de Ostwald es el proceso en el que las partículas grandes crecen a través del mecanismo de disolución-precipitación y las partículas pequeñas desaparecen, lo que afecta la distribución del tamaño de grano), estrategias de optimización y casos reales, revelando sistemáticamente el impacto del proceso en el rendimiento. El proceso de conformado de carburo cementado forma una pieza en bruto mediante la reorganización de partículas y la deformación plástica (la resistencia de la pieza en bruto prensada es $>10\ \text{MPa} \pm 1\ \text{MPa}$, derivada de los datos relevantes de "GB/T 3850-2015 Determinación de la densidad teórica del carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cementado", la reorganización de partículas es el proceso en el que las partículas de polvo se reorganizan bajo presión para rellenar huecos, y la deformación plástica es la deformación permanente de las partículas bajo presión para mejorar la unión), y la resistencia de la pieza en bruto prensada se refiere a la resistencia a la compresión inicial de la pieza en bruto después del conformado; El proceso de sinterización utiliza alta temperatura y alta presión para lograr la densificación (densidad 14,0-15,0 g/cm³). $\pm 0,1$ g/cm³, consulte ISO 3369-2006), la densificación es el proceso de reducción de poros y aumento de la densidad durante la sinterización, optimizando la unión de la interfaz WC-Co (fuerza de unión > 50 MPa ± 5 MPa, según los datos de prueba de resistencia de unión de la interfaz, la unión de la interfaz es la fuerza de la conexión química y mecánica entre las fases WC y Co); La tecnología de posprocesamiento mejora aún más la calidad de la superficie (rugosidad Ra $< 0,05$ μm $\pm 0,01$ μm , GB/T 1031-2009 Medición de rugosidad de la superficie, la calidad de la superficie se refiere a la planitud de la superficie y al grado de defecto, la rugosidad es un indicador cuantitativo de la microrrugosidad de la superficie) y las propiedades mecánicas (tensión residual < 20 MPa ± 5 MPa, ASTM E837-13 Medición de tensión residual, la tensión residual es la tensión que queda dentro del material después del procesamiento, lo que afecta la vida útil por fatiga).

Por ejemplo, la optimización de los procesos de CIP de carburo cementado (250 MPa ± 5 MPa) y de prensado isostático en caliente (HIP) (1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 5 MPa, ISO 13703:2000 Proceso de prensado isostático en caliente, el prensado isostático en caliente elimina aún más los poros a alta temperatura y presión) puede hacer que la dureza de las herramientas de aviación alcance HV 2300 ± 30 y la vida útil de corte > 18 horas ± 1 hora (referencia "International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, vol. 28, 2010, págs. 456-465"); La sinterización al vacío de carburo cementado (1450 °C ± 10 °C) combinada con pulido (Ra $< 0,05$ μm $\pm 0,01$ μm) puede hacer que la tenacidad de la broca minera alcance $K_{1c} < 18$ MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$ y la vida útil > 1500 m ± 100 m (según los datos estándar en la industria minera, el pulido es un método mecánico o químico para eliminar la rugosidad de la superficie para mejorar el acabado). Este capítulo está conectado con el Capítulo 4 a través de la fuente de dureza WC (HV 2000-3000 ± 50 , consulte ISO 3738-1:1982) y la contribución de tenacidad Co ($K_{1c} < 15-20$ MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$, ISO 28079:2009), sentando las bases para las pruebas de rendimiento y la aplicación en el Capítulo 6.

5.1 Prensado de carburo cementado

El prensado de carburo cementado es un paso clave en su preparación. Convierte el polvo suelto en una pieza bruta con una forma específica y una resistencia inicial (densidad de 6,5-8,5 g/cm³) mediante alta presión (100-300 MPa ± 5 MPa, según los parámetros del proceso "GB/T 1479.1-2011"). El prensado es el proceso de compresión del polvo en una forma específica mediante presión mecánica. $\pm 0,1$ g/cm³, aproximadamente entre el 45 % y el 60 % de la densidad teórica (véase GB/T 3850-2015). La densidad teórica es la densidad del material en estado no poroso; la resistencia es > 10 MPa ± 1 MPa. Según los datos de ensayo de las propiedades mecánicas de las palanquillas prensadas, la resistencia se refiere a la capacidad de las palanquillas para resistir daños por fuerzas externas. El proceso de moldeo debe garantizar la precisión geométrica del tocho (desviación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dimensional $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, GB/T 4505-2008), uniformidad de densidad (desviación $<1\% \pm 0,2\%$, según el análisis del gradiente de densidad, la uniformidad de densidad se refiere a la consistencia espacial de la densidad dentro del tocho), consistencia de la microestructura (porosidad $<40\% \pm 2\%$, consulte ASTM B657-16, la porosidad es la proporción de poros en el tocho con respecto al volumen total, que afecta el efecto de sinterización posterior), proporcionando una base confiable para la sinterización posterior.

El núcleo de la tecnología de prensado de carburo cementado radica en la reorganización de partículas, la compresión y la unión inicial (la reorganización de partículas es el proceso de reorganización de partículas de polvo bajo presión para reducir espacios, la compresión es el proceso de aplicar fuerza externa para deformar partículas y llenar espacios, y la unión inicial es el proceso de formación de resistencia inicial entre partículas a través de enclavamiento mecánico o microenlace), que involucra dinámica de partículas (basada en el modelo de flujo de Hagen-Poiseuille, resistencia viscosa $\sim 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009, págs. 678-685) y deformación plástica (deformación de partículas de $\text{Co} > 10\% \pm 1\%$, basada en datos experimentales de flujo plástico, la deformación plástica es el proceso de deformación irreversible de materiales bajo tensión, mejorando el contacto entre partículas). Esta sección analiza en detalle el prensado unidireccional de carburo cementado, el prensado isostático en frío (CIP) de carburo cementado y el diseño de moldes, combinando la teoría con la práctica para explorar la optimización de procesos y la aplicación de ingeniería.

La calidad del prensado afecta directamente el efecto de sinterización. Por ejemplo, unas palanquillas uniformes (desviación de densidad $<0,5\% \pm 0,1\%$) pueden reducir la desviación por contracción de sinterización ($<0,1\% \pm 0,02\%$, según Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010, págs. 1234-1241; la contracción de sinterización es el fenómeno de la reducción del volumen de la palanquilla durante la sinterización) y mejorar la consistencia de la dureza del producto (desviación $\leq \pm 30 \text{ HV}$, ISO 3738-1:1982). Los moldes optimizados (coeficiente de fricción $<0,1 \pm 0,02$, según datos de investigación sobre lubricantes; el coeficiente de fricción es un indicador cuantitativo de la resistencia al deslizamiento entre el molde y el polvo) pueden reducir los defectos de desmoldeo (tasa de grietas $<0,5\% \pm 0,1\%$; según el análisis de fallos del molde, los defectos de desmoldeo son grietas o deformaciones causadas por la liberación de tensión de la palanquilla tras el moldeo) y prolongar la vida útil del molde ($>10^5$ veces $\pm 10^4$ veces, Wear, vol. 267, 2009, págs. 345-352). Mediante el análisis de los parámetros de prensado, los materiales del molde y las propiedades del polvo, esta sección proporciona soporte técnico para la preparación de carburos cementados de alto rendimiento (como herramientas de aviación y brocas para minería).

5.1.1 Parámetros técnicos y principios del prensado unidireccional de carburo cementado

El prensado uniaxial de carburo cementado provoca la reorganización, deformación y combinación inicial de las partículas de polvo mediante la aplicación de alta presión uniaxial para formar una pieza bruta con una resistencia y forma determinadas (el prensado uniaxial es una tecnología que aplica presión en una sola dirección para el conformado). El polvo (fluidez: 13-16 segundos/50 g

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,5$ segundos, ISO 4490:2018) se compacta mediante una prensa hidráulica (presión máxima: 500 MPa ± 10 MPa, precisión: ± 5 MPa, según los requisitos de equipamiento de la norma GB/T 1479.1-2011) a través de carburo cementado (WC-Co, dureza HV 1500 ± 50 , ISO 3738-1:1982) o una matriz de acero (dureza HRC 60 ± 2 , ensayo de dureza Brinell GB/T 231.1-2018). Presión de prensado 100-200 MPa ± 5 MPa, tiempo de retención 5-10 segundos $\pm 0,1$ segundos (el tiempo de retención es el tiempo para mantener la presión estable después de la aplicación para garantizar que las partículas se combinen), densidad de la palanquilla 6,5-8,0 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³ (aproximadamente 50%-60% $\pm 1\%$ densidad teórica, consulte GB/T 3850-2015). El polvo llena el molde (desviación de altura $< 0,5$ mm $\pm 0,1$ mm, GB/T 4505-2008), la presión se transmite en dirección axial, las partículas se reorganizan (la porosidad se reduce a $\sim 35\% \pm 2\%$, según Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010, págs. 567-574) y el Co se deforma plásticamente (deformación $> 8\% \pm 1\%$, datos de medición experimental) para formar un espacio en blanco.

5.1.2 Mecanismo de prensado unidireccional de carburo cementado

En la etapa inicial, la reorganización de partículas reduce la porosidad ($20\% \pm 2\%$, según Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010); bajo alta presión, las partículas de WC se trituran localmente ($< 5\% \pm 1\%$, datos de observación experimental, el trituración local es el fenómeno de pequeñas grietas o fragmentación de partículas bajo alta presión) y el flujo plástico de Co (velocidad de deformación $10^{-3} \text{ s}^{-1} \pm 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, vol. 58, 2010) mejora la resistencia de unión (> 10 MPa ± 1 MPa, según la prueba de resistencia compacta verde).

5.1.3 Escenarios de aplicación del prensado unidireccional de carburo cementado

El prensado unidireccional de carburo cementado es adecuado para geometrías simples (como insertos cilíndricos con un diámetro de < 50 mm $\pm 0,1$ mm, GB/T 4505-2008), con bajo costo ($< 0,5$ USD $\pm 0,05$ USD por pieza, estimado en base a los costos de producción industrial) y alta eficiencia de producción (> 1000 piezas/hora ± 100 piezas, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, 2009, págs. 123-130).

5.1.4 Factores que afectan el prensado unidireccional del carburo cementado y estrategias de optimización

Una presión de prensado

de 100-200 MPa ± 5 MPa garantiza la resistencia del tocho (> 12 MPa ± 1 MPa, datos experimentales). Una presión demasiado alta (> 350 MPa ± 5 MPa) provoca desgaste de la matriz ($> 0,01$ mm $\pm 0,002$ mm/ 10^4 veces, "Wear, Vol. 267, 2009") o grietas en el tocho ($> 1\% \pm 0,2\%$, observación experimental); una presión demasiado baja (< 80 MPa ± 5 MPa) produce una densidad insuficiente ($< 6,0$ g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) y una porosidad tras la sinterización $> 0,5\% \pm 0,1\%$ (ASTM B657-16).

Propiedades del polvo

Fluidez 13-16 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos Mejora la uniformidad del llenado (desviación $< 0,5\% \pm 0,1\%$, "ISO 4490:2018"); FSSS $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ Aumenta la fricción entre partículas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(coeficiente $>0,2 \pm 0,05$, "Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009"), lo que requiere mayor presión (aumento del $10 \% \pm 2 \%$). La adición de $0,5 \% - 1 \% \pm 0,01 \%$ de ácido esteárico reduce la fricción (coeficiente $<0,1 \pm 0,02$, "Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010") y aumenta la resistencia del tocho en un $2 \% \pm 0,5 \%$ (medición experimental).

Los moldes

($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009) reducen la resistencia al desmoldeo ($< 5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$, según pruebas mecánicas) y reducen la tasa de defectos en un $3 \% \pm 0,5 \%$ (datos experimentales); los moldes rugosos ($R_a > 0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) aumentan los rayones superficiales ($> 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, Wear, vol. 267, 2009).

Un tiempo de retención de

5-10 segundos $\pm 0,1$ segundos es adecuado para una producción de alta eficiencia. Un tiempo demasiado largo (> 120 segundos ± 1 segundo) aumentará el consumo de energía ($> 10 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \pm 1 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t}$, datos industriales).

Equipo

con control de presión de precisión con precisión de $\pm 5 \text{ MPa}$, desviación del tamaño del molde $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ para garantizar la consistencia del blanco (desviación de densidad $< 0,3 \% \pm 0,1 \%$, "GB/T 4505-2008").

5.1.5 Estrategia de optimización del prensado unidireccional de carburo cementado

Utilice polvo de alta fluidez ($14 \text{ s} / 50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$, ISO 4490:2018), molde pulido ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009), lubricante añadido ($0,5 \% \pm 0,01 \%$ de ácido esteárico, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) y control de presión preciso ($150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, GB/T 1479.1-2011).

5.1.6 Aplicación de la práctica de ingeniería de prensado unidireccional de carburo cementado

Las herramientas de corte de aviación

se producen mediante prensado unidireccional ($150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) con insertos circulares (diámetro $30 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, desviación $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, GB/T 4505-2008) para el procesamiento de aleaciones de Ti (velocidad de corte $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), con desgaste $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, vida útil > 12 horas ± 1 hora y bajo costo ($< 0,5 \text{ USD} \pm 0,05 \text{ USD}$ por pieza, estimación industrial).

5.1.7 Parámetros técnicos y principios del prensado isostático en frío de carburo cementado

Principio del prensado isostático en frío del carburo cementado

El prensado isostático en frío (CIP) de carburo cementado es una tecnología avanzada de conformado pulvimetalúrgico que comprime el polvo de carburo cementado (como el polvo mixto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Co) aplicando una presión uniforme (prensado isostático) en todas las direcciones a través de un medio líquido para preparar piezas en bruto de alta densidad y uniformidad. Su principio fundamental consiste en aprovechar la incompresibilidad y la transmisión uniforme de la presión del medio líquido, introducir el polvo en un molde flexible, colocarlo en un recipiente de alta presión y aplicar presión al líquido mediante una bomba de alta presión. La presión actúa uniformemente sobre la superficie del molde desde todas las direcciones, de modo que las partículas de polvo se comprimen isotrópamente en un espacio tridimensional. Esta tecnología elimina eficazmente el problema de la concentración de tensiones en el prensado unidireccional o bidireccional, garantiza la consistencia de la densidad de cada pieza en bruto y evita gradientes de densidad y defectos internos.

Proceso de prensado isostático en frío

El polvo de carburo cementado se carga en un molde flexible (como una bolsa de goma), se sella y se coloca en un recipiente de alta presión del equipo CIP.

El recipiente de alta presión se llena con un medio líquido (como agua o aceite) y se aplica presión mediante una bomba de alta presión, con un rango de presión de 100-300 MPa ± 5 MPa (GB/T 1479.1-2011). El medio líquido transmite uniformemente la presión al molde, y las partículas de polvo se reorganizan, deforman y combinan estrechamente bajo presión isotrópica para formar una pieza en bruto densa. Tras mantener la presión durante 30-60 segundos ± 1 segundo, libere lentamente la presión, extraiga la pieza en bruto y prepárela para la sinterización.

La ventaja de la tecnología de prensado isostático en frío reside en sus características de compresión isotrópica, distribución uniforme de la presión, desviación de tensión $<1\% \pm 0,2\%$ (según el modelo de distribución de tensión de "Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010"), reducción significativa del gradiente de densidad (desviación $<0,5\% \pm 0,1\%$), supresión efectiva de la concentración de tensión (<50 MPa ± 5 MPa) y mayor uniformidad de la palanquilla (desviación de densidad $<0,5\% \pm 0,1\%$). Esto es crucial para los productos de carburo cementado, ya que este material tiene requisitos extremadamente altos de uniformidad de densidad, y cualquier irregularidad provocará poros, grietas o degradación del rendimiento después de la sinterización.

Parámetros técnicos del prensado isostático en frío de carburo cementado

A continuación se detallan los parámetros técnicos del prensado isostático en frío de carburo cementado, basados en aplicaciones industriales reales y estándares relevantes:

presión

alcance

100-300 MPa ± 5 MPa (GB/T 1479.1-2011), 250 MPa ± 5 MPa se utiliza comúnmente para equilibrar la densidad y la vida útil del molde.

Base de selección

La presión debe ajustarse según las características del polvo y la densidad objetivo. Los datos experimentales muestran que 200-300 MPa ± 5 MPa pueden garantizar una resistencia de la palanquilla >12 MPa ± 1 MPa. Para polvos de alta dureza con un tamaño de partícula de WC $<0,5$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

μm , la presión recomendada es cercana a 300 MPa; para polvos con alto contenido de Co ($>10\%$ $\pm 1\%$), puede reducirse a 200 MPa para evitar el agrietamiento por sobrepresión.

Tasa de aumento gradual

10-30 MPa/min, aumento de presión paso a paso (presión previa inicial de 50 MPa, aumento gradual hasta la presión objetivo) para evitar la ruptura del molde o la estratificación del polvo causada por una presurización rápida.

Tiempo de espera

Rango: 30-60 segundos ± 1 segundo (GB/T 1479.1-2011), garantizando que las partículas estén completamente combinadas.

Impacto: Los datos experimentales muestran que mantener la presión durante 30-60 segundos puede aumentar la resistencia de la palanquilla a $>15\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$. Mantener la presión durante un tiempo excesivo (>120 segundos ± 1 segundo) aumentará el consumo de energía ($>10\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{t} \pm 1\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{t}$, datos industriales), mientras que mantener la presión durante un tiempo demasiado corto (<20 segundos ± 1 segundo) puede resultar en una densidad insuficiente ($<6,0\text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1\text{ g}/\text{cm}^3$).

Temperatura de funcionamiento:

Rango: Temperatura normal a 50°C (generalmente $20-30^\circ\text{C}$), evitar que la temperatura excesiva afecte el medio líquido y el rendimiento del molde.

Requisitos de control: Fluctuación de temperatura $<\pm 2^\circ\text{C}$ para evitar la expansión del líquido o el envejecimiento del molde. Algunos procesos pueden operarse a $40-50^\circ\text{C}$ para mejorar la fluidez del polvo, pero es necesario controlar la viscosidad del líquido.

Medio de presión

Tipo: Medio a base de agua (como agua + inhibidor de óxido) o medio a base de aceite (como aceite mineral), viscosidad $10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4}\text{ Pa}\cdot\text{s}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Requisitos: El medio debe estar libre de impurezas, la precisión de filtración debe ser $<10\mu\text{m}$ y la cantidad de inhibidor de óxido agregado debe ser del 0,5% al 1% para proteger el equipo y extender la vida útil del contenedor de alta presión.

Material del molde

Tipo: Caucho natural, caucho de silicona o poliuretano, dureza Shore A 70 ± 5 (ISO 7619-1:2010). Medición de dureza del caucho, espesor de pared 5-10 mm $\pm 0,1\text{ mm}$.

Requisitos de rendimiento: resistencia a la presión $> 1,5$ veces la presión de trabajo (es decir, superior a 450 MPa), módulo elástico 5-10 MPa, garantizando una transmisión de presión uniforme y un molde reutilizable (vida útil 500-1000 veces).

Tratamiento de superficie: La superficie del molde se pule a $R_a < 0,1\mu\text{m} \pm 0,02\mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009), resistencia al desmoldeo $< 5\text{ kN} \pm 0,5\text{ kN}$ y la tasa de defectos se reduce en un $3\% \pm 0,5\%$ (datos experimentales).

Propiedades del polvo

Tamaño de partícula: tamaño de partícula WC $0,5-3\mu\text{m} \pm 0,01\mu\text{m}$, tamaño de partícula Co $1-2\mu\text{m}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008), desviación de uniformidad de mezcla $<3\%$.

Fluidez: 13-16 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos (ISO 4490:2018). La adición de ácido esteárico entre un 0,5 % y un 1 % $\pm 0,01$ % reduce el coeficiente de fricción a $<0,1 \pm 0,02$ (Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010).

Densidad de empaque: 40%-50% de densidad teórica, se requiere desgasificación al vacío (grado de vacío $<10 \text{ Pa}$) para eliminar el aire.

Parámetros del equipo

Recipiente de alta presión: diámetro de la cavidad interior $>300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, resistencia a la presión $>600 \text{ MPa}$, el material es acero de alta resistencia (como 40CrNiMoA).

Bomba de alta presión: presión de salida 300-600 MPa, caudal 10-50 L/min, precisión de control de presión $\pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011).

Sistema de control: control PLC, precisión de presión $\pm 5 \text{ MPa}$, precisión de tiempo ± 1 segundo, desviación del tamaño del molde $<0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008).

Densidad de palanquilla verde

Rango: $7,0-8,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, equivalente a 55%-65% $\pm 1\%$ de densidad teórica (GB/T 3850-2015).

Impacto: Cuanto mayor sea la presión, mayor será la densidad, pero una presión demasiado alta ($>350 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) puede provocar desgaste del molde, y una presión demasiado baja ($<80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) dará como resultado una densidad insuficiente ($<6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), porosidad después de la sinterización $>0,5\% \pm 0,1\%$ (ASTM B657-16).

Proceso

Preparación del polvo

Los polvos de WC y Co se mezclaron en proporción (mezclados en un molino planetario durante 24 horas, desviación de uniformidad $<3\%$), se agregó lubricante de ácido esteárico al 0,5%-1% $\pm 0,01\%$ y se tamizó (malla 200).

El contenido de humedad del polvo se controló a $<0,5\%$ y se secó en un horno de vacío (80°C , 2 h).

Relleno de moldes

El polvo se carga en un molde de caucho (espesor de pared: $5-10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) y se llena mediante vibración (50-100 Hz) a una densidad de llenado del 40 % al 50 %. El molde se sella y se vacía (grado de vacío $<10 \text{ Pa}$) para eliminar el aire interno.

Prensado isostático en frío

El molde se coloca en un recipiente de alta presión y se inyecta un medio líquido (viscosidad 10^{-3} Pa·s $\pm 10^{-4}$ Pa·s).

Aumento de presión gradual: presión previa de 50 MPa (2 minutos), aumento gradual hasta 250 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$ (3-5 minutos).

Mantenga la presión durante 30 a 60 segundos ± 1 segundo para garantizar que las partículas se combinen completamente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Libere lentamente la presión (10-20 MPa/min) y retire el molde.

Procesamiento de billetes verdes

Corte el exceso de material de goma y saque la pieza verde.

La pieza verde se seca a 50-80°C durante 3 horas para evitar la absorción de humedad.

La presinterización (600-800 °C, 2 horas) elimina los lubricantes y prepara para la sinterización formal.

5.1.8 Mecanismo de prensado isostático en frío del carburo cementado

El prensado isostático en frío consigue el moldeado uniforme del polvo de carburo cementado mediante compresión isotrópica. El mecanismo es el siguiente:

Compresión isotrópica

La presión se aplica uniformemente desde todas las direcciones, con una desviación de tensión de $<1\% \pm 0,2\%$ (según el modelo de distribución de tensión, Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010), lo que garantiza que las partículas de polvo estén sujetas a una compresión constante en el espacio tridimensional.

Reducción del gradiente de densidad

El prensado isostático hace que la desviación de densidad de cada parte del cuerpo verde sea $<0,5\% \pm 0,1\%$, lo que es significativamente menor que el 3%-5% del prensado unidireccional (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Supresión de la concentración de estrés

Gracias a una distribución uniforme de la presión, la concentración de tensión interna es $<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, lo que es mucho menor que los 100-150 MPa del prensado uniaxial (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Unión de partículas

Las partículas de polvo experimentan reordenamiento, deformación plástica y unión inicial bajo presión isotrópica, y la resistencia de la palanquilla es $>15 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (datos experimentales), lo que proporciona una buena base para la sinterización posterior.

La ventaja mecánica del prensado isostático en frío reside en que minimiza los gradientes de densidad y los defectos internos, mejorando así la uniformidad de las piezas brutas de carburo cementado y el rendimiento post-sinterización. La densidad uniforme de la pieza bruta permite una contracción de sinterización constante, y la porosidad del producto final puede alcanzar el nivel A00-B00 (ISO 3369-2006), mejorando significativamente la dureza, la tenacidad y la resistencia al desgaste.

5.1.9 Escenarios de aplicación del prensado isostático en frío de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La tecnología de prensado isostático en frío es especialmente adecuada para productos de carburo cementado que requieren alta uniformidad y geometría compleja. Los escenarios de aplicación específicos son los siguientes:

Piezas de formas complejas

Por ejemplo, las brocas para minería, las válvulas para aguas profundas, etc., requieren desviaciones geométricas de $<0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008). Los moldes flexibles para prensado isostático en frío se adaptan a diseños con formas especiales para garantizar la precisión del moldeo.

Herramientas de alto rendimiento

Como herramientas de aviación, utilizadas para cortar aleaciones de Ti (temperatura de procesamiento $1000 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidad $>300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, "International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010").

Molde resistente al desgaste

Por ejemplo, las matrices de estampado en frío deben soportar tiempos de extrusión elevados ($>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, "Wear, Vol. 267, 2009") y una deformación $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

Tamaño grande en blanco

Para barras o placas con diámetros $>100 \text{ mm}$, el prensado isostático en frío garantiza una densidad interna constante para aplicaciones de alto rendimiento.

La aplicabilidad del prensado isostático en frío se beneficia de sus características de presión isotrópica, que pueden cumplir con los altos requisitos del carburo cementado en cuanto a densidad y uniformidad en duras condiciones de trabajo.

5.1.10 Factores influyentes y estrategias de optimización del prensado isostático en frío de carburo cementado

El efecto de conformado del prensado isostático en frío se ve afectado por numerosos factores. A continuación, se presentan los factores clave y sus estrategias de optimización:

Presión de supresión

Impacto: Una presión de $200\text{-}300 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ puede garantizar una resistencia de la pieza bruta $>12 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (datos experimentales). Una presión demasiado alta ($>350 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) provocará el desgaste de la matriz y reducirá la vida útil a <500 veces; una presión demasiado baja ($<80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reducirá la densidad a $<6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ y la porosidad tras la sinterización a $>0,5 \% \pm 0,1 \%$ (ASTM B657-16).

Optimización: controlar la presión a $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011) y adoptar una estrategia de aumento de presión gradual (por ejemplo, una presión previa de 50 MPa y luego aumentar gradualmente hasta la presión objetivo).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Propiedades del polvo

Fluidez: 13-16 s/50 g $\pm 0,5$ s (ISO 4490:2018) puede mejorar la uniformidad del llenado (desviación $< 0,5\% \pm 0,1\%$).

Lubricante: La adición de 0,5%-1% $\pm 0,01\%$ de ácido esteárico reduce el coeficiente de fricción a $< 0,1 \pm 0,02$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) y aumenta la resistencia de la pieza en bruto en un 2% $\pm 0,5\%$ (medición experimental).

Optimización: utilice polvo de alta fluidez (14 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos) y agregue una pequeña cantidad de polvo nano-WC (0,5 % $\pm 0,01$ %) para mejorar la unión de las partículas.

Superficie del molde

Impacto: La rugosidad de la superficie del molde $Ra < 0,1 \mu m \pm 0,02 \mu m$ (GB/T 1031-2009) puede reducir la resistencia al desmoldeo a $< 5 kN \pm 0,5 kN$ y la tasa de defectos en un 3% $\pm 0,5\%$ (datos experimentales).

Optimización: Pule la superficie del molde para garantizar que $Ra < 0,1 \mu m$ y utilice un revestimiento resistente al desgaste (como TiN) para prolongar la vida útil del molde.

Tiempo de espera

Impacto: 30-60 segundos ± 1 segundo pueden aumentar la resistencia de la palanquilla a $> 15 MPa \pm 1 MPa$. Un impacto demasiado largo (> 120 segundos ± 1 segundo) aumenta el consumo de energía ($> 10 kW \cdot h / t \pm 1 kW \cdot h / t$), y uno demasiado corto (< 20 segundos ± 1 segundo) provoca una adhesión insuficiente de las partículas.

Optimización: El tiempo de retención se controla entre 45 y 60 segundos ± 1 segundo y se ajusta según el tamaño del cuerpo verde y las características del polvo.

Precisión del equipo

Impacto: La precisión del control de presión de $\pm 5 MPa$ y la desviación del tamaño del molde de $< 0,005 mm \pm 0,001 mm$ (GB/T 4505-2008) pueden garantizar que la desviación de la densidad de la palanquilla sea $< 0,3\% \pm 0,1\%$.

Optimización: Utilice un sistema de control PLC de alta precisión y calibre periódicamente los sensores de presión (cada 500 pulsaciones) para garantizar la estabilidad del equipo.

5.1.11 Estrategia de optimización del prensado isostático en frío de carburo cementado

Con base en los factores de influencia mencionados anteriormente, la estrategia de optimización del prensado isostático en frío es la siguiente:

Polvo de alto flujo

Seleccione polvo con una fluidez de 14 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos (ISO 4490:2018) para garantizar la uniformidad del llenado.

Molde de pulido

La rugosidad de la superficie del molde $Ra < 0,1 \mu m \pm 0,02 \mu m$ (GB/T 1031-2009), lo que reduce la resistencia al desmoldeo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Adición de lubricante

La adición de $0,5 \% \pm 0,01 \%$ de ácido esteárico (Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010) puede reducir la fricción y mejorar la resistencia de la palanquilla.

Control preciso de la presión

La presión de prensado se controló a $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011) y se adoptó una estrategia de aumento y disminución gradual de la presión.

Tecnología de asistencia

Se introduce vibración ultrasónica (20 kHz) para ayudar al llenado de polvo, reducir la porosidad y aumentar la densidad de empaque al 50%-55%.

5.1.12 Caso real de prensado isostático en frío de carburo cementado

Una empresa utiliza prensado isostático en frío ($250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, manteniendo la presión durante 60 segundos ± 1 segundo) para formar piezas brutas de carburo cementado (tamaño de partícula de WC: $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, contenido de Co: $10 \% \pm 1 \%$, GB/T 19077.1-2008). La densidad de la pieza bruta tras el prensado es de $8,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (aproximadamente el 62 % de la densidad teórica, GB/T 3850-2015). Tras la sinterización, la dureza alcanza una dureza HV de 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982). El producto terminado se utiliza en herramientas de aviación para procesar aleaciones de titanio (temperatura: $1000 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidad de corte: $>300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, Revista Internacional de Metales Refractarios y Materiales Duros, vol. 28, 2010). Desgaste de la herramienta: $<0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, vida útil: $>18 \text{ horas} \pm 1 \text{ hora}$, con excelente resistencia al desgaste y estabilidad.

5.1.13 Práctica de aplicación de ingeniería del prensado isostático en frío de carburo cementado

brocas para minería

Proceso: Las brocas para dientes complejos se fabrican mediante prensado isostático en frío ($250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), con una desviación geométrica de $<0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008).

Rendimiento: Densidad después de la sinterización $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006), utilizado para perforación de roca dura (resistencia a la compresión $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015), vida útil de perforación $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Ventajas: El moldeado de alta precisión y la densidad uniforme de la forma compleja del diente mejoran significativamente la resistencia al impacto y la vida útil de la broca.

Molde resistente al desgaste

Proceso: Prensado isostático en frío ($200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) para formar tochos rectangulares, densidad $8,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ ("GB/T 3850-2015").

Rendimiento: Se utiliza para encabezado en frío (tiempos de extrusión $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, "Wear, Vol. 267, 2009"), deformación $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

Ventajas: La alta densidad y uniformidad garantizan que el molde permanezca estable bajo cargas elevadas y prolongan su vida útil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En resumen, la tecnología de prensado isostático en frío de carburo cementado logra una alta densidad de piezas en bruto verdes ($7,0-8,5 \text{ g/cm}^3$) mediante compresión isotrópica $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ y uniformidad (desviación de densidad $<0,5\% \pm 0,1\%$), lo que la convierte en una opción ideal para producir productos de carburo cementado de alto rendimiento y formas complejas. Sus parámetros técnicos deben controlarse con precisión (como presión $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, presión de mantenimiento $30-60 \text{ segundos} \pm 1 \text{ segundo}$), y el efecto de moldeo puede mejorarse aún más optimizando la precisión del polvo, el molde y el equipo. Las aplicaciones prácticas han demostrado que el prensado isostático en frío funciona bien en los campos de brocas de minería, moldes resistentes al desgaste y herramientas de aviación, mejorando significativamente el rendimiento y la vida útil de los productos.

5.1.14 Parámetros técnicos y principios del prensado isostático en caliente de carburo cementado

Principio del prensado isostático en caliente del carburo cementado

El prensado isostático en caliente (HIP) de carburo cementado es una tecnología avanzada de posprocesamiento que combina alta temperatura y alta presión uniforme. Su objetivo es eliminar los microporos que quedan en el proceso de sinterización de carburo cementado mediante presión isotrópica para mejorar la densidad y la fiabilidad del material. El principio fundamental del **prensado isostático en caliente de carburo cementado** consiste en colocar los productos de carburo cementado sinterizado en un entorno de alta temperatura y alta presión, utilizando un gas inerte (como el argón) como medio de presión, y en condiciones de alta temperatura ($1350-1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, ISO 13703:2000) y alta presión ($100-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), de modo que el material experimente flujo y difusión plásticos, rellenando así los microporos y mejorando su microestructura y propiedades mecánicas.

Proceso de prensado isostático en caliente

El producto de carburo cementado sinterizado (o pieza en bruto presinterizada) se coloca en un recipiente de alta presión del equipo HIP.

El recipiente de alta presión está lleno de argón de alta pureza (Ar, pureza $>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018; caudal $50 \text{ L/min} \pm 5 \text{ L/min}$, datos experimentales) como medio de presión.

El equipo se calienta a $1350-1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ y simultáneamente aplica una presión de $100-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ con una distribución de presión uniforme y una desviación de $<1\% \pm 0,2\%$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Mantener caliente durante $1-2 \text{ horas} \pm 0,1 \text{ horas}$ para permitir que los microporos dentro del material se cierren a través de mecanismos de flujo y difusión plásticos.

Enfriar lentamente ($5-15 \text{ }^\circ\text{C/min}$) y liberar la presión ($5-10 \text{ MPa/min}$) y retirar el producto.

La ventaja única del prensado isostático en caliente reside en que puede reducir significativamente la porosidad del carburo cementado a alta temperatura y presión (reducción $>50\% \pm 5\%$, "Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010"), lo que acerca la densidad del material al valor teórico ($>99,8\% \pm 0,1\%$, "ISO 3369-2006"), mejorando así la dureza, la tenacidad y la resistencia al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desgaste. Esta tecnología es especialmente adecuada para productos de carburo cementado con altos requisitos de fiabilidad, como herramientas de aviación y brocas para minería.

Parámetros técnicos del prensado isostático en caliente de carburo cementado

Los siguientes son los parámetros técnicos detallados del prensado isostático en caliente de carburo cementado, basados en aplicaciones industriales y estándares relevantes:

temperatura

Rango: 1350-1450 °C ±10 °C (ISO 13703:2000), 1400 °C ±10 °C se utiliza comúnmente para equilibrar la densificación y el crecimiento del grano.

Base de selección: La temperatura debe ser suficientemente alta para promover el flujo plástico (velocidad de deformación $10^{-4} \text{ s}^{-1} \pm 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) y la difusión (coeficiente $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), pero no debe superar los 1500 °C ±10 °C para evitar un crecimiento excesivo de granos de WC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

Velocidad de calentamiento: 5-10°C/min, para evitar grietas causadas por estrés térmico.

presión

Rango: 100-200 MPa ±5 MPa, 150 MPa ±5 MPa se utiliza comúnmente para garantizar el efecto de eliminación de poros.

Base de selección: 150 MPa ±5 MPa puede reducir eficazmente la porosidad a <0,03 % ±0,01 % (ASTM B657-16). Cuando la presión es <100 MPa ±5 MPa, el efecto de densificación es insuficiente y la porosidad es >0,1 % ±0,02 %. Si bien una presión >200 MPa ±5 MPa puede reducir aún más la porosidad, aumentará significativamente el coste del equipo y el consumo de energía.

Tasa de aumento de presión: 5-10 MPa/min, aumento de presión paso a paso (presión previa inicial de 50 MPa, aumento gradual hasta la presión objetivo) para evitar cambios repentinos de presión.

Tiempo de aislamiento

Rango: 1-2 horas ± 0,1 horas, normalmente 1 hora ± 0,1 horas para garantizar una densificación adecuada.

Impacto: Mantener la temperatura durante 1 hora ± 0,1 horas puede aumentar la densidad a >99,8 % ± 0,1 % (ISO 3369-2006). Mantener la temperatura durante > 2 horas ± 0,1 horas aumentará el consumo de energía (> 20 kW·h /t ± 2 kW·h /t, datos industriales) y puede causar crecimiento de grano.

Medio de presión

Tipo: Argón (Ar), pureza > 99,99 % ± 0,01 % (GB/T 4325-2018), caudal 50 L/min ± 5 L/min (datos experimentales).

Requisitos: El argón de alta pureza evita la oxidación (contenido de O < 0,02 % ± 0,005 %, GB/T 4325-2018) y garantiza un rendimiento estable del material. El gas debe pasar por un filtro de 0,5 μm para eliminar las impurezas.

Parámetros del equipo

Recipiente de alta presión: diámetro de la cavidad interior > 200 mm ± 5 mm, resistencia a la presión >

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

300 MPa, el material es una aleación de alta temperatura (como Inconel 718).

Sistema de calefacción: Potencia $>150 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$ (ISO 13703:2000), precisión de control de temperatura $\pm 5^\circ\text{C}$.

Sistema de control: control PLC, precisión de presión $\pm 5 \text{ MPa}$, precisión de tiempo $\pm 0,1 \text{ horas}$, desviación de temperatura $< \pm 10^\circ\text{C}$.

Tasa de enfriamiento

Rango: $5\text{-}15^\circ\text{C}/\text{min}$, tasa de alivio de presión $5\text{-}10 \text{ MPa}/\text{min}$.

Requisitos: El enfriamiento lento y la descompresión pueden evitar grietas causadas por tensiones térmicas y de presión.

Proceso

Preparación del producto

de los productos de carburo cementado sinterizado (tamaño de partícula WC $0,3\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, contenido de Co $6\%\text{-}12\% \pm 1\%$, "GB/T 19077.1-2008") está limpio y libre de incrustaciones de óxido o contaminantes.

Verifique la porosidad inicial del producto (generalmente $0,1\%\text{-}0,5\% \pm 0,05\%$, ASTM B657-16) para asegurarse de que sea adecuado para el tratamiento HIP.

Precalentamiento del equipo

El recipiente de alta presión se precalentó a $300\text{-}500^\circ\text{C}$ y se inyectó con argón de alta pureza (pureza $>99,99\% \pm 0,01\%$) a un caudal de $50 \text{ L}/\text{min} \pm 5 \text{ L}/\text{min}$.

Verifique el sellado del equipo y el sensor de presión para asegurarse de que la desviación de presión sea $< \pm 5 \text{ MPa}$.

Prensado isostático en caliente

Aumente la temperatura a $1350\text{-}1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ($5\text{-}10^\circ\text{C}/\text{min}$) y la presión a $100\text{-}200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ($5\text{-}10 \text{ MPa}/\text{min}$).

Mantener caliente durante $1\text{-}2 \text{ horas} \pm 0,1 \text{ horas}$ para permitir que los microporos se cierren mediante flujo y difusión de plástico.

Enfriar lentamente ($5\text{-}15^\circ\text{C}/\text{min}$) y liberar la presión ($5\text{-}10 \text{ MPa}/\text{min}$) y retirar el producto.

Procesamiento posterior

Después de que el producto se haya enfriado a temperatura ambiente, se inspecciona la superficie y se mide la porosidad (objetivo $<0,03\% \pm 0,01\%$).

Si es necesario, realice operaciones de acabado (como pulido o esmerilado) para prepararlo para su uso o para realizar pruebas adicionales.

5.1.15 Mecanismo de prensado isostático en caliente de carburo cementado

El mecanismo de prensado isostático en caliente se basa en el comportamiento microscópico de los materiales bajo alta temperatura y alta presión, e incluye principalmente los dos mecanismos clave

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

siguientes:

Flujo plástico

En condiciones de $1350-1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, la fase Co (fase de unión) del carburo cementado se ablanda y el material en su conjunto presenta un flujo plástico (velocidad de deformación de $10^{-4}\text{ s}^{-1} \pm 10^{-5}\text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, vol. 58, 2010). Este flujo deforma el material alrededor de los microporos, rellena los poros y reduce significativamente la porosidad (reducida en $>50\% \pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010).

Aceleración de la difusión

A altas temperaturas, el coeficiente de difusión atómica aumenta significativamente ($10^{-8}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009), y los átomos de WC y Co se difunden a través de los límites de grano y los estereomicroscopios, lo que promueve aún más el cierre de los poros y la homogeneización microestructural.

Gracias al mecanismo mencionado, el prensado isostático en caliente reduce la porosidad del carburo cementado a $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), y la densidad se aproxima al valor teórico ($>99,8\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006). Además, las altas temperaturas y presiones mejoran la resistencia de la unión de la interfaz WC-Co y reducen la concentración de microtensiones ($<20\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, datos experimentales), mejorando así la fiabilidad y las propiedades mecánicas (como dureza y tenacidad) del material.

5.1.16 Escenarios de aplicación del prensado isostático en caliente de carburo cementado

La tecnología de prensado isostático en caliente se utiliza principalmente para eliminar los microporos que quedan durante el proceso de sinterización del carburo cementado y es adecuada para escenarios de aplicación con requisitos de confiabilidad extremadamente altos:

Herramientas de corte de aviación de carburo de alto rendimiento

Las herramientas de aviación deben mantener la estabilidad en condiciones de alta temperatura y alta velocidad (como el procesamiento de aleaciones de alta temperatura, temperatura $>1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidad $>300\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$). El HIP puede reducir la porosidad a $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), mejorando así la dureza y la resistencia al desgaste.

Brocas de carburo para minería

Alto impacto y desgaste durante la perforación en roca dura. El carburo cementado tratado con HIP presenta una alta tenacidad ($K_{IC} > 18\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), lo que prolonga su vida útil.

Molde de precisión de carburo

Por ejemplo, las matrices de trefilado o de estampación requieren alta densidad y baja porosidad para garantizar la estabilidad a largo plazo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dispositivos médicos de carburo

Por ejemplo, se requiere que las piezas de carburo cementado para implantes ortopédicos estén libres de microporos para evitar la corrosión bajo tensión.

El prensado isostático en caliente elimina los microporos (porosidad $<0,03\% \pm 0,01\%$) y mejora la microestructura, lo que hace que los productos de carburo cementado muestren una mayor confiabilidad y durabilidad en duras condiciones de trabajo.

5.1.17 Factores que afectan el prensado isostático en caliente del carburo cementado y estrategias de optimización

El efecto del prensado isostático en caliente se ve afectado por numerosos factores. A continuación, se presentan los factores clave y sus estrategias de optimización:

Presión de prensado isostático en caliente de carburo cementado

Impacto: 150 MPa ± 5 MPa pueden reducir eficazmente la porosidad a $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16). Cuando la presión es <100 MPa ± 5 MPa, la densificación es insuficiente y la porosidad es $>0,1\% \pm 0,02\%$. Si bien una presión >200 MPa ± 5 MPa puede reducir aún más la porosidad, el coste del equipo aumenta entre un 20 % y un 30 % (datos industriales).

Optimización: seleccione 150 MPa ± 5 MPa y utilice un aumento de presión gradual (5-10 MPa/min) para proteger el equipo.

Temperatura de prensado isostático en caliente del carburo cementado

Influencia

Una temperatura de $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede equilibrar la densificación y el crecimiento del grano (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010). Temperaturas superiores a $1500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ provocarán el crecimiento del grano de WC (tamaño de partícula $>2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$, datos experimentales) y reducirán la dureza ($<\text{HV } 2000 \pm 30$); temperaturas inferiores a $1300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ resultarán en una densificación insuficiente y una porosidad $>0,05\% \pm 0,01\%$.

mejoramiento

La temperatura se controló a $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, la velocidad de calentamiento fue de $5\text{-}10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y la velocidad de enfriamiento fue de $5\text{-}15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Tiempo de mantenimiento del prensado isostático en caliente de carburo cementado

Influencia

Un tiempo de espera de $1\text{ hora} \pm 0,1\text{ horas}$ puede alcanzar una densidad $>99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006). Un tiempo de espera $>2\text{ horas} \pm 0,1\text{ horas}$ aumentará el consumo de energía ($>20\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{t} \pm 2\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{t}$) y puede provocar el crecimiento del grano.

mejoramiento

El tiempo de retención se controla entre $1\text{ y }1,5\text{ horas} \pm 0,1\text{ horas}$ y se ajusta según el tamaño del producto y la porosidad inicial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atmósfera

Influencia

Una pureza de argón $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$ puede evitar la oxidación (contenido de O $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$, GB/T 4325-2018). Si la pureza es $< 99,9 \%$, el contenido de óxido aumenta (O $> 0,05 \% \pm 0,01 \%$), lo que reduce la tenacidad del material ($K_{Ic} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$).

mejoramiento

Utilice argón de alta pureza ($> 99,99 \% \pm 0,01 \%$) con un caudal de $50 \text{ L/min} \pm 5 \text{ L/min}$ para garantizar una atmósfera estable.

Estado inicial de los productos de prensado isostático en caliente de carburo cementado

Influencia

Las porosidades iniciales $> 0,5 \% \pm 0,05 \%$ pueden requerir tiempos más largos ($> 2 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$) o presiones más altas ($> 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) para alcanzar la densidad objetivo.

mejoramiento

Se dará preferencia a los productos sinterizados con una porosidad de $< 0,3 \% \pm 0,05 \%$ o a la optimización del estado inicial mediante presinterización.

5.1.18 Estrategia de optimización del prensado isostático en caliente de carburo cementado

Con base en los factores de influencia mencionados anteriormente, la estrategia de optimización del prensado isostático en caliente es la siguiente:

Parámetros del proceso

Se selecciona el proceso de $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, $1 \text{ hora} \pm 0,1 \text{ hora}$ (ISO 13703:2000) para garantizar el efecto de densificación y la economía.

Control de la atmósfera

Utilice argón de alta pureza ($> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) con un caudal de $50 \text{ L/min} \pm 5 \text{ L/min}$ para evitar la oxidación.

Gestión de la temperatura

La velocidad de calentamiento es de $5\text{-}10 \text{ }^\circ\text{C/min}$ y la velocidad de enfriamiento es de $5\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C/min}$ para reducir el estrés térmico.

Mantenimiento de equipos

El recipiente de alta presión y los elementos calefactores se revisaron periódicamente (cada 500 tratamientos) para garantizar la precisión de la temperatura y la presión ($\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\pm 5 \text{ MPa}$).

Cribado de productos

Se prefieren productos con una porosidad inicial de $< 0,3 \% \pm 0,05 \%$ para reducir el tiempo de procesamiento y el consumo de energía.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.19 Estudio de caso real de prensado isostático en caliente de carburo cementado

Una empresa utiliza prensado isostático en caliente ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, manteniendo la temperatura durante $1\text{ hora} \pm 0,1\text{ hora}$) para procesar productos de carburo cementado (tamaño de partícula de WC $0,3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008; contenido de Co $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017). Después del tratamiento, la porosidad se reduce a $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), la densidad es $>99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006) y la dureza alcanza $\text{HV } 2300 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982). Los productos se utilizan en herramientas de aviación para procesar aleaciones de alta temperatura (temperatura $>1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidad $>300\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$), con una vida útil de $>20\text{ horas} \pm 1\text{ hora}$, mostrando excelente resistencia al desgaste y estabilidad.

5.1.20 Práctica de aplicación de ingeniería del prensado isostático en caliente de carburo cementado

herramientas de aviación

Proceso: Las herramientas de carburo se procesan mediante prensado isostático en caliente ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000).

Rendimiento: Dureza hasta $\text{HV } 2300 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982), porosidad $<0,03\% \pm 0,01\%$, vida útil al procesar aleaciones de alta temperatura $>20\text{ horas} \pm 1\text{ hora}$.

Ventajas: La alta densidad y la baja porosidad mejoran significativamente la estabilidad de la herramienta en condiciones de alta temperatura y alta velocidad.

brocas para minería

Proceso: Prensado isostático en caliente ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000) para brocas de carburo cementado.

Rendimiento: Tenacidad $K_{1c} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (ISO 28079:2009), vida útil de perforación en roca dura $>1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

Ventajas: Después de eliminar los microporos, la resistencia al impacto y al desgaste de la broca mejoran significativamente, alargando su vida útil.

La tecnología de prensado isostático en caliente del carburo cementado elimina los microporos (porosidad $<0,03\% \pm 0,01\%$) mediante altas temperaturas y presiones ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), lo que eleva la densidad del material a $>99,8\% \pm 0,1\%$ y mejora significativamente la dureza ($\text{HV } 2300 \pm 30$) y la tenacidad ($K_{1c} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Presenta un excelente rendimiento en aplicaciones de alta fiabilidad, como herramientas de aviación y perforadoras mineras, y las estrategias de optimización (como el control preciso de la temperatura, la presión y la atmósfera) mejoran aún más la eficiencia del proceso y el rendimiento del producto.

5.1.21 Tecnología de prensado de doble efecto

Principio y antecedentes de la tecnología de prensado bidireccional de carburo cementado

El prensado bidireccional es una tecnología de prensado mejorada. A diferencia del prensado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

unidireccional, comprime el polvo de carburo cementado (como el polvo mixto WC-Co) en el molde desde dos direcciones relativas (generalmente verticales) aplicando presión simultáneamente a través de los cabezales de prensado superior e inferior. Este método busca reducir el problema del gradiente de densidad, común en el prensado unidireccional, y mejorar la uniformidad y la resistencia de la pieza en bruto. El prensado bidireccional se utiliza ampliamente en la producción de carburo cementado, especialmente cuando se requieren piezas en bruto de mayor densidad y tamaño. Su principal ventaja es que, gracias al efecto sinérgico de los cabezales de prensado superior e inferior, las partículas de polvo se someten a una distribución de fuerza más uniforme durante el proceso de prensado, lo que reduce la tensión interna y la estratificación.

Equipos de prensado bidireccional de carburo cementado y parámetros del proceso

equipo

Prensa hidráulica de doble efecto

Equipado con dos juegos de cilindros hidráulicos independientes, superior e inferior, con un rango de presión de 150 a 500 MPa. Entre las marcas más comunes se incluyen la alemana Dorst y la japonesa Kobelco.

Moho

Utilice acero de alta dureza (como Cr12MoV, HRC 60 o superior) o revestimiento de carburo, y pule la pared interior del molde a $Ra < 0,2 \mu m$ para reducir la fricción. El diseño del molde debe permitir el movimiento sincronizado de los cabezales de presión superior e inferior, y la separación se controla con una precisión de 0,01 mm.

Sistema de control

El sistema servohidráulico garantiza que la desviación de presión de los cabezales de presión superior e inferior sea inferior al 5 % y la precisión de desplazamiento sea inferior a 0,02 mm.

Parámetros del proceso de prensado bidireccional de carburo cementado

Presión: La relación de presión entre los cabezales de presión superior e inferior suele ser de 1:1, con un valor típico de 200-400 MPa, que se ajusta de acuerdo con las características del polvo y el tamaño del cuerpo verde.

Tiempo de prensado: ciclo total 10-20 segundos, incluido el prensado previo (2-5 segundos) y el prensado principal (5-15 segundos).

Propiedades del polvo: tamaño de partícula WC 0,5-3 μm , contenido de Co 6%-15%, 1%-2% de lubricante (como parafina o ácido esteárico) añadido para mejorar la fluidez.

Condiciones ambientales: temperatura $20 \pm 5 ^\circ C$, humedad $< 60 \%$ para evitar que el polvo absorba humedad y afecte el efecto de prensado.

Flujo del proceso de prensado de doble dirección de carburo cementado

Preparación del polvo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los polvos de WC y Co se mezclan en proporción (generalmente mediante molienda de bolas durante 12 a 24 horas), se agregan con lubricante y se tamizan hasta obtener un tamaño de partícula uniforme (desviación <5%).

Relleno de moldes

El polvo se carga en el molde a través de un sistema de vibración o alimentación automática, y la densidad de llenado se controla al 40%-50% para evitar burbujas de aire.

Prepresurización: aplicar una presión baja de 50-100 MPa, excluir el aire y dejar actuar durante 2-5 segundos.

Presión principal: Los cabezales de presión superior e inferior aplican simultáneamente una presión de 200 a 400 MPa durante 5 a 15 segundos para garantizar que las partículas de polvo estén completamente comprimidas.

Desmoldeo: libere la presión lentamente (velocidad <10 MPa/s) y retire la pieza verde para evitar que se agriete debido a una caída repentina de presión.

Tratamiento posterior: El tocho verde se seca a 50-80°C durante 2 horas para evitar la absorción de humedad, seguido de una presinterización (600-800°C) para eliminar el lubricante.

Características y ventajas del prensado bidireccional de carburo cementado

Uniformidad de densidad

En comparación con el prensado unidireccional, la acción simultánea de los cabezales de presión superior e inferior hace que la densidad de la parte media de la pieza en bruto esté más cerca de los dos extremos, y la densidad general puede alcanzar el 65%-75% de la densidad teórica (el prensado unidireccional suele ser del 50%-70%).

Bajo estrés interno

La compresión biaxial reduce la tensión cortante entre las partículas de polvo y los defectos internos de la pieza en bruto (como la delaminación y las microfisuras) se reducen significativamente.

Amplia aplicabilidad

Es adecuado para prensar piezas en bruto de tamaños más grandes (altura 10-50 mm) o de formas medianamente complejas, como placas y barras.

Eficiencia de producción

El ciclo de prensado es corto, adecuado para la producción en masa y más eficiente que el prensado isostático en frío.

Desventajas y desafíos

Complejidad del molde

La matriz de prensado bidireccional debe soportar el movimiento hacia arriba y hacia abajo, y los costos de diseño y fabricación son más altos que los de la matriz de prensado unidireccional.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Densidad lateral insuficiente

Aunque la densidad es uniforme de arriba a abajo, aún puede haber un gradiente de densidad en la dirección lateral (horizontal), especialmente en cuerpos verdes con una relación de aspecto grande.

Requisitos elevados de equipamiento

La sincronización de los cabezales de presión superior e inferior requiere un control de alta precisión y el costo de mantenimiento del equipo es alto.

Escenario de aplicación

Varillas de carburo

Se utiliza para fabricar fresas y brocas con un diámetro de 10-30 mm y una longitud de 50-100 mm.

Hoja fina en blanco

Se utiliza para producir revestimientos resistentes al desgaste o sustratos de herramientas de corte, de 5 a 20 mm de espesor.

Caso

Una empresa produce varillas de WC-10%Co (20 mm de diámetro y 80 mm de longitud) mediante prensado bidireccional a una presión de 300 MPa. La densidad de la pieza en verde es del 72 % de la densidad teórica, la porosidad tras la sinterización es de A02 y la dureza es de HRA 90.

Detalles técnicos y optimización

Distribución de presión

Los cabezales de presión superior e inferior deben ajustarse dinámicamente. Para polvos con alto contenido de Co (>12%), se recomienda que el cabezal de presión superior sea ligeramente mayor (por ejemplo, 1,1:1) para compensar la baja fluidez en la parte inferior.

Lubricación de matrices

La pared interior del molde está recubierta con una capa lubricante de grafito o MoS₂ y el coeficiente de fricción se reduce a 0,1-0,2, reduciendo la resistencia al desmoldeo.

Optimización de polvo

La adición de 0,5 % de polvo nano WC (tamaño de partícula <100 nm) puede mejorar la fuerza de unión entre las partículas y mejorar la densidad de prensado.

Asistencia por vibración

La introducción de vibración de baja frecuencia (50-100 Hz) durante la etapa de llenado mejora la uniformidad del llenado de polvo y reduce los orificios de aire.

Precauciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Asegúrese de que los cabezales de presión superior e inferior estén sincronizados. Una desviación excesiva puede desviar el centro de la pieza bruta. Se recomienda utilizar un sistema de servocontrol. Para polvos de alta dureza (como partículas WC de tamaño $<1\ \mu\text{m}$), el tiempo de preensado debe extenderse (5-8 segundos) para evitar la aglomeración del polvo.

Los moldes deben revisarse periódicamente (cada 1000 prensados) para detectar desgaste y, si es necesario, pulirse o reemplazarse.

Referencias estándar relacionadas

Guía del proceso de sinterización de carburo cementado ISO 4489:2009: señala que el prensado bidireccional puede mejorar la uniformidad de la densidad del cuerpo verde y es adecuado para piezas de gran tamaño.

GB/T 3850-2015 Determinación de la densidad teórica del carburo cementado: El aumento de la densidad de la palanquilla verde a través del prensado bidireccional ayuda a alcanzar el estándar de densidad teórica después de la sinterización (desviación $<2\%$).

5.1.22 Tecnología de prensado de carburo cementado: prensado multidireccional (prensado lateral)

Principio y antecedentes

El prensado multidireccional es una tecnología de prensado avanzada. Basado en el prensado bidireccional, al añadir un cabezal de presión lateral (horizontal), se aplica presión desde múltiples direcciones simultáneamente (generalmente vertical y de 2 a 4 laterales) para comprimir y moldear el polvo de carburo cementado. Su objetivo es mejorar la uniformidad de la densidad del cuerpo verde, reducir la tensión interna y los defectos, y es especialmente adecuado para productos de carburo cementado con formas complejas o requisitos de alto rendimiento.

El prensado multidireccional compensa la deficiencia de densidad lateral del prensado bidireccional distribuyendo la presión en múltiples direcciones. Es más económico que el prensado isostático en frío (CIP) y adecuado para producciones de escala media.

La introducción de presión lateral permite que las partículas de polvo se compriman de manera más uniforme en el espacio tridimensional, mejorando significativamente la densidad y el rendimiento posterior a la sinterización del cuerpo verde.

Parámetros del equipo y del proceso

equipo

Máquina de prensado multidireccional

Equipado con 4-6 cabezales de presión (1-2 verticales, 2-4 laterales), el rango de presión es de 200-500 MPa, las marcas comunes incluyen Sumitomo de Japón o Schuler de Alemania.

Moho

Estructura compuesta móvil multidireccional, la capa interna está hecha de carburo cementado (HRA 88 o superior), la capa exterior está hecha de acero de alta resistencia (resistencia a la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

compresión > 1000 MPa) y la pared interna del molde está pulida a $Ra < 0,15 \mu m$.

Sistema de control

El PLC se combina con un servomotor para monitorear la presión y el desplazamiento de cada cabezal de presión en tiempo real, con una precisión de ± 1 MPa y una desviación de desplazamiento de $< 0,01$ mm.

Parámetros del proceso

presión

Altura de presión vertical 300-400 MPa, altura de presión lateral 200-350 MPa, relación de presión ajustable (normalmente 1:0,8).

Tiempo de prensado

El ciclo total es de 10 a 20 segundos, incluida la preimpresión (3 a 5 segundos) y la prensa principal (5 a 15 segundos).

Propiedades del polvo

de partícula de WC es de $1-2 \mu m$, el contenido de Co es del 6%-12% y se agrega entre el 0,5% y el 1% de lubricante de grafito para reducir la fricción.

Condiciones ambientales

Temperatura 20 ± 3 °C, humedad < 50 %, asegúrese de que el polvo esté seco.

Proceso

Preparación del polvo

Los polvos de WC y Co se mezclaron mediante mezclado de alto cizallamiento (molino planetario, 24 h) y se agregaron cantidades traza de nanoaditivos (como 0,5 % de nano-WC) para mejorar la fuerza de unión entre las partículas.

Relleno de moldes

El polvo se carga en el molde a través de un sistema de alimentación automático, combinado con vibración de baja frecuencia (50 Hz) para garantizar un llenado uniforme con una desviación de densidad de $< 3\%$.

Precarga

Aplique 50-100 MPa con el cabezal de presión vertical y 30-80 MPa con el cabezal de presión lateral durante 3-5 segundos para excluir el aire.

Presión principal

Los cabezales de presión verticales y laterales se presionan sincrónicamente, 400 MPa verticalmente y 300 MPa lateralmente, durante 5-15 segundos para garantizar una compresión tridimensional.

Desmoldeo

Descargue la pieza verde en etapas (velocidad < 5 MPa/s) para evitar grietas causadas por una liberación excesiva de tensión.

Procesamiento posterior

El tocho verde se secó a 60 °C durante 3 h y posteriormente se presinterizó (700 °C durante 2 h) para eliminar el lubricante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características y beneficios

Uniformidad de densidad

El prensado multidireccional distribuye la presión en tres dimensiones, lo que hace que la densidad del material verde sea más uniforme en todas las direcciones. La densidad promedio puede alcanzar entre el 75 % y el 80 % de la densidad teórica (entre el 65 % y el 75 % con el prensado bidireccional).

Pocos defectos internos

La introducción de presión lateral reduce significativamente la delaminación y las microfisuras y aumenta la resistencia del tocho verde en un 20%-30%.

Adaptabilidad de formas complejas

Adecuado para formas medianamente complejas (como piezas en bruto de herramientas de múltiples filos, moldes con formas especiales), más flexible que el prensado bidireccional.

Rendimiento de sinterización mejorado

La densidad uniforme del tocho verde hace que la contracción de sinterización sea más consistente y la porosidad del producto terminado puede alcanzar el nivel A00-B00.

Desventajas y desafíos

Complejidad del equipo

Las máquinas de prensado multidireccionales requieren la coordinación de múltiples cabezales de prensado, y el costo del equipo y la dificultad de mantenimiento son mayores que el prensado bidireccional.

Dificultad del diseño del molde

Los moldes multidireccionales deben soportar tensiones multidireccionales, el diseño debe optimizarse mediante análisis de elementos finitos (FEA) y el costo de fabricación es elevado.

Altos requisitos de control de procesos

La presión y el desplazamiento de cada cabezal de presión deben sincronizarse con alta precisión y el sistema de control necesita retroalimentación en tiempo real.

Escenario de aplicación

Piezas en bruto de herramientas complejas, como fresas de múltiples filos y piezas en bruto de brocas, que requieren alta uniformidad y resistencia.

Los moldes en blanco, como las matrices de estampación y las matrices de trefilado, requieren una alta densidad.

Caso

Una empresa produce piezas brutas para herramientas multifilo de WC-8%Co (diámetro de 30 mm, altura de 15 mm) mediante prensado multidireccional (400 MPa vertical, 300 MPa lateral). La densidad de la pieza bruta es del 78 % de la densidad teórica, la porosidad tras la sinterización es A00 y la dureza es HRA 91.

Detalles técnicos y optimización

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Distribución de presión

La carga de presión vertical representa entre el 50 % y el 60 % de la presión total, y la carga de presión lateral, entre el 40 % y el 50 %. La relación se optimiza mediante experimentos (por ejemplo, 1:0,8:0,8).

Recubrimiento de molde

La pared interior está recubierta con un revestimiento de TiN o DLC, el coeficiente de fricción se reduce a 0,15 y se prolonga la vida útil del molde (> 5000 veces de prensado).

Optimización de polvo

Agregue 0,5% de lubricante de nanogرافito para reducir la fricción lateral y mejorar la fluidez de las partículas.

Tecnología de asistencia

Se introdujo la vibración ultrasónica (20 kHz) para ayudar al prensado, mejorando la reorganización de las partículas y aumentando la densidad en un 5%.

Precauciones

La sincronización del cabezal de presión debe ser monitoreada por un sistema de control de circuito cerrado, con una desviación de <0,5 mm para evitar sesgos.

Se debe inspeccionar periódicamente el molde para detectar puntos de tensión multidireccionales (como el área de contacto del cabezal de presión lateral) para evitar el desgaste local.

Para polvos con alto contenido de Co (>10%), la presión lateral debe reducirse (200-250 MPa) para evitar que la sobrepresión provoque grietas en el cuerpo verde.

Referencias estándar relacionadas

ISO 4489:2009 Guía de procesos de sinterización de carburo cementado

El prensado multidireccional puede mejorar significativamente la uniformidad del cuerpo verde y se recomienda para formas complejas.

GB/T 3850-2015 Determinación de la densidad teórica del carburo cementado

El aumento de la densidad del tocho verde a través del prensado multidireccional ayuda a alcanzar la densidad teórica después de la sinterización (desviación <1,5%).

5.1.23 Prensado por extrusión

Esta sección describe detalladamente la tecnología de prensado por extrusión de carburo cementado, abarcando principios, características, parámetros técnicos, flujo de proceso, escenarios de aplicación, factores influyentes, estrategias de optimización, casos reales y prácticas de ingeniería. El contenido se basa en la aplicación práctica de la producción de carburo cementado, junto con las características del proceso y datos industriales, y busca ser exhaustivo y de referencia.

Principio del prensado por extrusión de carburo

El moldeo por extrusión es una tecnología de moldeo pulvimetalúrgica que se utiliza específicamente para producir piezas brutas de carburo cementado delgadas o de forma continua.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El principio fundamental consiste en mezclar polvo de carburo cementado (como polvo mixto WC-Co) con un aglutinante (como alcohol polivinílico PVA, polioximetileno POM o aglutinante a base de cera) para preparar una pasta con buena fluidez. Posteriormente, la pasta se introduce en un molde personalizado a alta presión mediante una extrusora para extruir una pieza bruta con una forma de sección transversal específica. Durante el proceso de extrusión, las partículas de polvo se reorganizan, comprimen y combinan inicialmente bajo alta presión y las restricciones del molde. El aglutinante actúa como lubricante y adhesivo para garantizar que la pieza bruta tenga la resistencia y estabilidad de forma necesarias tras el moldeo. Tras la extrusión, la pieza bruta se corta a la longitud requerida y el aglutinante se elimina mediante desengrasado y sinterización para formar finalmente un producto de carburo cementado de alto rendimiento. El proceso de moldeo por extrusión es el siguiente:

Polvo mezclado con aglutinante

Los polvos de WC y Co se mezclan en proporción (generalmente mediante un mezclador de alto cizallamiento o un molino planetario durante 24 horas) y se agrega entre un 10% y un 25% de aglutinante para preparar un material en pasta uniforme.

Extrusión

El material en pasta se carga en el barril del extrusor y se aplica alta presión (200-400 MPa) a través del pistón o tornillo para empujar el material hacia la matriz para extruir un tocho con una forma de sección transversal específica.

Corte y secado

El cuerpo continuo extruido se corta según las necesidades (hasta varios metros de longitud) y se seca a 50-80 °C durante 2-4 horas para evitar la absorción de humedad.

Desengrasante

La eliminación del aglutinante se realiza mediante desaglomerante térmico (300-500 °C) y desaglomerante químico, con una velocidad de calentamiento de <5 °C/min.

sinterización

Sinterización a 1350-1450 °C y densificación para obtener el producto final de carburo cementado. La ventaja única del moldeo por extrusión es que permite producir palanquillas delgadas de forma continua. La forma de la salida de la matriz determina la geometría de la sección transversal de la palanquilla, ideal para la producción en masa de piezas largas como barras y tubos.

Características del moldeo por extrusión de carburo cementado

El moldeo por extrusión tiene las siguientes características importantes en la producción de carburo cementado:

Flexibilidad de forma

Es adecuado para la producción de piezas en bruto delgadas o continuas, como varillas, tubos y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

barras con formas especiales. La forma de la sección transversal se puede personalizar mediante el molde (como redonda, rectangular o poligonal).

Requisitos de la carpeta

Se requiere añadir una gran cantidad de aglutinante (10-25%) para garantizar la fluidez de la pasta y la resistencia del moldeo de la masa verde. La presencia de aglutinante requiere un proceso de desengrasado posterior.

Características de densidad

La densidad del tocho verde suele ser del 55% al 65% de la densidad teórica, la cual se ve afectada por la proporción de aglutinante y la presión de extrusión. Una proporción de aglutinante más alta puede reducir la densidad inicial, pero tras la sinterización, puede alcanzar el 98% al 99% de la densidad teórica.

Eficiencia de producción

Adopta un proceso de extrusión continua de alta eficiencia de producción, ideal para la producción en masa. La producción diaria de una sola extrusora puede alcanzar cientos de metros de palanquillas.

Complejidad del proceso

La relación de aglutinante, la velocidad de extrusión y el proceso de desengrasado deben controlarse con precisión, la cadena de proceso es larga y la complejidad de producción aumenta.

Parámetros técnicos del moldeo por extrusión de carburo cementado

Los siguientes son los parámetros técnicos detallados del moldeo por extrusión de carburo cementado, basados en la práctica industrial y los estándares relevantes:

presión

Rango : 200-400 MPa, 300 MPa se utiliza comúnmente para garantizar la resistencia del cuerpo verde y la estabilidad del conformado.

Impacto : Una presión demasiado baja (<150 MPa) puede provocar una densidad insuficiente del cuerpo verde (<50 % de densidad teórica); una presión demasiado alta (>450 MPa) puede provocar desgaste del molde o grietas en la superficie del cuerpo verde.

Propiedades del polvo

Tamaño de partícula : tamaño de partícula WC 1-3 μm , tamaño de partícula Co 1-2 μm , desviación de uniformidad de mezcla <3% (GB/T 19077.1-2008).

Aglutinante : alcohol polivinílico (PVA) o aglutinante a base de cera , la proporción es del 15% al 25%, normalmente del 20% para equilibrar la fluidez y la resistencia del cuerpo verde.

Fluidez : La fluidez del material en pasta debe alcanzar los 15-20 segundos/50 g (similar a la norma ISO 4490:2018) para garantizar una extrusión suave.

Velocidad de extrusión

Rango : 0,5-2 m/min, el utilizado comúnmente es 1 m/min.

Impacto : Una velocidad demasiado rápida (>2,5 m/min) puede provocar grietas en la superficie o poros internos en la pieza en bruto; una velocidad demasiado lenta (<0,3 m/min) reduce la eficiencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de producción.

Diseño de moldes

Material : Carburo (HRA 88 o superior) o acero de alta dureza (HRC 60 o superior), tolerancia de la sección de salida $<0,01$ mm.

Tratamiento de la superficie : La pared interior del molde se pule a $Ra < 0,1 \mu m$ (GB/T 1031-2009) para reducir la resistencia a la fricción ($<0,1$, datos experimentales).

Forma de salida : personalizada según los requisitos del producto, como redonda (diámetro de 2 a 20 mm), rectangular (ancho de 2 a 10 mm).

Parámetros del equipo :

Extrusora : Tipo pistón o tornillo, rango de presión 200-500 MPa, temperatura de calentamiento del barril 50-80°C.

Sistema de control : Control PLC, precisión de velocidad de extrusión $\pm 0,1$ m/min, precisión de presión ± 5 MPa.

Condiciones de desengrasado :

Temperatura : 300-500 °C, calentamiento gradual, 400 °C se utiliza comúnmente para desengrasado térmico.

Velocidad de calentamiento : $<5^{\circ}C/min$, para evitar el agrietamiento de la pieza.

Ambiente : Vacío o atmósfera inerte (N_2 o Ar , pureza $>99,9\%$), para evitar la oxidación.

Densidad de tochos verdes :

Rango : 55%-65% de densidad teórica (aproximadamente $7,0-8,5 g/cm^3$, según GB/T 3850-2015).

Impacto : Cuanto mayor sea la proporción de aglutinante, menor será la densidad inicial, pero esto se puede compensar mediante la densificación después de la sinterización.

Proceso

Preparación del polvo

Los polvos de WC y Co se mezclan en proporción (generalmente tamaño de partícula de WC $1-3 \mu m$, contenido de Co 6%-12%) y se amasan con un molino planetario durante 24 horas, con una desviación de uniformidad $<3\%$. Se agrega un 15%-25% de aglutinante (como PVA) y se amasa hasta formar una pasta (el contenido de humedad se controla al 30%-40%).

Extrusión

El material en pasta se carga en el barril del extrusor y se calienta a 50-80 °C para mejorar la fluidez. Aplicar una presión de 300 MPa y una velocidad de extrusión de 1 m/min para extruir varillas o tubos a través de la matriz.

Corte y secado

El tocho continuo extruido se corta según las necesidades (longitud 100-500 mm) con una precisión

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

de corte de $\pm 0,5$ mm.

Secar a 50-80 °C durante 2-4 horas para reducir el contenido de humedad a $<0,5$ %.

Desengrasante

Desengrasado térmico: 300-500°C, velocidad de calentamiento $<5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantener caliente durante 2 horas.

Desengrasante químico: utilice un disolvente (como hexano) para eliminar el adhesivo residual cuando sea necesario.

sinterización

Sinterizar a 1350-1450°C, mantener caliente durante 1-2 horas y densificar hasta el 98%-99% de la densidad teórica.

Escenario de aplicación

El moldeo por extrusión se utiliza ampliamente en productos de carburo cementado que requieren formas esbeltas. Los principales escenarios incluyen:

Herramientas largas : como varillas de carburo (diámetro de 2 a 20 mm), utilizadas para fabricar varillas de perforación, fresas y brocas.

Tubos : como tubos de carburo (diámetro exterior de 5 a 15 mm, espesor de pared de 1 a 3 mm), utilizados para tuberías o boquillas resistentes al desgaste.

Barras de formas especiales : como barras de sección transversal rectangular o poligonal, utilizadas para herramientas de corte especiales.

Caso : Una empresa produce varillas de WC-10%Co (5 mm de diámetro y 300 mm de longitud) mediante moldeo por extrusión a una velocidad de 1 m/min. La densidad en verde es del 60 % de la densidad teórica (aproximadamente $8,0 \text{ g}/\text{cm}^3$), la dureza tras la sinterización es HRA 91 y la porosidad es A02. Se utiliza para fabricar brocas de precisión.

Factores influyentes y estrategias de optimización

Relación de aglutinante

Impacto : La proporción de aglutinante es del 15% al 25%, y la desviación debe controlarse en $<1\%$. Una proporción alta ($>30\%$) reducirá la densidad del tocho verde ($<50\%$ de densidad teórica) y provocará una contracción desigual tras la sinterización (desviación $>5\%$); una proporción baja ($<10\%$) resultará en una fluidez insuficiente y dificultades en la extrusión.

Optimización : utilice $20\% \pm 0,5\%$ de PVA y extienda el tiempo de mezcla a 2 horas para garantizar la uniformidad.

Velocidad de extrusión

Impacto : La velocidad es de 0,5 a 2 m/min. Una velocidad demasiado rápida ($>2,5 \text{ m}/\text{min}$) provocará grietas superficiales (profundidad de grieta $>0,1 \text{ mm}$, datos experimentales); una velocidad demasiado lenta ($<0,3 \text{ m}/\text{min}$) reducirá la eficiencia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización : Controle la velocidad a 1-1,5 m/min y monitoree la calidad de la superficie de la pieza en tiempo real.

Fluidez del polvo

Impacto : Fluidez de 15 a 20 segundos/50 g (similar a la norma ISO 4490:2018). Una fluidez deficiente (>25 segundos/50 g) puede provocar una extrusión irregular.

Optimización : Al agregar 0,5 % de lubricante de ácido esteárico, la fluidez después de la mezcla mejora a 15 segundos/50 g $\pm$ 0,5 segundos.

Diseño de moldes

Impacto : La tolerancia de salida del molde es $<0,01$ mm y la rugosidad de la superficie Ra es $<0,1$ μ m , lo que puede reducir la resistencia a la fricción ($<0,1$) y reducir los defectos en bruto (tasa de defectos $<2\%$).

Optimización : La pared interior de la matriz está recubierta con un revestimiento DLC para prolongar la vida útil ($>10\ 000$ extrusiones).

Proceso de desengrasado

Impacto : Una velocidad de calentamiento > 5 °C/min puede provocar el agrietamiento de la pieza en bruto (tasa de agrietamiento > 5 %); una temperatura > 500 °C puede provocar oxidación (contenido de O $> 0,05$ %).

Optimización : Calentamiento gradual (200-300 °C, 2 °C/min; 300-500 °C, 3 °C/min), desintegración en atmósfera de N₂.

Precauciones

Control del aglutinante : la desviación de la relación debe ser $<1\%$ y la desviación de la uniformidad de la mezcla debe ser $<2\%$ para evitar defectos de sinterización causados por un exceso de aglutinante local.

Desvinculación Proceso : velocidad de calentamiento <5 °C/min, tiempo de mantenimiento 2-3 horas, garantizar la eliminación completa del aglutinante (residuo $<0,1\%$).

Mantenimiento del molde : Verifique la salida del molde cada 5000 extrusiones y púlala a Ra $< 0,1$ μ m para evitar que el desgaste afecte la precisión de la pieza en bruto.

Secado del cuerpo verde : temperatura de secado 50-80°C, tiempo 2-4 horas, contenido de humedad $<0,5\%$, evitar el agrietamiento debido a la absorción de humedad.

Calibración del equipo : La presión y la velocidad del extrusor deben calibrarse periódicamente (una vez al mes), con una desviación de presión $\leq \pm 5$ MPa y una desviación de velocidad $\leq \pm 0,1$ m/min.

Casos reales

Una empresa utiliza el proceso de moldeo por extrusión para producir varillas de carburo cementado WC-10%Co (diámetro de 5 mm, longitud de 300 mm) para la fabricación de brocas de precisión. Los parámetros del proceso son los siguientes:

Presión: 300 MPa $\pm$ 5 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Velocidad de extrusión: 1 m/min $\pm$ 0,1 m/min.

de partícula WC 1,5 μ m , contenido de Co 10% $\pm$ 1%, aglutinante PVA 20% $\pm$ 0,5%.

Desengrasante: 400°C, velocidad de calentamiento 3°C/min, atmósfera de N₂.

Sinterización: 1400 °C, temperatura de mantenimiento 1,5 horas. Resultado: densidad en verde 60 % de la densidad teórica (aprox. 8,0 g/cm³) , densidad sinterizada 99 % de la densidad teórica, dureza HRA 91, porosidad A02, vida útil de la broca >1000 m (perforación en roca dura, resistencia a la compresión >150 MPa).

Práctica de aplicación de la ingeniería

Varilla de perforación de carburo

Proceso : La varilla de perforación WC-12%Co (diámetro de 10 mm, longitud de 500 mm) se produjo mediante moldeo por extrusión, con una presión de 350 MPa y una velocidad de extrusión de 1,2 m/min.

Rendimiento : dureza después de la sinterización HRA 90, porosidad A02, utilizado para perforación petrolera (resistencia a la compresión >200 MPa), vida útil >2000 m.

Ventajas : La formación continua garantiza la consistencia de la longitud y la sección transversal de la varilla, mejorando la estabilidad y la durabilidad de la varilla de perforación.

Tubería resistente al desgaste

Proceso : La tubería WC-8%Co (diámetro exterior 12 mm, espesor de pared 2 mm) se produjo mediante moldeo por extrusión, con una presión de 300 MPa y una velocidad de extrusión de 1 m/min.

Rendimiento : La densidad después de la sinterización es del 98,5% de la densidad teórica, dureza HRA 89, utilizada para transportar lodos corrosivos, vida útil resistente al desgaste > 6 meses.

Ventajas : El espesor de la pared de la tubería es uniforme, con excelente resistencia a la corrosión y al desgaste, adecuado para duras condiciones de trabajo.

Resumir

El moldeo por extrusión es un proceso de prensado de carburo cementado eficiente y flexible, especialmente adecuado para la producción de cuerpos verdes delgados (como barras y tubos). Mediante un control preciso de la proporción de aglutinante (20 % $\pm$ 0,5 %), la velocidad de extrusión (1-1,5 m/min) y el proceso de desaglomerado (velocidad de calentamiento < 5 °C/min), se pueden preparar cuerpos verdes de alta calidad con una densidad del 55 % al 65 % de la densidad teórica, con un excelente rendimiento tras la sinterización (dureza HRA 90-91). Ofrece un excelente rendimiento en la fabricación de cuchillas largas y tubos resistentes al desgaste, satisfaciendo así las necesidades de la producción en masa.

5.1.24 Moldeo por inyección de carburo

Principio del moldeo por inyección de carburo

El moldeo por inyección es una tecnología avanzada de moldeo pulvimetalúrgico diseñada

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

específicamente para carburo cementado (como el polvo mixto WC-Co), similar al proceso de moldeo por inyección de plástico. Su principio fundamental consiste en mezclar el polvo de carburo cementado con un aglutinante termoplástico (como polipropileno PP, polioximetileno POM o una mezcla a base de cera) proporcionalmente, calentarlo a 150-200 °C para obtener una masa fundida con buena fluidez y, posteriormente, inyectar el material fundido en un molde de alta precisión mediante el sistema de inyección de alta presión (50-100 MPa) de la máquina de moldeo por inyección. Tras el enfriamiento, se forma una pieza bruta con forma compleja o tamaño pequeño, y posteriormente se elimina el aglutinante mediante desengrasado y sinterización para obtener un producto de carburo cementado de alta densidad. La optimización del moldeo por inyección reside en la alta dureza y baja fluidez del polvo de carburo cementado, así como en el uso de un sistema de aglutinante especial y un diseño de molde de precisión para garantizar la precisión del moldeo y la calidad de la pieza bruta. El proceso de moldeo por inyección es el siguiente:

Polvo mezclado con aglutinante

Los polvos de WC y Co se mezclaron con un 20%-30% de aglutinante termoplástico y se mezclaron en un mezclador de alto cizallamiento a 150-180 °C durante 2-4 horas para formar una alimentación uniforme.

Moldeo por inyección

El material fundido se extruye a través de un tornillo o émbolo, se inyecta en el molde a una presión de 80 MPa y se desmolda después de enfriarse.

Desengrasante

desaglomerante térmico (200-400 °C) y desaglomerante químico (400-600 °C) con una velocidad de calentamiento de <3 °C/min.

sinterización

Sinterizar a 1350-1450°C, mantener durante 1-2 horas y densificar al 98% de la densidad teórica. La ventaja única del moldeo por inyección es que permite producir formas geométricas complejas y piezas de pequeño tamaño, con un diseño de molde flexible y una alta precisión de moldeo. Es especialmente adecuado para productos de carburo cementado que requieren alta precisión y estructuras complejas.

Características del moldeo por inyección de carburo

El moldeo por inyección tiene las siguientes características importantes en la producción de carburo cementado:

Alta precisión

Adecuado para formas complejas (como engranajes, microherramientas) y piezas de tamaño pequeño, con una tolerancia de moldeo de $<0,01$ mm y una rugosidad superficial de $Ra < 0,2 \mu m$.

Proceso complejo

Implica múltiples procesos como mezcla, inyección, desengrase y sinterización. La cadena de proceso es relativamente larga y el ciclo de producción dura entre 10 y 20 minutos por pieza.

Características de densidad

La densidad del tocho verde es del 50% al 60% de la densidad teórica. Tras la sinterización, puede alcanzar el 98% al 99% de la densidad teórica mediante densificación, y la porosidad se reduce a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

niveles A00-B00.

Eficiencia de producción

Adecuado para producciones de lotes pequeños y medianos, la producción de un solo disparo es limitada (1 a 10 piezas/ciclo), pero la eficiencia se puede mejorar a través de moldes de múltiples cavidades.

Mayor costo

Los costos de diseño y fabricación de moldes son elevados y los procesos de desaglomerado y sinterización aumentan los costos de producción.

Parámetros técnicos del moldeo por inyección de carburo cementado

Los siguientes son los parámetros técnicos detallados del moldeo por inyección de carburo cementado, basados en la práctica industrial y los estándares relevantes:

presión

Rango : 50-100 MPa, 80 MPa se utiliza comúnmente para garantizar la calidad del llenado y moldeo.

Impacto : Una presión demasiado baja (<40 MPa) puede provocar falta de llenado o defectos (tasa de defectos $>5\%$); una presión demasiado alta (>120 MPa) puede dañar el molde o provocar que el material fundido se desborde.

Propiedades del polvo

Tamaño de partícula : tamaño de partícula WC $0,5-2\ \mu\text{m}$, tamaño de partícula Co $0,5-1\ \mu\text{m}$, desviación de uniformidad de mezcla $<3\%$ (GB/T 19077.1-2008).

Aglutinante : Aglutinante termoplástico (como PP, POM o mezcla a base de cera) , la proporción es del $20\%-30\%$, normalmente el 25% para equilibrar la fluidez y la resistencia del cuerpo verde.

Fluidez : La viscosidad en estado fundido es de $100-500\ \text{Pa}\cdot\text{s}$ (datos experimentales), lo que garantiza un llenado de inyección uniforme.

Temperatura de inyección

Rango : $150-200\ ^\circ\text{C}$, $180\ ^\circ\text{C}$ se utiliza comúnmente para optimizar el estado de fusión.

Impacto : Una temperatura demasiado baja ($<140\ ^\circ\text{C}$) provocará una alta viscosidad y dificultad en el llenado; una temperatura demasiado alta ($>220\ ^\circ\text{C}$) puede descomponer el aglutinante y afectar el desengrasado.

Temperatura del molde

Rango : $50-80\ ^\circ\text{C}$, $60\ ^\circ\text{C}$ se utiliza comúnmente para acelerar el enfriamiento y el desmoldeo .

Impacto : Una temperatura demasiado baja ($<40^\circ\text{C}$) puede provocar un enfriamiento excesivo y producir tensión interna; una temperatura demasiado alta ($>90^\circ\text{C}$) prolonga el tiempo de enfriamiento.

Condiciones de desengrasado

Temperatura : $200-600^\circ\text{C}$, realizada en dos pasos: desunión térmica $200-400^\circ\text{C}$, desunión química $400-600^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Velocidad de calentamiento : $<3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, para evitar el agrietamiento de la pieza en bruto (tasa de agrietamiento $<1\%$).

Ambiente : Vacío o atmósfera inerte (N_2 o Ar , pureza $>99,9\%$), para evitar la oxidación.

Parámetros del equipo

Máquina de moldeo por inyección : tipo tornillo o émbolo, presión de inyección 50-120 MPa, potencia de calentamiento del barril 10-20 kW.

Moho : Acero de alta dureza (como H13, HRC 50 o superior) o revestimiento de carburo, tolerancia $<0,01\text{ mm}$, superficie pulida a $\text{Ra} <0,1\text{ }\mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009).

Sistema de control : Control PLC, precisión de temperatura $\pm 2^{\circ}\text{C}$, precisión de presión $\pm 2\text{ MPa}$.

Densidad de palanquilla verde

Rango : 50%-60% de densidad teórica (aproximadamente $6,5\text{-}8,0\text{ g}/\text{cm}^3$, según GB/T 3850-2015).

Impacto : Cuanto mayor sea la proporción de aglutinante, menor será la densidad inicial, pero después de la sinterización puede alcanzar el 98%-99% mediante difusión y densificación.

Proceso

Polvo mezclado con aglutinante

Los polvos de WC y Co se mezclaron en proporción (tamaño de partícula de WC $0,5\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$, contenido de Co 6%-10%) y se amasaron en un mezclador de alto cizallamiento a $150\text{-}180^{\circ}\text{C}$ durante 2-4 horas.

Agregue entre un 20% y un 30% de aglutinante (como una mezcla de PP y POM) para formar una alimentación uniforme con una desviación en la distribución del tamaño de partícula de $<2\%$.

Moldeo por inyección

El material de alimentación se carga en el barril de la máquina de moldeo por inyección, se calienta a $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y se extruye a través del tornillo después de fundirse.

La presión de inyección es de 80 MPa y la temperatura del molde es de 60°C . El molde se inyecta y se desmolda tras enfriarse durante 5 a 10 minutos.

Desengrasante

Desunión térmica : $200\text{-}400^{\circ}\text{C}$, velocidad de calentamiento $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantener durante 2 horas, atmósfera de N_2 .

Desengrasante químico : $400\text{-}600^{\circ}\text{C}$, velocidad de calentamiento $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, limpieza con disolvente para eliminar el aglutinante residual.

sinterización

Sinterizar a $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, mantener durante 1,5 horas, vacío o Ar atmósfera, densificarse hasta el 98%-99% de la densidad teórica.

Escenario de aplicación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El moldeo por inyección se utiliza ampliamente en micropiezas de carburo cementado que requieren alta precisión y formas complejas. Los principales escenarios incluyen:

Micropiezas : como engranajes de precisión y microherramientas, utilizadas en dispositivos médicos (como implantes ortopédicos) y en la industria electrónica (como piezas de micromotores).

Estructuras complejas : como fresas micro de múltiples filos y piezas en bruto de herramientas con formas especiales para mecanizado de precisión.

Caso de moldeo por inyección de carburo

Una empresa produce microengranajes de WC-6%Co (3 mm de diámetro y 1 mm de espesor) mediante moldeo por inyección con una presión de inyección de 80 MPa y una temperatura de molde de 60 °C. La dureza tras la sinterización es HRA 92 y la tolerancia es <0,01 mm. Se utiliza en implantes médicos con una vida útil de más de 5000 ciclos.

Factores influyentes y estrategias de optimización del moldeo por inyección de carburo cementado

Relación de aglutinante

Impacto : La proporción de aglutinante es del 20% al 30%, y la desviación debe ser <1%. Una proporción alta (>35%) reducirá la densidad en verde (<45% de densidad teórica) y dificultará el desengrasado (residuos >0,5%); una proporción baja (<15%) provocará una fluidez insuficiente y un relleno irregular.

Optimización : utilice una mezcla de PP + POM al 25 % ± 0,5 % y mezcle durante 3 horas para garantizar la uniformidad.

Temperatura de inyección

Impacto : 180°C ±2°C optimiza la fluidez (viscosidad 200-300 Pa·s), temperaturas <140°C provocan un llenado insuficiente (tasa de defectos >3%); temperaturas >220°C pueden descomponer el aglutinante.

Optimización : Controlado a 180-190°C, calentamiento del barril por etapas (150°C entrada, 200°C salida).

Diseño de moldes

Impacto : Una tolerancia del molde <0,01 mm y una rugosidad de la superficie Ra <0,1 μm pueden reducir la resistencia al desmoldeo (<2 kN) y la tasa de defectos <1 % (datos experimentales).

Optimización : Se aplica un recubrimiento de TiN a la pared interior del molde para prolongar la vida útil (>10 000 inyecciones).

Proceso de desengrasado

Impacto : Una velocidad de calentamiento > 3 °C/min puede provocar el agrietamiento del cuerpo verde (tasa de agrietamiento > 2 %); una temperatura < 200 °C puede provocar un desligante incompleto y residuos > 0,3 %.

Optimización : calentamiento gradual (200-300°C, 2°C/min; 300-600°C, 1°C/min), desengrasado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

al vacío (<10 Pa).

Presión de inyección

Impacto : 80 MPa $\pm$ 2 MPa garantiza un llenado completo, una presión <50 MPa puede provocar disparos cortos (tasa de defectos >5%); una presión >120 MPa puede dañar el molde.

Optimizado : utiliza 80-90 MPa, ajustado dinámicamente para adaptarse a geometrías complejas.

Precauciones para el moldeo por inyección de carburo cementado

Eliminación de aglutinante : velocidad de calentamiento <3 °C/min, tiempo de retención de 2 a 3 horas, asegúrese de que el residuo de aglutinante sea <0,1 % (fracción de masa) para evitar defectos de sinterización.

Precisión del molde : El molde debe diseñarse con alta precisión (tolerancia <0,01 mm), la superficie debe pulirse a Ra <0,1 μ m (GB/T 1031-2009) y el desgaste debe comprobarse cada 500 inyecciones.

Control de enfriamiento : temperatura del molde 50-80°C, tiempo de enfriamiento 5-10 minutos, para evitar una tensión interna excesiva (<10 MPa, datos experimentales).

Control ambiental : Los procesos de mezcla e inyección deben realizarse en un ambiente seco (humedad <40%) para evitar que el polvo absorba humedad.

Mantenimiento del equipo : Limpie el tornillo y el cañón una vez al mes y verifique la precisión del sistema de calentamiento ($\pm$ 2°C).

Estudio de caso real de moldeo por inyección de carburo

Una empresa utiliza el moldeo por inyección para producir microengranajes de WC-6%Co (3 mm de diámetro y 1 mm de espesor) para implantes médicos. Los parámetros del proceso son los siguientes:

Presión de inyección: 80 MPa $\pm$ 2 MPa.

Temperatura de inyección: 180°C $\pm$ 2°C.

del molde : 60°C $\pm$ 2°C.

de partícula WC 0,8 μ m , contenido de Co 6% $\pm$ 1%, aglutinante POM 25% $\pm$ 0,5%.

Desengrasante: 200-600°C, velocidad de calentamiento 2°C/min, atmósfera de N₂.

Sinterización: 1400 °C, mantener caliente durante 1,5 horas. Resultado: La densidad en verde es del 55 % de la densidad teórica (aprox. 7,2 g/cm³), la densidad sinterizada es del 98,5 % de la densidad teórica, la dureza es HRA 92, la tolerancia es <0,01 mm y la vida útil es de más de 5000 ciclos, cumpliendo así con los requisitos de alta precisión de los dispositivos médicos.

Práctica de aplicación de ingeniería del moldeo por inyección de carburo cementado

Microcuchillo

Proceso : Se produjeron microfresas de WC-8%Co (2 mm de diámetro y 10 mm de longitud) mediante moldeo por inyección con una presión de inyección de 85 MPa y una temperatura del molde de 65 °C.

Rendimiento : después de la sinterización, la dureza es HRA 91, la porosidad es A00, se utiliza para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

procesamiento electrónico de precisión (velocidad de corte 200 m/min) y la vida útil es >10 horas.

Ventajas : Se logra un diseño complejo de múltiples bordes a través del moldeo por inyección, con alta precisión para cumplir con los requisitos de micromecanizado.

Piezas de implantes médicos

Proceso : Los implantes ortopédicos de WC-6%Co (5 mm de diámetro, 2 mm de espesor) se produjeron mediante moldeo por inyección con una presión de inyección de 80 MPa y una temperatura del molde de 60 °C.

Rendimiento : La densidad después de la sinterización es del 98% de la densidad teórica, la dureza HRA 92, la biocompatibilidad cumple con la norma ISO 10993 y la resistencia a la corrosión es excelente.

Ventajas : La alta precisión y las formas complejas satisfacen los requisitos de los implantes en cuanto a bioseguridad y propiedades mecánicas.

El moldeo por inyección es un proceso de prensado de carburo cementado de alta precisión, ideal para formas complejas y piezas pequeñas. Mediante un control preciso de la temperatura de inyección ($180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), la presión ($80\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$) y el proceso de desengrasado (velocidad de calentamiento $<3\text{ }^{\circ}\text{C/min}$), se pueden producir tochos verdes con una densidad del 50 % al 60 % de la densidad teórica y alcanzar el 98 % al 99 % de la densidad teórica (dureza HRA 92) tras la sinterización. Es un excelente proceso en sectores de alto valor añadido, como las microherramientas y los implantes médicos, satisfaciendo las necesidades de la producción en lotes pequeños y medianos.

5.1.25 Compactación con rodillos de carburo

Principio de compactación con rodillos de carburo

El laminado es una tecnología eficiente de conformado pulvimetalúrgico, ideal para la producción de láminas o tiras delgadas de carburo cementado (como el polvo mixto WC-Co). Su principio fundamental consiste en comprimir y cizallar el polvo de carburo cementado en el espacio entre dos rodillos giratorios de alta velocidad. Las partículas de polvo se comprimen y reorganizan a alta presión para formar una tira continua o una lámina delgada. El tamaño del espacio y la velocidad de rotación entre los rodillos determinan el espesor y la densidad de la pieza en bruto. Tras el conformado, esta se corta o estampa con la forma deseada y posteriormente se compacta mediante sinterización. El laminado utiliza la acción continua de la fuerza mecánica y es especialmente adecuado para la producción en masa de productos delgados de carburo cementado, reduciendo la necesidad de moldes complejos en los procesos de prensado tradicionales. El proceso de laminado es el siguiente:

Preparación del polvo

Mezcle los polvos de WC y Co, agregue un 2% de lubricante (como PVA o ácido esteárico) y asegure la homogeneidad mediante amasado.

Perfilado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se introduce en el espacio entre los rodillos mediante un dispositivo de alimentación. Los rodillos aplican una presión de 50-150 MPa y una velocidad de 5-15 rpm para extruir un cuerpo verde continuo.

Corte y secado

El cuerpo verde se corta en la longitud o forma deseada y se seca a 50-80 °C durante 2-4 horas.

sinterización

Sinterizado a 1350-1450°C, densificado al 98%-99% de densidad teórica.

Las ventajas únicas del perfilado son su capacidad de producción continua, la simplicidad de su equipo y su adaptabilidad a chapas delgadas o piezas brutas de gran superficie. Se utiliza ampliamente en la producción de sustratos de recubrimiento de carburo cementado resistentes al desgaste.

Características de la compactación con rodillos de carburo

El conformado de rodillos tiene las siguientes características importantes en la producción de carburo cementado:

Producción continua

Gracias a la rotación continua de los rodillos, es adecuada para la producción en masa de láminas o tiras delgadas, con una producción diaria de cientos de metros cuadrados.

Control de espesor

El espesor de la pieza en bruto es ajustable (0,5-5 mm) con una tolerancia de <0,05 mm, adecuado para aplicaciones que requieren un espesor uniforme.

Características de densidad

La densidad del tocho verde es del 50% al 60% de la densidad teórica. Debido a la fluidez del polvo y la presión del rodillo, debe densificarse al 98% o 99% mediante sinterización posterior.

Equipo sencillo

El equipo de rodillos tiene una estructura más simple y sus costos de fabricación y mantenimiento son menores que los de los equipos de moldeo por inyección o prensado isostático, lo que lo hace adecuado para la promoción industrial.

limitación

No es adecuado para formas tridimensionales complejas, la uniformidad del espesor depende de la precisión del espacio entre rodillos.

Parámetros técnicos

A continuación se detallan los parámetros técnicos del perfilado de carburo cementado, basados en la práctica industrial y los estándares pertinentes:

presión

Rango : 50-150 MPa, 100 MPa se utiliza comúnmente para equilibrar la densidad y la eficiencia de producción.

Impacto : Una presión demasiado baja (<40 MPa) produce una densidad insuficiente (<45 % de densidad teórica); una presión demasiado alta (>180 MPa) puede provocar el desgaste del rodillo o el agrietamiento de la palanquilla.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Propiedades del polvo

Tamaño de partícula : tamaño de partícula WC 1-3 μm , tamaño de partícula Co 1-2 μm , desviación de uniformidad de mezcla <3% (GB/T 19077.1-2008).

Lubricante : agregue un 2% de lubricante (como PVA o ácido esteárico) para mejorar la fluidez (14 segundos/50 g $\pm$ 0,5 segundos, ISO 4490:2018).

Contenido de humedad : controlado a <0,5% para evitar afectar el flujo del polvo.

Velocidad del rodillo

Rango : 5-15 rpm, 10 rpm es común para garantizar un prensado uniforme.

Impacto : una velocidad demasiado rápida (>20 rpm) puede provocar una superficie rugosa de la pieza en bruto ($R_a > 1 \mu\text{m}$) ; una velocidad demasiado lenta (<3 rpm) reduce la eficiencia de producción.

Brecha entre rodillos

Rango : 0,5-5 mm, ajustable, comúnmente utilizado 2 mm.

Precisión de control : desviación <0,02 mm, asegurando uniformidad del espesor (tolerancia <0,05 mm).

Impacto : Un espacio demasiado grande (>6 mm) reduce la densidad (<45 % de densidad teórica); un espacio demasiado pequeño (<0,3 mm) puede obstruir los rodillos.

Material del rodillo

Tipo : Carburo (HRA 88 y superior) o acero de alta dureza (HRC 60 y superior).

Tratamiento de la superficie : La superficie del rodillo se pule a $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) para reducir la fricción (coeficiente <0,15).

Parámetros del equipo

Prensa de rodillos : diseño de doble rodillo, potencia 10-20 kW, rango de presión 50-200 MPa.

Sistema de control : Control PLC, precisión de velocidad $\pm 0,5 \text{ rpm}$, precisión de espacio $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Densidad de palanquilla verde

Rango : 50%-60% de densidad teórica (aproximadamente 6,5-8,0 g/cm³ , según GB/T 3850-2015).

Impacto : La densidad aumenta con el aumento de la presión y la fluidez del polvo, y puede alcanzar el 98%-99% después de la sinterización.

Proceso

Preparación del polvo

Los polvos de WC y Co se mezclaron en proporción (tamaño de partícula de WC 1-3 μm , contenido de Co 6%-12%) y se mezclaron mediante molienda de bolas durante 12-24 horas con una desviación de uniformidad de <3%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Agregue un 2% de lubricante (como PVA), tamice (malla 200) después de mezclar y la fluidez alcanza los 14 segundos/50 g $\pm$ 0,5 segundos.

Perfilado

Se introduce en el espacio entre los rodillos mediante un dispositivo de alimentación vibratorio. Los rodillos aplicaron una presión de 100 MPa, una velocidad de 10 rpm y una separación de 2 mm. Extruido de forma continua en láminas o tiras delgadas, el espesor se controla a 2 mm $\pm$ 0,05 mm.

Corte y secado

La pieza en bruto se corta al tamaño requerido (longitud 100-500 mm, precisión $\pm$ 0,5 mm). Secar a 50-80 °C durante 2-4 horas para reducir el contenido de humedad a $<0,5$ %.

Sinterización

Sinterizar a 1400 °C $\pm$ 10 °C, mantener durante 1,5 horas, vacío o Ar atmósfera, densificarse hasta el 98%-99% de la densidad teórica.

Escenarios de aplicación de la compactación por laminación de carburo cementado

El perfilado se utiliza ampliamente en la producción de láminas delgadas o piezas brutas de carburo cementado de gran superficie. Los principales escenarios incluyen:

Chapa fina en blanco : como sustrato de revestimiento resistente al desgaste de carburo (espesor 1-3 mm), utilizado para refuerzo de superficies o materiales compuestos.

Tiras en bruto : como tiras de desgaste de carburo (ancho 10-50 mm), utilizadas para herramientas de corte o moldes.

Estudio de caso de compactación con rodillos de carburo

Una determinada empresa produce láminas delgadas resistentes al desgaste de WC-10%Co (espesor 2 mm, ancho 100 mm) mediante conformado por rodillos, con una velocidad de rodillo de 10 rpm, una presión de 100 MPa, una densidad verde del 55% de la densidad teórica (aproximadamente 7,3 g/cm³), una dureza de HRA 89 después de la sinterización y una porosidad de A02, que se utilizan como sustratos de revestimiento resistentes al desgaste.

Factores influyentes y estrategias de optimización de la compactación por laminación de carburo cementado

Brecha entre rodillos

Impacto : Espacio entre 0,5 y 5 mm, desviación $<0,02$ mm. Un espacio demasiado grande (>6 mm) reducirá la densidad (<45 % densidad teórica); un espacio demasiado pequeño ($<0,3$ mm) puede causar obstrucción.

Optimización : Sistema de ajuste automático de espacio con precisión de $\pm 0,01$ mm y monitoreo de espesor en tiempo real.

Velocidad del rodillo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Impacto : 10 rpm $\pm 0,5$ rpm garantiza un prensado uniforme, una velocidad >20 rpm da como resultado rugosidad de la superficie ($Ra > 1 \mu m$) ; una velocidad <3 rpm reduce la eficiencia.

Optimización : Controlado a 8-12 rpm, ajustado dinámicamente según la fluidez del polvo.

Fluidez del polvo

Impacto : Fluidez 14 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos (ISO 4490:2018). Una fluidez deficiente (>20 segundos/50 g) provoca una alimentación irregular y una desviación de la densidad $>5\%$.

Optimización : Añadiendo un 0,5% de lubricante de nanogafito , la fluidez mejora a 13 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos.

Control de presión

Impacto : 100 MPa ± 5 MPa densidad optimizada (55%-60% densidad teórica), presión <50 MPa densidad $<45\%$; presión >180 MPa el desgaste del rodillo se agrava.

Optimización : utilice 100-120 MPa, equipado con sensor de presión, desviación $\leq \pm 2$ MPa.

Superficie del rodillo

Impacto : Una rugosidad superficial $Ra < 0,2 \mu m$ puede reducir la fricción ($< 0,15$) y la tasa de defectos es $< 2\%$; $Ra > 0,5 \mu m$ puede provocar rayones en la superficie de la pieza en bruto.

Optimización : Pulir el rodillo cada 1000 veces hasta que $Ra < 0,2 \mu m$ y aplicar una capa resistente al desgaste (como CrN) .

Precauciones para la compactación con rodillos de carburo

Control de separación entre rodillos : Desviación $< 0,02$ mm, calibración regular (una vez al mes) para evitar espesores desiguales (tolerancia $> 0,1$ mm).

Fluidez del polvo : Se requiere una alta fluidez (14 s/50 g $\pm 0,5$ s, ISO 4490:2018), y se utiliza un dispositivo de alimentación vibratorio (50 Hz) para garantizar la uniformidad.

de rodillos : Compruebe el desgaste del rodillo cada 500 ciclos de laminación y púlalo a $Ra < 0,2 \mu m$ para prolongar la vida útil ($>10\,000$ veces).

Proceso de secado : Secar a $50-80^{\circ}C$ durante 2-4 horas, contenido de humedad $< 0,5\%$ para evitar la absorción de humedad y el agrietamiento.

Estabilidad del equipo : La velocidad y la presión del rodillo deben calibrarse periódicamente (una vez por semana), con una desviación de velocidad $\leq \pm 0,5$ rpm y una desviación de presión $\leq \pm 5$ MPa.

Caso real de compactación con rodillos de carburo

Una empresa utiliza el proceso de perfilado para producir láminas resistentes al desgaste de WC-10%Co (2 mm de espesor y 100 mm de ancho) para el recubrimiento de refuerzo de superficies. Los parámetros del proceso son los siguientes:

Presión: 100 MPa ± 5 MPa.

del rodillo : 10 rpm $\pm 0,5$ rpm.

Espacio: 2 mm $\pm 0,02$ mm.

Polvo: tamaño de partícula WC $1,5 \mu m$, contenido de Co $10\% \pm 1\%$, lubricante PVA $2\% \pm 0,1\%$.

Sinterización: $1400^{\circ}C$, 1,5 horas. Resultado: densidad en verde: 55 % de la densidad teórica (aprox.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7,3 g/cm³), densidad sinterizada: 98,5 % de la densidad teórica, dureza HRA 89, tolerancia de espesor <0,05 mm, porosidad A02, utilizado para recubrimiento resistente al desgaste, vida útil >500 horas (prueba de desgaste, carga 50 N).

Práctica de aplicación de ingeniería de compactación por laminación de carburo cementado

Sustrato de recubrimiento resistente al desgaste para compactación con rodillos de carburo

Proceso : Se produjeron láminas de WC-8%Co (espesor 1,5 mm, ancho 120 mm) mediante conformado con una presión de 100 MPa y una velocidad de rodillo de 12 rpm.

Rendimiento : después de la sinterización, la dureza es HRA 88, la densidad es del 98% de la densidad teórica, se utiliza para fortalecer la superficie del acero y la vida útil resistente al desgaste es >400 horas.

Ventajas : La producción continua garantiza un espesor de hoja uniforme, adecuado para aplicaciones de recubrimiento de áreas grandes.

Tiras para herramientas de corte por compactación con rodillo de carburo

Proceso : Se produjeron tiras de WC-12%Co (3 mm de espesor, 20 mm de ancho) mediante conformado por rodillos a una presión de 120 MPa y una velocidad de rodillo de 8 rpm.

Rendimiento : dureza después de la sinterización HRA 90, tenacidad $K_{IC} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, vida útil de corte >800 m (material duro, velocidad de corte 150 m/min).

Ventajas : Excelente resistencia a la tira y al desgaste, cumpliendo con los requisitos de alto rendimiento de las herramientas de corte.

El laminado es un proceso eficiente y económico de prensado de carburo cementado, especialmente indicado para la producción en masa de láminas delgadas o flejes (espesor 0,5-5 mm, tolerancia <0,05 mm). Mediante un control preciso de la separación entre rodillos (2 mm $\pm$ 0,02 mm), la velocidad (10 rpm $\pm$ 0,5 rpm) y la presión (100 MPa $\pm$ 5 MPa), se puede preparar un fleje verde con una densidad del 50 % al 60 % de la densidad teórica, que, tras la sinterización, alcanza el 98 % al 99 % de la densidad teórica (dureza HRA 88-90). Es un excelente producto para sustratos de recubrimiento resistentes al desgaste y flejes para herramientas de corte, satisfaciendo así las necesidades de la producción industrial.

5.1.26 Compactación explosiva de carburo cementado

Principio de compactación explosiva del carburo cementado

La compresión explosiva es una tecnología de moldeo especial que utiliza la onda de choque instantánea de alta presión (que puede alcanzar miles de MPa) generada por la explosión para comprimir el polvo de carburo cementado. El principio fundamental consiste en cargar el polvo de carburo cementado (como el polvo mixto WC-Co) en un contenedor metálico resistente a impactos, distribuir explosivos alrededor del contenedor y transmitir rápidamente la onda de choque de alta velocidad (que puede alcanzar miles de metros por segundo) generada por la explosión al polvo, lo que provoca una reorganización drástica, deformación plástica y fusión local de las partículas de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

polvo, formando finalmente un cuerpo verde de alta densidad. La singularidad de la compresión explosiva reside en su tiempo de compresión ultracorto (<1 milisegundo) y su presión ultraalta, que permite obtener instantáneamente un cuerpo verde con una densidad cercana a la teórica, lo que resulta especialmente adecuado para productos de carburo cementado que requieren una densidad extremadamente alta y propiedades especiales. Tras la explosión, el cuerpo puede requerir un tratamiento térmico posterior para reparar microfisuras y optimizar la microestructura.

Proceso de compactación explosiva

Relleno de polvo

Los polvos de WC y Co se cargan en contenedores de metal (como acero de alta resistencia o cobre) sin agregar lubricantes.

Colocación de explosivos

Los explosivos (como TNT o RDX) se disponen alrededor del contenedor y la energía de la explosión se calcula en función del volumen del blanco.

Supresión de explosiones

El explosivo se detona y la onda de choque comprime el polvo, siendo el tiempo de compresión < 1 milisegundo.

Enfriamiento y remoción

Después de la explosión, la pieza en bruto se enfría de forma natural y se saca para su posterior procesamiento.

Tratamiento térmico

El tratamiento térmico a $600-1000^{\circ}\text{C}$ repara las microfisuras y estabiliza la estructura.

sinterización

Sinterizado a $1350-1450^{\circ}\text{C}$, densificado al 99% de densidad teórica.

La alta eficiencia y las características de densidad ultra alta de la compactación explosiva lo convierten en un proceso clave para aplicaciones especiales de carburo cementado.

Características de la compactación explosiva del carburo cementado

El prensado explosivo tiene las siguientes características importantes en la producción de carburo cementado:

Densidad ultraalta

La densidad del tocho verde puede alcanzar el 90%-95% de la densidad teórica, lo que es mucho más alto que el proceso de prensado tradicional (50%-80%), y es cercana al 100% de la densidad teórica después de la sinterización.

Moldeo instantáneo

El tiempo de prensado es inferior a 1 milisegundo, lo que es extremadamente eficiente y adecuado para las necesidades de creación rápida de prototipos.

Complejidad del proceso

El entorno de explosión, el tipo y la disposición de los explosivos deben estar estrictamente controlados, con altos requisitos de seguridad e instalaciones profesionales.

Alto costo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los equipos y las medidas de seguridad son caros y adecuados para lotes pequeños de productos de alto valor añadido, pero no son económicos para la producción en masa.

Posibles defectos

Después de la explosión, la pieza puede presentar microfisuras o tensiones residuales que requieren un tratamiento y reparación posterior.

Parámetros técnicos de la compactación explosiva de carburo cementado

Los siguientes son los parámetros técnicos del prensado explosivo de carburo cementado, basados en investigaciones y datos experimentales:

presión

Rango : 1000-5000 MPa, acción instantánea, la presión máxima depende del tipo y disposición del explosivo.

Impacto : Una presión <1000 MPa puede resultar en una densidad insuficiente (<85 % de densidad teórica); una presión >6000 MPa puede causar sobrecalentamiento o fusión del polvo.

Propiedades del polvo

Tamaño de partícula : tamaño de partícula WC 0,5-2 μm , tamaño de partícula Co 0,5-1 μm , desviación de uniformidad de mezcla <3% (GB/T 19077.1-2008).

Contenido de Co : 6%-10%, no se requiere lubricante porque la onda de choque de la explosión proporciona suficiente energía.

Contenido de humedad : controlado a <0,1% para evitar la expansión del gas inducida por explosión.

Material del contenedor

Tipo : Acero de alta resistencia (por ejemplo, 40CrNiMoA, resistencia a la tracción >1000 MPa) o cobre (excelente resistencia al impacto).

Espesor : 5-20 mm, diseñado según la energía de explosión.

Tratamiento de la pared interior : pulido a $R_a < 0,5 \mu\text{m}$ para reducir la fricción y la adhesión del polvo.

Energía explosiva

Unidad : Equivalente de TNT (kg) comúnmente utilizado, calculado en función del volumen del blanco (por ejemplo, 100 cm^3 de blanco requieren entre 0,5 y 1 kg de TNT).

Control : Una energía demasiado baja (<0,3 kg TNT) dará como resultado una densidad insuficiente; una energía demasiado alta (>2 kg TNT) puede dañar el contenedor.

Método de detonación : detonación centralizada o detonación multipunto, ajustada según la forma del blanco.

Equipos y medio ambiente

Instalaciones : Cámara de explosión dedicada, espesor de pared a prueba de explosiones >1 m, equipada con monitoreo remoto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Distancia de seguridad : El operador se encuentra a >500 m del punto de explosión.

Temperatura : La temperatura en el momento de la explosión puede alcanzar más de 2000°C y es necesario enfriarla rápidamente.

Densidad de palanquilla verde

Rango : 90%-95% de densidad teórica (aproximadamente 11,5-12,0 g/cm³ , según GB/T 3850-2015).

Impacto : La densidad aumenta con la intensidad de la onda de choque y puede alcanzar el 99,5%-100% después de la sinterización.

Proceso

Preparación del polvo

Los polvos de WC y Co se mezclaron en proporción (tamaño de partícula de WC 0,5-2 μm , contenido de Co 6%-10%) y se mezclaron mediante molienda de bolas durante 12-24 horas con una desviación de uniformidad de <3%.

Secar hasta un contenido de humedad de < 0,1% sin añadir lubricantes.

Recipiente de llenado

El polvo se cargó en un contenedor de metal (espesor 10 mm) y se utilizó llenado por vibración (50 Hz) para asegurar la compactación, con una tasa de llenado del 70%-80%.

Cerrar el recipiente y comprobar su hermeticidad (grado de vacío < 10 Pa).

Colocación de explosivos

Los explosivos TNT (0,5-1 kg) se disponen alrededor del contenedor y los puntos de detonación están diseñados para estar concentrados o en múltiples puntos, a 5-10 cm del contenedor.

La densidad del explosivo se ajusta (1,5-1,7 g/cm³) para controlar la intensidad de la onda de choque.

Supresión de explosiones

Detonada en una cámara de explosión dedicada, la onda de choque comprime el polvo en un tiempo de compresión de <1 milisegundo.

Dejar enfriar naturalmente después de la explosión (10-20 minutos).

Eliminación y tratamiento térmico

Sacar la pieza en bruto, comprobar si hay grietas en la superficie y, si es necesario, tratar térmicamente a 600-1000 °C durante 2 horas para reparar las microgrietas.

sinterización :

Sinterizar a 1400 °C ±10 °C, mantener durante 1,5 horas, vacío o Ar Atmósfera, densificación al 99,5%-100%.

Escenarios de aplicación de la compactación explosiva de carburo cementado

El prensado explosivo es adecuado para productos de carburo cementado que requieren una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

densidad ultraalta y propiedades especiales. Los principales escenarios incluyen:

Piezas de alto rendimiento : como objetivos de carburo de ultra alta densidad para deposición física de vapor (PVD), que no requieren porosidad ni uniformidad.

Materiales a prueba de balas : como placas compuestas de carburo, utilizadas en blindaje o equipos a prueba de explosiones.

Herramientas especiales : como brocas superduras o herramientas de corte para condiciones de trabajo extremas (temperatura > 1000°C, presión > 200 MPa).

Estudio de caso de compactación explosiva de carburo cementado

Un instituto de investigación produce un blanco de WC-6%Co (diámetro 100 mm, espesor 5 mm) mediante prensado explosivo, equivalente de TNT 0,8 kg, densidad de tocho verde 93% densidad teórica (aproximadamente 11,7 g/cm³), dureza HRA 94 después de la sinterización, porosidad A00, para recubrimiento PVD, adhesión de película >50 MPa.

Factores influyentes y estrategias de optimización de la compactación explosiva de carburo cementado

Energía explosiva

Impacto : 0,5-1 kg de TNT equivalente es adecuado para piezas en bruto de 100-200 cm³. Una energía demasiado baja (<0,3 kg) resultará en una densidad <85 %. Una energía demasiado alta (>2 kg) puede causar la fusión o la rotura del contenedor.

Optimización : Calcule la energía en función del volumen del cuerpo verde, utilice entre 0,6 y 0,9 kg de TNT y calibre con un medidor de energía.

Tamaño del polvo

Impacto : El tamaño de partícula es de 0,5 a 2 µm. Un tamaño de partícula demasiado grande (>3 µm) provocará una densidad desigual; un tamaño de partícula demasiado pequeño (<0,3 µm) puede causar adherencias por sobrecalentamiento.

Optimización : utilice polvo WC de 1-1,5 µm, tamaño de partícula de Co de 0,5-1 µm y uniformidad de mezcla <2 %.

Diseño de contenedores

Impacto : Un espesor de 10-20 mm y una rugosidad de la pared interna Ra < 0,5 µm pueden reducir la adhesión del polvo; un espesor insuficiente (< 5 mm) puede provocar rotura.

Optimización : Utilice acero de alta resistencia de 15 mm de espesor y aplique un revestimiento antiadherente (como TiN) en la pared interior.

Distribución de ondas de choque

Impacto : La detonación multipunto es más uniforme que la detonación concentrada, con una desviación de <5%; la irregularidad puede resultar en un gradiente de densidad de >10%.

Optimización : utilice de 3 a 5 puntos de detonación, distribuya uniformemente la distancia y ajuste la densidad de los explosivos a 1,6 g/cm³.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tratamiento térmico

Impacto : El tratamiento térmico a 600-1000°C puede reparar microfisuras (profundidad < 0,05 mm), las temperaturas < 500°C no son lo suficientemente efectivas.

Optimización : Tratamiento térmico a 800°C ±10°C durante 2 h en atmósfera de Ar para reducir la tensión residual (<20 MPa).

Precauciones para la compactación explosiva de carburo cementado

Normas de seguridad : La operación debe realizarse en una instalación profesional contra explosiones y de conformidad con la normativa nacional de seguridad contra explosiones (como la GB 50198-2011). La distancia del operador debe ser superior a 500 m y se debe utilizar equipo de protección personal.

Reparación de microfisuras : Verificar grietas superficiales después de la explosión (lupa o prueba ultrasónica), temperatura de tratamiento térmico 800°C ±10°C, tiempo 2-3 horas.

Durabilidad del contenedor : Verifique la integridad del contenedor cada 10 explosiones y reemplácelo si el espesor está desgastado >1 mm.

Control ambiental : La humedad ambiente antes de la explosión es <30% para evitar que el polvo absorba humedad y provoque reacciones anormales.

Eliminación de residuos : Los residuos de explosión deben reciclarse profesionalmente para evitar la contaminación ambiental.

Estudio de caso real de compactación explosiva de carburo cementado

Un instituto de investigación utiliza un proceso de prensado explosivo para producir un blanco de WC-6%Co (diámetro de 100 mm, espesor de 5 mm) para recubrimiento PVD. Los parámetros del proceso son los siguientes:

Presión: aproximadamente 3000 MPa (instantánea).

Energía de explosión: 0,8 kg TNT.

de partícula WC 1 μm , contenido de Co 6% ± 0,5%.

Contenedor: Acero de alta resistencia de 15 mm de espesor.

Tratamiento térmico: 800°C, 2 horas, atmósfera de Ar .

Sinterización: 1400 °C, mantener durante 1,5 horas. Resultados: Densidad en verde: 93 % de la densidad teórica (aprox. 11,7 g/cm³) , densidad sinterizada: 99,5 % de la densidad teórica, dureza HRA 94, porosidad A00, adhesión del recubrimiento PVD >50 MPa, uniformidad del espesor de la película <± 0,5 μm .

Práctica de aplicación de ingeniería de compactación explosiva de carburo cementado

Objetivos de PVD para compactación explosiva de carburo cementado

Proceso : El blanco de WC-8%Co (diámetro 150 mm, espesor 10 mm) se produce mediante prensado explosivo, con un equivalente de TNT de 1 kg.

Rendimiento : La densidad después de la sinterización es del 99,8% de la densidad teórica, dureza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HRA 93, porosidad A00, utilizado para recubrimiento de TiN , adhesión >60 MPa.

Ventajas : La densidad ultra alta garantiza una larga vida útil del objetivo (>100 horas) y una calidad de recubrimiento estable.

Placa compuesta antibalas fabricada con compactación explosiva de carburo cementado

Proceso : Prensado explosivo para producir placa compuesta WC-10%Co (espesor 5 mm, área 200 cm²) , equivalente a TNT 0,6 kg.

Rendimiento : Dureza sinterizada HRA 92, resistencia al impacto>500 J/cm² , grado a prueba de balas NIJ III.

Ventajas : Combinación de alta densidad y tenacidad, adecuado para aplicaciones de blindaje ligero.

El prensado explosivo es un proceso de prensado de carburo cementado de alta eficiencia y ultraalta densidad (90-95 % de densidad teórica), especialmente adecuado para necesidades especiales como blancos de PVD y materiales antibalas. Mediante el control preciso de la energía de explosión (0,5-1 kg de TNT), el tamaño de partícula del polvo (1-1,5 μm) y el tratamiento térmico (800 °C $\pm$ 10 °C), se pueden preparar cuerpos verdes de alto rendimiento que alcanzan una densidad teórica del 99,5-100 % (dureza HRA 93-94) tras la sinterización. Si bien es eficaz en campos de alto valor añadido, su aplicabilidad se limita a la producción a pequeña escala debido a restricciones de seguridad y coste.

5.1.27 Compactación por vibración de carburo cementado

Principio de compactación por vibración del carburo cementado

El prensado por vibración es un proceso de conformado pulvimetalúrgico que combina la vibración de alta frecuencia con la tecnología de prensado tradicional. Está especialmente diseñado para carburo cementado (como el polvo mixto WC-Co). Su principio fundamental es asistir el proceso de prensado unidireccional o bidireccional mediante vibración de alta frecuencia (20-100 kHz), generalmente proporcionada por un generador ultrasónico o un dispositivo de vibración mecánica para proporcionar energía vibratoria. La vibración actúa sobre las partículas de polvo, reduce la fricción entre ellas, promueve su reorganización, rellena huecos y reduce los poros internos, mejorando así significativamente la densidad de llenado y la eficiencia de compresión. Bajo una presión aplicada de 100-300 MPa, el polvo forma una pieza bruta más uniforme y densa con la ayuda de la vibración. El prensado por vibración es especialmente adecuado para polvos de alta dureza o piezas de pequeño tamaño, ya que puede mejorar eficazmente el gradiente de densidad y los problemas de defectos del prensado tradicional.

Proceso de compactación por vibración de carburo cementado

Preparación del polvo

Mezcle los polvos WC y Co y agregue un 0,5 % de lubricante (como grafito) para garantizar la fluidez.

Vibración y compresión

Se cargó el polvo en el molde, se aplicó vibración (50 kHz) y simultáneamente una presión de 200

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa durante 10-20 s.

Desmoldeo y secado

Sacar la pieza verde y secarla a 50-80°C durante 2-4 horas.

sinterización

Sinterizado a 1350-1450°C, densificado al 98%-99% de densidad teórica.

La ventaja única del prensado por vibración es que mejora la densidad y la uniformidad a través de la energía de vibración, lo que es adecuado para las necesidades de piezas pequeñas y de alta precisión.

Características de la compactación por vibración de carburo cementado

El prensado por vibración tiene las siguientes características importantes en la producción de carburo cementado:

Mejora de la densidad

La densidad del tocho verde es del 65% al 75% de la densidad teórica, entre un 5% y un 10% superior a la del prensado unidireccional. Tras la sinterización, puede alcanzar el 98% al 99% de la densidad teórica.

Reducción de defectos

La vibración reduce los poros y la delaminación, aumenta la resistencia del cuerpo verde en un 10%-15% y reduce la porosidad al nivel A00-B00.

Proceso simple

Se puede combinar con equipos de prensado unidireccionales o bidireccionales existentes, con un bajo costo de transformación (aproximadamente entre el 5% y el 10% del costo de actualización del equipo).

aplicabilidad

Es especialmente adecuado para piezas de tamaño pequeño o polvos de alta dureza (como tamaño de partícula WC <1 μm) y tiene cierta adaptabilidad a formas complejas.

limitación

No es adecuado para geometrías grandes o muy complejas, donde la frecuencia de vibración debe adaptarse con precisión a las características del polvo.

Parámetros técnicos de la compactación por vibración de carburo cementado

Los siguientes son los parámetros técnicos del prensado por vibración de carburo cementado, basados en la práctica industrial y datos experimentales:

presión

Rango : 100-300 MPa, 200 MPa se utiliza comúnmente para equilibrar la densidad y la vida útil del molde.

Impacto : Una presión <100 MPa puede resultar en una densidad insuficiente (<60% de densidad teórica); una presión >350 MPa puede provocar agrietamiento por sobrepresión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Frecuencia de vibración :

Rango : 20-100 kHz, 50 kHz se utiliza comúnmente para optimizar la reorganización de partículas.

Impacto : Las frecuencias demasiado bajas (<20 kHz) tienen un efecto limitado; las frecuencias demasiado altas (>120 kHz) pueden causar aglomeración de partículas o sobrecarga del equipo.

Características del polvo :

Tamaño de partícula : tamaño de partícula WC 0,5-2 μm , tamaño de partícula Co 0,5-1 μm , desviación de uniformidad de mezcla <3% (GB/T 19077.1-2008).

Contenido de Co : 6%-12%, comúnmente se utiliza el 8% para proporcionar una tenacidad moderada.

Lubricante : añadir 0,5 % de grafito o ácido esteárico para reducir el coeficiente de fricción a <0,1 (datos experimentales).

Fluidez : 15-20 segundos/50 g (similar a ISO 4490:2018), lo que garantiza un llenado uniforme.

Tiempo de prensado :

Rango : 10-20 segundos, incluida vibración (5-10 segundos) y presión principal (5-10 segundos).

Impacto : Si el tiempo es demasiado corto (<8 segundos), la densidad será insuficiente; si el tiempo es demasiado largo (>30 segundos), la eficiencia puede verse reducida.

Moho material :

Tipo : Acero de alta dureza (como Cr12MoV, HRC 58 y superior) o revestimiento de carburo.

Tratamiento de la superficie : La pared interior está pulida a $Ra < 0,2 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) para reducir la adhesión del polvo.

Parámetros del equipo :

Dispositivo de vibración : Generador ultrasónico o vibrador mecánico, potencia 2-5 kW, precisión de frecuencia $\pm 2 \text{ kHz}$.

Prensa : hidráulica o mecánica, rango de presión 100-400 MPa.

Sistema de control : Control PLC, precisión de presión $\pm 5 \text{ MPa}$, desviación de frecuencia de vibración <5%.

Densidad de tochos verdes :

Rango : 65%-75% de densidad teórica (aproximadamente 8,5-9,5 g/cm^3 , según GB/T 3850-2015).

Impacto : La densidad aumenta con el aumento de la frecuencia de vibración y la presión, y puede alcanzar el 98%-99% después de la sinterización.

Proceso de compactación por vibración de carburo cementado

Preparación del polvo :

Los polvos de WC y Co se mezclaron en proporción (tamaño de partícula de WC 0,5-2 μm , contenido de Co 6%-12%) y se mezclaron mediante molienda de bolas durante 12-24 horas con una desviación de uniformidad de <3%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Añadir 0,5% de lubricante de grafito, mezclar y tamizar (malla 200), y la fluidez alcanza los 15-20 segundos/50 g.

Vibración y supresión :

Se cargó el polvo en el molde y se aplicó una vibración de 50 kHz durante 5 a 10 segundos y una presión de 200 MPa durante 5 a 10 segundos simultáneamente.

La temperatura del molde se controla entre 20 y 40 °C para evitar la adhesión del polvo.

Desmoldeo y secado :

Saque la pieza verde en blanco y córtela en el tamaño requerido (precisión $\pm 0,1$ mm).

Secar a 50-80 °C durante 2-4 horas para reducir el contenido de humedad a $< 0,5$ %.

sinterización :

Sinterizar a $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantener durante 1,5 horas, vacío o Ar atmósfera, densificarse hasta el 98%-99% de la densidad teórica.

Escenario de aplicación

El prensado por vibración se utiliza ampliamente en la producción de piezas brutas de carburo cementado que requieren alta uniformidad y tamaño pequeño. Los principales escenarios incluyen:

Piezas en blanco para herramientas pequeñas

Como piezas en bruto de brocas de carburo y piezas en bruto de fresas micro, que requieren alta densidad y uniformidad.

Piezas de precisión

Como núcleos de carburo o piezas resistentes al desgaste, utilizadas en moldes o herramientas de corte.

Estudio de caso de compactación por vibración de carburo cementado

Una empresa produce brocas en bruto de WC-8%Co (diámetro de 10 mm, altura de 15 mm) mediante prensado por vibración, con una frecuencia de vibración de 50 kHz y una presión de 200 MPa. La densidad de la broca en bruto es del 72 % de la densidad teórica (aproximadamente $9,2\text{ g/cm}^3$), la dureza tras la sinterización es HRA 91, la porosidad es A00 y se utiliza para la perforación en roca dura con una vida útil superior a 1200 m.

Factores influyentes y estrategias de optimización de la compactación por vibración de carburo cementado

Frecuencia de vibración :

Impacto : $50\text{ kHz} \pm 2\text{ kHz}$ optimiza la reorganización de las partículas, las frecuencias $< 20\text{ kHz}$ tienen un efecto limitado; las frecuencias $> 120\text{ kHz}$ pueden causar aglomeración de partículas (aumento del tamaño de las partículas $> 10\%$).

Optimización : Ajuste según el tamaño de partícula de polvo, 40-60 kHz para polvo de $1\text{ }\mu\text{m}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

equipado con un calibrador de frecuencia.

Control de presión :

Impacto : 200 MPa $\pm$ 5 MPa aumenta la densidad (65%-75% densidad teórica), presión <100 MPa densidad <60%; presión >350 MPa puede causar deformación del molde.

Optimización : utilice 200-250 MPa y ajuste dinámicamente para adaptarse a las características del polvo.

Tamaño del polvo :

Impacto : El tamaño de partícula es de 0,5 a 2 μm . Si el tamaño de partícula es demasiado grande (>3 μm) , el efecto de vibración se debilita ; si el tamaño de partícula es demasiado pequeño (<0,3 μm) , puede sobrecalentarse y adherirse.

Optimización : utilice polvo WC de 0,8-1,5 μm , tamaño de partícula de Co de 0,5-1 μm y uniformidad de mezcla <2 %.

Relación de lubricante :

Impacto : el grafito al 0,5% reduce la fricción (<0,1), una relación demasiado alta (>1%) reduce la densidad; una relación demasiado baja (<0,2%) aumenta la fricción.

Optimización : Controlar al 0,4%-0,6% y mezclar durante 2 horas para garantizar la uniformidad.

Tiempo de prensado :

Impacto : 10-20 segundos, tiempo < 8 segundos significa densidad insuficiente; tiempo > 30 segundos significa eficiencia reducida.

Optimización : configúrelo en 15 segundos (8 segundos para vibración, 7 segundos para presión principal) y ajústelo según el tamaño del espacio en blanco.

Precauciones para la compactación por vibración de carburo cementado

Optimice la frecuencia de vibración : ajuste según el tamaño de partícula de polvo (40 kHz para 0,5 μm y 60 kHz para 2 μm) , evite la aglomeración y verifique periódicamente el generador de vibración (desviación de frecuencia <5%).

Mantenimiento del equipo : Revisar mensualmente el vibrador y la matriz, limpiar los residuos de polvo, calibrar la frecuencia (± 2 kHz) y la presión (± 5 MPa).

Moho Diseño : pared interior pulida a Ra<0,2 μm , resistencia a la presión>400 MPa, para evitar el desgaste causado por la vibración.

Control de secado : Secar a 50-80°C durante 2-4 horas, contenido de humedad <0,5%, para evitar la absorción de humedad y el agrietamiento.

Operación segura : Evite la sobrecarga cuando el equipo de vibración esté en funcionamiento y controle la potencia por debajo de 5 kW.

Estudio de caso real de compactación por vibración de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Una empresa utiliza un proceso de prensado por vibración para producir brocas de WC-8%Co (diámetro de 10 mm, altura de 15 mm) para perforación en roca dura. Los parámetros del proceso son los siguientes:

Presión: 200 MPa $\pm$ 5 MPa.

Frecuencia de vibración: 50 kHz $\pm$ 2 kHz.

Polvo: tamaño de partícula WC 1 μ m, contenido de Co 8% $\pm$ 0,5%, lubricante de grafito 0,5% $\pm$ 0,1%.

Sinterización: 1400 °C, temperatura de mantenimiento 1,5 horas. Resultado: densidad en verde: 72 % de la densidad teórica (aprox. 9,2 g/cm³), densidad sinterizada: 98,5 % de la densidad teórica, dureza HRA 91, porosidad A00, vida útil de la broca >1200 m (roca dura, resistencia a la compresión: 150 MPa).

Práctica de aplicación de ingeniería de compactación por vibración de carburo cementado

Broca de carburo en blanco

Proceso : Se produjeron piezas en bruto de broca de WC-10%Co (8 mm de diámetro, 12 mm de altura) mediante prensado por vibración a una presión de 200 MPa y una frecuencia de 50 kHz.

Rendimiento : Después de la sinterización, la dureza es HRA 90, la densidad es del 98% de la densidad teórica, la porosidad es A00, se utiliza para la perforación petrolera y la vida útil es >1500 m.

Ventajas : La alta uniformidad y densidad mejoran la resistencia al impacto y al desgaste de la broca.

Núcleo de micromolde

Proceso : Se produjeron núcleos de WC-6%Co (5 mm de diámetro, 10 mm de altura) mediante prensado por vibración a una presión de 180 MPa y una frecuencia de 40 kHz.

Rendimiento : dureza después de la sinterización HRA 92, densidad 98,5 % densidad teórica, resistencia a la presión > 200 MPa, utilizado para matrices de estampación de precisión.

Ventajas : reducción de porosidad y delaminación, mayor vida útil de la matriz (>10 000 punzones).

El prensado por vibración es un proceso eficiente y económico para el prensado de carburo cementado. Mediante vibración de alta frecuencia (50 kHz $\pm$ 2 kHz) con una presión de 200 MPa $\pm$ 5 MPa, la densidad del tocho verde puede aumentarse entre un 65 % y un 75 % de la densidad teórica, y tras la sinterización, puede alcanzar entre un 98 % y un 99 % de la densidad teórica (dureza HRA 90-92). Es un excelente método para la producción de piezas brutas de herramientas pequeñas y micronúcleos de molde, y es especialmente adecuado para la producción de polvos de alta dureza y piezas pequeñas. Al optimizar la frecuencia de vibración, la presión y el tamaño de partícula del polvo, se reducen significativamente los defectos y se mejora el rendimiento.

5.1.28 Prensado no isostático multiaxial de carburo cementado (por ejemplo, prensado de cuatro y seis vías)

El principio del prensado multidireccional del carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El prensado no isostático multidireccional es una tecnología avanzada de prensado pulvimetalúrgico, ideal para la conformación de carburo cementado (como el polvo mixto WC-Co). Su principio fundamental es aplicar presión no isotrópica desde diferentes ángulos a través de múltiples cabezales de prensado (normalmente 4 o 6, incluyendo direcciones verticales y múltiples horizontales), lo que sustituye la compresión unidireccional del prensado unidireccional o bidireccional tradicional. La distribución de la presión se optimiza y ajusta mediante un sistema de control de precisión. Cada cabezal de prensado puede ajustar independientemente la fuerza y aplicar presión adaptativa según los requisitos de forma y densidad de la pieza en bruto, logrando así una compresión y densificación uniformes en el espacio tridimensional. A diferencia del prensado isostático, la presión del prensado no isostático multidireccional no es completamente isotrópica, sino que se gradúa y controla según los requisitos de diseño. Es especialmente adecuado para piezas en bruto de carburo cementado con formas complejas o que requieren una alta densidad local. Tras el prensado, la pieza en bruto se densifica aún más hasta alcanzar un nivel de alto rendimiento mediante sinterización.

El proceso de prensado multidireccional de carburo cementado.

Preparación del polvo : mezcle los polvos WC y Co, agregue una pequeña cantidad de lubricante y cárguelo en el molde.

Prensado multidireccional : La presión se aplica mediante 4 o 6 cabezales de prensado (400-500 MPa verticalmente, 300-400 MPa lateralmente) durante 10-20 segundos.

Desmoldeo y secado : Sacar la pieza verde y secarla a 50-80°C durante 2-4 horas.

Sinterización : Sinterizar a 1350-1450°C, densificación al 98%-99% de la densidad teórica.

Las ventajas únicas de este proceso son su distribución flexible de la presión y su capacidad de control de alta densidad , lo que es particularmente adecuado para productos de carburo cementado que requieren alta uniformidad y geometrías complejas.

Características del prensado multidireccional de carburo cementado

El prensado no isostático multidireccional tiene las siguientes características importantes en la producción de carburo cementado:

Alta densidad : la densidad del tocho verde es del 85% al 90% de la densidad teórica, cercana al prensado isostático en frío, y puede alcanzar el 99% al 99,5% de la densidad teórica después de la sinterización.

Flexibilidad de presión : a través del control independiente de múltiples cabezales de presión, la distribución de la presión se puede optimizar según las necesidades del cuerpo verde, reduciendo el gradiente de densidad (<2%).

Defectos reducidos : el diseño de prensado no isostático reduce la delaminación y las microgrietas y aumenta la resistencia del cuerpo verde en un 15%-20%.

Aplicabilidad : Adecuado para formas medianamente complejas (como piezas en bruto de herramientas de múltiples filos), con ciertas restricciones en tamaños grandes o formas ultra complejas.

Complejidad del equipo : requiere una prensa multieje y un sistema de control de precisión. El coste es mayor que el del prensado unidireccional o bidireccional, pero menor que el del prensado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

isostático.

Parámetros técnicos del prensado multidireccional de carburo cementado

Los siguientes son los parámetros técnicos del prensado no isostático multidireccional de carburo cementado, basados en la práctica industrial y datos experimentales:

presión :

Rango : 400-500 MPa verticalmente, 300-400 MPa lateralmente, la relación de presión suele ser 1:0,7:0,6:0,6 (cuatro vías) o 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6 (seis vías).

Impacto : Una presión demasiado baja (<300 MPa) dará como resultado una densidad insuficiente (<80 % de densidad teórica); una presión demasiado alta (>600 MPa) puede dañar el molde.

Características del polvo de carburo cementado prensado multidireccional :

Tamaño de partícula : tamaño de partícula WC 1-3 μm , tamaño de partícula Co 0,5-1 μm , desviación de uniformidad de mezcla <3% (GB/T 19077.1-2008).

Contenido de Co : 6%-10%, comúnmente 8%-12% para proporcionar tenacidad.

Lubricante : añadir 0,5%-1% de grafito o ácido esteárico para reducir el coeficiente de fricción a <0,15.

Fluidez : 15-20 segundos/50 g (similar a la norma ISO 4490:2018).

Número y dirección de los penetradores para prensado multidireccional de carburo cementado :

Prensado en cuatro direcciones : 1 cabezal de prensado vertical, 3 cabezales de prensado horizontales (distribución 120°).

Prensado en seis direcciones : 1 cabezal de prensado vertical, 5 cabezales de prensado horizontales (distribución de 72°).

Sincronicidad : La desviación del movimiento del cabezal de presión es <0,5 mm, lo que garantiza una compresión uniforme.

Tiempo de prensado :

Rango : 10-20 segundos, incluida la precompresión (5 segundos) y la compresión principal (5-15 segundos).

Impacto : si el tiempo es demasiado corto (<8 segundos), la densidad será desigual; si el tiempo es demasiado largo (>30 segundos), la eficiencia se reducirá.

Moho material :

Tipo : Revestimiento de carburo (HRA 88 y superior) o acero de alta resistencia (HRC 60 y superior).

Tratamiento de superficie : Pared interior pulida a $Ra < 0,2 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009), resistencia a la presión >800 MPa.

Parámetros del equipo :

Prensa : Prensa hidráulica multieje, potencia 20-50 kW, rango de presión 400-600 MPa.

Sistema de control : Control de circuito cerrado PLC, precisión de presión $\pm 5 \text{ MPa}$, precisión de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desplazamiento <0,01 mm.

Asistencia de vibración (opcional): 20-50 kHz, mejora la reorganización de las partículas.

Densidad de tochos verdes :

Rango : 85%-90% de densidad teórica (aproximadamente 10,8-11,4 g/cm³ , según GB/T 3850-2015).

Impacto : La densidad aumenta con el número de cabezales de prensa y la presión, y puede alcanzar el 99%-99,5% después de la sinterización.

Flujo del proceso de prensado multidireccional de carburo cementado

Preparación del polvo :

Los polvos de WC y Co se mezclaron en proporción (tamaño de partícula de WC 1-3 μm , contenido de Co 6%-12%) y se mezclaron mediante molienda de bolas durante 12-24 horas con una desviación de uniformidad de <3%.

Añadir 0,5%-1% de lubricante de grafito, mezclar y tamizar (malla 200), fluidez 15-20 segundos/50 g.

Relleno del molde :

El polvo se carga en una matriz de prensado multidireccional y se utiliza llenado por vibración (50 Hz) para garantizar la densidad, con una tasa de llenado del 70%-80%.

Precalentar el molde a 20-40°C para evitar que el polvo se pegue.

Supresión multidireccional :

Aplique presión en cuatro o seis direcciones (400 MPa verticalmente y 300 MPa lateralmente) durante 10 a 20 segundos.

El sincronismo del cabezal de prensa está controlado por un servomotor con una desviación de <0,5 mm.

Desmoldeo y secado :

Saque la pieza verde en blanco y córtela en el tamaño requerido (precisión ±0,1 mm).

Secar a 50-80 °C durante 2-4 horas para reducir el contenido de humedad a <0,5 %.

sinterización :

Sinterizar a 1400 °C ±10 °C, mantener durante 1,5 horas, vacío o Ar atmósfera, densificar hasta el 99%-99,5% de la densidad teórica.

Escenarios de aplicación del prensado multidireccional de carburo cementado

El prensado no isostático multidireccional es adecuado para piezas brutas de carburo cementado que requieren alta densidad y formas de complejidad media. Los principales escenarios incluyen:

Herramientas de corte de múltiples filos : como piezas en bruto de fresas complejas y piezas en bruto de brocas, que requieren alta uniformidad y densidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Piezas de moldes de precisión : como núcleos de moldes de estampación o matrices de embutición, que requieren una alta densidad local.

Piezas de desgaste : como revestimientos de carburo o tiras de desgaste, utilizadas en condiciones de alta carga.

Estudio de caso de prensado multidireccional de carburo cementado

Una determinada empresa produce piezas brutas para herramientas multifilo de WC-12%Co (diámetro 40 mm, altura 20 mm) mediante prensado en seis direcciones, presión vertical 500 MPa, presión lateral 400 MPa, densidad de la pieza bruta 90% densidad teórica (aproximadamente 11,4 g/cm³), dureza después de la sinterización HRA 92, porosidad A00, para corte de aviación, vida útil > 1000 m.

Factores influyentes y estrategias de optimización del prensado multidireccional de carburo cementado

Distribución de presión :

Impacto : 400-500 MPa verticalmente, 300-400 MPa lateralmente, relación de presión 1:0,7:0,6, desviación > 10% da como resultado un gradiente de densidad > 5%.

Optimización : utilice una relación de presión de 1:0,75:0,65, equipado con sensor de presión, desviación < ±5 MPa.

Sincronización del cabezal de presión :

Impacto : Una desviación < 0,5 mm garantiza una compresión uniforme; una desviación > 1 mm puede provocar una sobrepresión local (> 600 MPa).

Optimización : Utilice control de servomotor y calibración en tiempo real del desplazamiento (precisión < 0,01 mm).

Tamaño del polvo :

Impacto : El tamaño de partícula es de 1 a 3 μm. Si el tamaño de partícula es demasiado grande (> 4 μm), la densidad es desigual; si el tamaño de partícula es demasiado pequeño (< 0,5 μm), pueden aglutinarse.

Optimización : utilice polvo WC de 1,5 a 2,5 μm, tamaño de partícula de Co de 0,5 a 1 μm y uniformidad de mezcla < 2 %.

Relación de lubricante :

Impacto : 0,5%-1% de grafito reduce la fricción (< 0,15), una relación demasiado alta (> 2%) reduce la densidad; una relación demasiado baja (< 0,3%) aumenta el desgaste.

Optimización : Controlado al 0,6%-0,8%, tiempo de mezcla 2 horas.

Durabilidad del molde :

Impacto : Resistencia a la presión > 800 MPa, Ra < 0,2 μm puede reducir la adhesión del polvo, desgaste > 0,1 mm que requiere reemplazo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización : Verifique el molde cada 500 prensados y aplique una capa resistente al desgaste de TiN para prolongar la vida útil (>10 000 veces).

Precauciones para el prensado multidireccional de carburo cementado

Sincronización del indentador : Desviación < 0,5 mm, calibración periódica (una vez al mes) para evitar grietas causadas por sobrepresión local.

Asistencia por vibración : vibración opcional de 20 a 50 kHz para una mejor reorganización de partículas, desviación de frecuencia <5 %.

Moho Mantenimiento : Verifique el desgaste de la pared interior cada 500 veces, pulir a $R_a < 0,2 \mu\text{m}$, prueba de presión > 800 MPa.

Control de secado : Secar a 50-80°C durante 2-4 horas, contenido de humedad <0,5%, evitar la absorción de humedad.

Seguridad del equipo : Evite la sobrecarga cuando la máquina multiteje esté en funcionamiento y el límite superior de presión esté establecido en 600 MPa.

Caso real de prensado multidireccional de carburo cementado

Una empresa utiliza un proceso de prensado de seis vías para producir piezas brutas de herramientas multifilo de WC-12%Co (diámetro de 40 mm, altura de 20 mm) para corte aeronáutico. Los parámetros del proceso son los siguientes:

Presión: 500 MPa verticalmente, 400 MPa lateralmente.

Tiempo de supresión: 15 segundos.

Polvo: tamaño de partícula WC $2 \mu\text{m}$, contenido de Co $12\% \pm 0,5\%$, lubricante de grafito $0,8\% \pm 0,1\%$.

Sinterización: 1450 °C, manteniendo la temperatura durante 1,5 horas. Resultados: densidad en verde: 90 % de la densidad teórica (aprox. $11,4 \text{ g/cm}^3$), densidad sinterizada: 99,5 % de la densidad teórica, dureza HRA 92, porosidad A00, vida útil de corte >1000 m (aleación de Ti, velocidad de corte: 300 m/min).

Práctica de aplicación de ingeniería del prensado multidireccional de carburo cementado

Piezas brutas de fresado complejas :

Proceso : Se produjeron piezas brutas de fresado de WC-10%Co (30 mm de diámetro, 15 mm de altura) mediante prensado en seis direcciones, 450 MPa verticalmente y 350 MPa lateralmente.

Rendimiento : Después de la sinterización, la dureza es HRA 91, la densidad es del 99% de la densidad teórica, la porosidad es A00, se utiliza para el procesamiento de aviación y la vida útil es >800 m.

Ventajas : La presión multidireccional optimiza la densidad de las hojas complejas y reduce las grietas.

Revestimiento resistente al desgaste :

Proceso : Revestimiento WC-8%Co (espesor 10 mm, área 100 cm^2) producido mediante prensado en cuatro direcciones, 400 MPa verticalmente y 300 MPa lateralmente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rendimiento : dureza después de la sinterización HRA 90, resistencia al desgaste vida útil> 500 horas (carga 50 N), resistencia a la presión> 200 MPa.

Ventajas : La alta uniformidad garantiza la estabilidad del revestimiento bajo cargas elevadas.

El prensado no isostático multidireccional (como el prensado de cuatro y seis vías) es un proceso de prensado de carburo cementado de alta densidad (85-90 % de densidad teórica) y altamente flexible. Logra una compresión uniforme de piezas en bruto de formas complejas mediante múltiples cabezales de prensado (400-500 MPa verticalmente y 300-400 MPa lateralmente), y alcanza una densidad teórica del 99-99,5 % (dureza HRA 90-92) tras la sinterización. Es eficaz en áreas como piezas en bruto complejas para fresas y revestimientos resistentes al desgaste, y es especialmente adecuado para aplicaciones que requieren alta densidad local. Al optimizar la distribución de la presión, la sincronización de los cabezales de prensado y el tamaño de las partículas de polvo, se puede mejorar significativamente la calidad y el rendimiento de la pieza en bruto.

5.1.29 Tabla comparativa de procesos de prensado de carburo cementado

Proceso de prensado	Características	Proceso	Requisitos del equipo	Indicadores de desempeño	Productos aplicables	Ventajas y desventajas
Supresión unidireccional	- Simple y eficiente - Baja densidad (50%-65% de densidad teórica) - Fácil de producir gradiente de densidad - Adecuado para formas simples	1. Llenado de polvo 2. Presión unidireccional (100-300 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización (1350-1450 °C)	- Prensa hidráulica de un eje - Potencia 10 kW - Matriz: Acero de alta dureza (HRC 58)	- Densidad verde: 50%-65% - Dureza después de la sinterización: HRA 88-90 - Porosidad: A02-B02	- Piezas de geometría simple (por ejemplo, insertos de corte) - Ejemplo: inserto WC-8%Co (10 × 10 × 5 mm)	Ventajas : equipo simple, bajo costo, alta eficiencia Desventajas : gran gradiente de densidad (>10%), no adecuado para formas complejas
Supresión bidireccional	- Más uniforme que el prensado unidireccional - Densidad ligeramente superior (densidad teórica del 60% al 75%) - Adecuado para formas medianamente complejas	1. Llenado de polvo 2. Presión bidireccional (200-400 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización (1350-1450 °C)	- Prensa hidráulica de dos ejes - Potencia 10-20 kW - Matrices: Metal duro (HRA 88)	- Densidad verde: 60%-75% - Dureza sinterizada: HRA 89-91 - Porosidad: A02	- Piezas de complejidad media (p. ej., piezas brutas de fresado) - Ejemplo: pieza bruta de fresado WC-10%Co (20 mm de diámetro)	Ventajas : Uniformidad de densidad mejorada (gradiente <5%) Desventajas : Aún no es adecuado para formas muy complejas, equipos ligeramente más complicados
Prensado isostático (prensado isostático en frío)	- Alta uniformidad - Alta densidad (75%-85% de densidad teórica)	1. Ensacado de polvo 2. Prensado isostático (200-400 MPa)	- Prensa isostática - Resistencia a la presión > 500 MPa - Medio	- Densidad verde: 75%-85% - Dureza después de la sinterización: HRA	- Piezas de formas complejas (como piezas)	Ventajas : alta densidad, buena uniformidad, adecuado para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Proceso de prensado	Características	Proceso	Requisitos del equipo	Indicadores de desempeño	Productos aplicables	Ventajas y desventajas
	Adecuado para formas complejas - Mayor costo	Extracción de líquido: aceite o agua - Secado 4. Sinterización (1350-1450 °C)	Potencia 50-100 kW	90-92 - Porosidad: A00-B00	brutas de formas complejas herramientas de aviación) - Ejemplo: pieza bruta de herramienta WC-12%Co (diámetro 50 mm)	Desventajas : alto costo del equipo, ciclo largo
Prensado isostático (prensado isostático en caliente)	- Densidad ultraalta - Elimina microporos - Alta temperatura y alta presión (1350-1450°C, 100-200 MPa) - Costo extremadamente alto	1. Cargue el producto sinterizado en el equipo HIP 2. Aplique alta temperatura y alta presión (1400 °C, 150 MPa) 3. Enfríe y libere la presión 4. Acabado	- Equipo HIP - Cavidad interior > 200 mm - Potencia > 150 kW - Medio de presión: Ar (pureza > 99,99%)	- Porosidad: <0,03% - Densidad: >99,8% - Dureza: HRA 92-94 - Vida útil: >20 horas	- Piezas de alta confiabilidad (como herramientas de aviación, brocas para minería) - Ejemplo: herramientas WC-10%Co (dureza HV 2300)	Ventajas : Densidad y confiabilidad extremadamente altas Desventajas : Alto costo, adecuado para posprocesamiento en lugar de moldeo directo
Moldeo por compresión	- Producción en masa eficiente - Densidad media (60%-70% densidad teórica) - Forma limitada	1. Llenado de polvo 2. Presión unidireccional o bidireccional (200 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización (1350-1450 °C)	-Máquina de prensado - Potencia 5-15 kW - Molde: Acero de alta dureza (HRC 58)	-Densidad verde: 60% -70% -Dureza después de la sinterización: HRA 90 -Porosidad: A02	- Piezas estandarizadas (como insertos de corte) - Ejemplo: inserto WC-8%Co (10 × 10 × 5 mm)	Ventajas : alta eficiencia, bajo costo. Desventajas : forma limitada, desgaste rápido del molde.
Extrusión	- Forma flexible (forma alargada) - Requiere desengrasado - Densidad media (55%-65% densidad teórica) - Producción continua	1. Polvo mezclado con aglutinante (PVA 20%) 2. Extrusión (300 MPa, 1 m/min) 3. Corte y desaglomerado 4. Sinterización	- Extrusora - Presión 200-500 MPa - Matriz: Carburo - Calentamiento del barril: 50-80°C	- Densidad verde: 55%-65% - Dureza sinterizada: HRA 91 - Porosidad: A02	- Herramientas largas (por ejemplo, barras) - Ejemplo: barra WC-10%Co (5 mm de diámetro, 300 mm de longitud)	Ventajas : adecuado para formas delgadas, producción continua Desventajas : necesidad de desengrasar, proceso complejo

Proceso de prensado	Características	Proceso	Requisitos del equipo	Indicadores de desempeño	Productos aplicables	Ventajas y desventajas
Moldeo por inyección	- Alta precisión (tolerancia < 0,01 mm) - Forma compleja - Baja densidad (50%-60% densidad teórica) - Muchos procesos	1. Polvo mezclado con aglutinante (POM 25%) 2. Inyección (80 MPa, 180 °C) 3. Desligado 4. Sinterización	- Máquina de inyección - Presión 50-120 MPa - Molde: acero H13 - Calentamiento del barril: 150-200°C	- Densidad verde: 50%-60% - Dureza después de la sinterización: HRA 92 - Porosidad: A00-B00	- Micropiezas (como engranajes) - Ejemplo: engranaje WC-6%Co (3 mm de diámetro, 1 mm de espesor)	Ventajas : alta precisión, adecuado para formas complejas Desventajas : muchos procesos, alto costo
Prensado de bolsas secas	- Alta uniformidad - Alta densidad (70%-75% densidad teórica) - Mayor eficiencia que el prensado isostático en bolsas húmedas - Forma limitada	1. Llenado de polvo en bolsas secas 2. Prensado (300 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización (1350-1450 °C)	- Prensa Isostática de Bolsa Seca - Presión 200-400 MPa - Molde : Caucho (Shore A 70)	- Densidad verde: 70%-75% - Dureza después de la sinterización: HRA 90 - Porosidad: A00-B00	- Piezas de tamaño mediano (por ejemplo, manguitos de cojinetes) - Ejemplo: manguito de cojinete WC-8%Co (50 mm de diámetro)	Ventajas : buena uniformidad, alta eficiencia Desventajas : forma limitada, coste medio del equipo
Supresión multidireccional	- Densidad uniforme (75%-80% densidad teórica) - Pocos defectos - Adecuado para formas medianamente complejas	1. Llenado de polvo 2. Presión multidireccional (vertical 400 MPa, lateral 300 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización	- Prensa multieje - Potencia 15-30 kW - Matriz: Revestida de carburo	- Densidad verde: 75%-80% - Dureza sinterizada: HRA 91 - Porosidad: A00-B00	- Piezas en bruto de herramientas complejas (por ejemplo, fresas de varios filos) - Ejemplo: pieza en bruto de herramienta WC-8%Co (30 mm de diámetro)	Ventajas : alta uniformidad, pocos defectos. Desventajas : equipo complejo, alto costo.
Prensado multidireccional no isostático	- Alta densidad (85%-90% de densidad teórica) - Presión flexible - Adecuado para necesidades locales de alta densidad	1. Llenado de polvo 2. Presión hidráulica de cuatro/seis vías (vertical 500 MPa, lateral 400 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización	- Prensa hidráulica multieje - Potencia 20-50 kW - Sistema de control: PLC, precisión < 0,01 mm	- Densidad verde: 85%-90% - Dureza después de la sinterización: HRA 92 - Porosidad: A00	- Piezas brutas para herramientas de múltiples filos (por ejemplo, piezas brutas para fresas) - Ejemplo: pieza bruta para fresa WC-12%Co	Ventajas : alta densidad, presión flexible Desventajas : equipo complejo, alto costo

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

Proceso de prensado	Características	Proceso	Requisitos del equipo	Indicadores de desempeño	Productos aplicables	Ventajas y desventajas
					(diámetro 40 mm)	
Perfilado	- Producción continua - Espesor ajustable (0,5-5 mm) - Baja densidad (50%-60% teórica)	1. Alimentación de polvo 2. Laminación (100 MPa, 10 rpm) 3. Corte y secado 4. Sinterización (1350-1450 °C)	- Máquina laminadora - Potencia 10-20 kW - Rodillos: Carburo (HRC 60)	- Densidad verde: 50%-60% - Dureza sinterizada: HRA 89 - Porosidad: A02	- Chapa fina en bruto (p. ej. sustrato de revestimiento resistente al desgaste) Ejemplo: chapa fina WC-10%Co (espesor 2 mm, ancho 100 mm)	Ventajas : producción continua, equipo sencillo Desventajas : baja densidad, no apto para formas complejas
Supresión de explosiones	- Densidad ultraalta (90%-95% de densidad teórica) - Moldeo instantáneo (<1 milisegundo) - Altos requisitos de seguridad	1. Contenedor de polvo 2. Explosión (TNT 0,5-1 kg) 3. Tratamiento térmico 4. Sinterización (1400 °C)	- Cámara de explosión - Contenedor: Acero de alta resistencia (espesor 15 mm) - Distancia de seguridad: >500 m	- Densidad verde: 90%-95% - Dureza después de la sinterización: HRA 94 - Porosidad: A00	- Piezas de alto rendimiento (como objetivos PVD) - Ejemplo: Objetivo WC-6%Co (diámetro 100 mm, espesor 5 mm)	Ventajas : densidad ultra alta, alta eficiencia Desventajas : altos requisitos de seguridad, alto costo, se requiere tratamiento térmico para reparar microgrietas
Supresión de vibraciones	- Mejora de la densidad (65%-75% de densidad teórica) - Menos defectos - Bajo coste de transformación	1. Llenado de polvo 2. Vibración (50 kHz) + presión (200 MPa) 3. Desmoldeo y secado 4. Sinterización	- Prensa vibratoria - Vibrador: 2-5 kW, frecuencia 20-100 kHz - Matriz: Acero de alta dureza	- Densidad verde: 65%-75% - Dureza sinterizada: HRA 91 - Porosidad: A00-B00	- Piezas brutas de herramientas pequeñas (como piezas brutas de broca) Ejemplo: pieza bruta de broca WC-8%Co (diámetro 10 mm, altura 15 mm)	Ventajas : mayor densidad, menos defectos, bajo costo de modificación Desventajas : no es adecuado para piezas de gran tamaño, se requiere optimización de frecuencia

5.1.30 Análisis completo y resumen del proceso de prensado de carburo cementado

Procesos de prensado de carburo cementado (prensado unidireccional, prensado bidireccional, prensado isostático, moldeo por compresión, moldeo por extrusión, moldeo por inyección, prensado

de bolsas secas, prensado multidireccional, prensado multidireccional no isostático, conformado de rodillos, prensado explosivo, prensado por vibración), cubriendo dimensiones tales como características, flujo del proceso, requisitos del equipo, indicadores de desempeño, productos aplicables, ventajas y desventajas.

1. Densidad y uniformidad

Mayor densidad : el prensado explosivo (densidad teórica del 90 % al 95 %) y el prensado no isostático multidireccional (densidad teórica del 85 % al 90 %) funcionan mejor y son adecuados para necesidades de alto rendimiento.

Homogeneidad : El prensado isostático (frío/caliente) y el prensado no isostático multidireccional tienen la mejor homogeneidad (gradiente de densidad <2%), adecuado para formas complejas y requisitos de alta calidad .

Baja densidad : Moldeo por laminación y moldeo por inyección (densidad teórica del 50%-60%), que debe compensarse con una sinterización posterior.

2. Aplicabilidad y complejidad de la forma

Formas complejas : el moldeo por inyección (tolerancia < 0,01 mm) y el prensado isostático son adecuados para formas muy complejas, como microengranajes y piezas en bruto de herramientas complejas.

Formas esbeltas : El moldeo por extrusión está especialmente diseñado para varillas y tubos con una longitud de hasta varios metros.

Chapas delgadas/grandes superficies : El perfilado es adecuado para chapas delgadas con un control de espesor preciso (0,5-5 mm).

Formas simples : El prensado unidireccional y el moldeo por compresión son adecuados para piezas estandarizadas, con alta eficiencia pero formas limitadas.

3. Eficiencia y costos de producción

Alta eficiencia : el conformado de rollos y el conformado por extrusión admiten una producción continua y son adecuados para grandes cantidades.

Bajo costo : Los equipos de prensado unidireccional, moldeo por compresión y conformado de rollos son simples y tienen bajos costos de mantenimiento.

Alto costo : El prensado explosivo y el prensado isostático en caliente tienen costos elevados debido a los requisitos de equipamiento y seguridad y son adecuados para lotes pequeños de productos de alto valor añadido.

4. Errores y rendimiento

Menos defectos : el prensado isostático en caliente (porosidad <0,03 %), el prensado no isostático multidireccional y el prensado por vibración (porosidad A00-B00) tienen pocos defectos y son adecuados para requisitos de alta confiabilidad.

Alto rendimiento : el prensado explosivo (dureza HRA 94) y el prensado isostático en caliente (dureza HRA 92-94) ofrecen el mejor rendimiento y son adecuados para condiciones de trabajo extremas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Complejidad de equipos y procesos

Equipo simple : Los equipos de prensado unidireccional, moldeo por compresión y conformado de rollos son simples y fáciles de promover.

Equipos complejos : El prensado no isostático multidireccional y el prensado explosivo requieren máquinas multiteje o instalaciones de explosión especiales y tienen altas barreras técnicas.

Proceso complejo : el moldeo por inyección y el moldeo por extrusión requieren desengrasado, por lo que hay más pasos.

6. Comparación de áreas de aplicación

Aviación/Alta confiabilidad : Prensado isostático en caliente, prensado no isostático multidireccional y prensado explosivo para satisfacer las necesidades de herramientas de aviación, objetivos, etc.

Lote industrial : prensado unidireccional, moldeo por compresión, conformado de rodillos, adecuado para hojas de corte, sustratos de revestimiento resistentes al desgaste.

Microprecisión : moldeo por inyección y prensado por vibración, adecuado para microengranajes y piezas brutas de perforación .

La selección del proceso de prensado de carburo cementado debe basarse en la forma del producto, los requisitos de rendimiento, la escala de producción y el presupuesto de costos:

Requisitos de alta densidad/alto rendimiento : prensado explosivo, prensado isostático en caliente, prensado no isostático multidireccional.

Formas complejas/alta precisión : moldeo por inyección, prensado isostático, prensado multidireccional.

Gran volumen/ formas simples : prensado unidireccional, moldeo por compresión, conformado por flujo.

Forma esbelta : extruida.

Tamaño pequeño/alta uniformidad : prensado por vibración, prensado de bolsas secas.

El efecto de prensado y la calidad del producto se pueden mejorar aún más optimizando los parámetros del proceso (como la presión, la frecuencia de vibración, la relación del aglutinante) y el equipo (como el diseño del molde, el sistema de control).

5.2 Proceso de sinterización de carburo cementado

El proceso de sinterización de carburo cementado densifica la pieza en bruto (densidad $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006), optimiza la microestructura (desviación de grano WC $< 5 \% \pm 1 \%$, distribución de fase Co $> 95 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16) y logra una alta dureza (HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3369-2006) a través de alta temperatura (1350-1500 $^{\circ}\text{C} \pm 10 ^{\circ}\text{C}$, ISO 4489:2009, la sinterización es el proceso de partículas de polvo que se difunden y combinan para formar materiales densos a alta temperatura) y atmósfera específica (vacío $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, requisitos de proceso relevantes de GB/T 1479.1-2011, el entorno de vacío reduce la oxidación; Pureza de Ar $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) para optimizar la microestructura (desviación de grano WC $< 5 \% \pm 1 \%$, distribución de fase Co $> 95 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16) y logra alta dureza (HV 1500-2500 $\pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

30, ISO 3738-1:1982 》), tenacidad (K_{IC} 8-20 MPa·m^{1/2} ± 0,5, ISO 28079:2009) y resistencia (> 4000 MPa ± 100 MPa, GB/T 3851-2015).

En esta sección se analiza la sinterización al vacío de carburo cementado, la sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado, la sinterización por microondas de carburo cementado y la sinterización por plasma con chispa (SPS) de carburo cementado, y se analiza la optimización y aplicación de procesos en combinación con la termodinámica y la cinética.

5.2.0 Proceso tradicional de sinterización de carburo cementado

5.2.0.0 Historia del proceso tradicional de sinterización de carburo cementado

El proceso tradicional de sinterización de carburo cementado se originó a principios del siglo XX, con el rápido desarrollo de la tecnología de pulvimetalurgia. En 1909, el erudito alemán Schroter preparó por primera vez el prototipo de carburo cementado mezclando carburo de tungsteno con metales ferrosos (como el Co) para la sinterización. En 1923, Krupp en Osnabrück, Alemania, logró la producción industrial, marcando el nacimiento del carburo cementado. Desde entonces, el proceso se ha utilizado ampliamente en las décadas de 1930 y 1950, especialmente durante la Segunda Guerra Mundial para la fabricación de herramientas de corte y materiales de blindaje. El proceso inicial se basaba en hornos de resistencia simples y operación manual. Para la década de 1960, con la introducción de la tecnología de vacío y la protección con hidrógeno, el proceso mejoró gradualmente, pero su estructura básica mantuvo las características tradicionales y aún ocupa una posición importante en algunas pequeñas y medianas empresas.

5.2.0.1 Principio del proceso tradicional de sinterización de carburo cementado

El proceso tradicional de sinterización de carburo cementado se basa en el principio de sinterización en fase líquida de la pulvimetalurgia, que combina partículas de polvo en materiales densos mediante alta temperatura. Su mecanismo principal incluye:

Difusión en fase sólida

En la etapa inicial del calentamiento (<1350 °C), se produce la difusión atómica entre las partículas de WC y se forma una estructura de esqueleto preliminar.

Sinterización en fase líquida

Cuando la temperatura alcanza los 1350-1400 °C, el cobalto se funde para formar una fase líquida que penetra en las partículas de WC, rellena los poros y promueve la reorganización de las partículas. La proporción de fase líquida suele ser del 10-20 % (dependiendo del contenido de Co), lo que mejora la unión mediante capilaridad y el mecanismo de disolución-precipitación.

Solidificación y crecimiento

Durante el proceso de enfriamiento, la fase líquida se solidifica y los granos de WC crecen ligeramente (1-3 μm), formando una microestructura estable.

Efecto Atmósfera

La atmósfera de vacío o hidrógeno elimina los óxidos, evita la descarburación o la formación de la fase η (Co₃W₃C) y garantiza un contenido de carbono equilibrado (5-6 % en peso).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.0.2 Principio y estructura del equipo tradicional de sinterización de carburo cementado

El proceso de sinterización tradicional se basa principalmente en los siguientes equipos:

Horno de resistencia de sinterización de carburo tradicional

Principio : Se utilizan elementos de calentamiento eléctricos (como varillas de carbono de silicio o alambres de molibdeno) para generar altas temperaturas, y el calor se transfiere a la pieza en bruto mediante radiación y convección.

Estructura : Consta de un horno (fabricado con material refractario como la alúmina), elementos calefactores, aislamiento y entrada de vacío/gas. El volumen del horno suele ser de 0,5 a 2 m³ y el rango de temperatura es de 600 a 1500 °C.

Características : Estructura simple, baja eficiencia térmica (alrededor del 50-60%), los elementos de calentamiento deben reemplazarse periódicamente.

Sistema de vacío de sinterización de carburo cementado convencional

Principio : La combinación de bomba mecánica y bomba de difusión reduce la presión en el horno a 0,1-1 Pa y elimina el oxígeno y la humedad.

Estructura : Incluye bomba de vacío, válvulas y manómetro, conectado al horno.

Características : Alto costo de mantenimiento y estrictos requisitos de sellado.

Sistema tradicional de protección contra hidrógeno por sinterización de carburo cementado

Principio : Reducir la oxidación sustituyendo el aire por un flujo de hidrógeno (10-20 m³/h).

Estructura : Botella de gas, caudalímetro y tubo de entrada de aire, equipado con un dispositivo de escape simple.

Características : Preste atención a la seguridad del hidrógeno durante la operación y el equipo es relativamente resistente.

Bandeja y molde : Fabricados en grafito o cerámica, resistentes a altas temperaturas y químicamente inertes, soportan la pieza y transfieren el calor.

5.2.0.3 Características de la sinterización tradicional de carburo cementado

Características del proceso :

Al depender de la operación manual, los parámetros del proceso (como la temperatura y el tiempo) se ajustan principalmente en función de la experiencia.

El proceso de calentamiento, conservación del calor y enfriamiento tarda entre 6 y 10 horas y el ciclo de producción es largo.

El control de la atmósfera es sencillo, habitualmente se utiliza vacío o hidrógeno y algunos procesos pueden llevarse a cabo en aire.

Características :

La densidad típica es de 13,5-14,5 g/cm³ (densidad teórica del 95-98%).

de grano 1-3 μm , porosidad A04-B02, dureza HRA 85-90.

La microestructura puede contener fase η o carbono libre y la consistencia de la calidad es deficiente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.0.4 Ventajas y desventajas del proceso tradicional de sinterización de carburo cementado

Ventajas :

Bajo costo : pequeña inversión en equipos (aproximadamente 50.000-100.000 yuanes/unidad para horno de resistencia), bajos requisitos de materia prima y mantenimiento simple.

Amplia aplicabilidad : adecuado para pequeñas y medianas empresas o producción de productos de gama baja, como cuchillos simples y piezas resistentes al desgaste.

Tecnología madura : el proceso se ha practicado durante cientos de años y es fácil de utilizar para los operadores sin necesidad de una capacitación complicada.

Desventajas :

Baja eficiencia : ciclo de producción largo (24-48 horas/lote) y la producción está limitada por el horno.

Calidad inestable : el control de parámetros depende del trabajo manual, la densidad y la porosidad fluctúan mucho y es difícil cumplir con los requisitos de alta precisión.

protección ambiental : los gases residuales (como el CO) se descargan directamente sin tratamiento y la volatilización de disolventes provoca contaminación.

Riesgos de seguridad : El uso de hidrógeno puede provocar fugas y la disipación desigual del calor de los hornos tradicionales puede provocar fácilmente un sobrecalentamiento local.

El proceso tradicional de sinterización de carburo cementado se originó a principios del siglo XX. Se basa en el principio de sinterización en fase líquida y utiliza un horno de resistencia simple y un sistema de vacío/hidrógeno. El equipo tiene una estructura robusta, pero es económico. Se caracteriza por una tecnología madura, pero su eficiencia y calidad son limitadas. Sus ventajas y desventajas reflejan claramente su posición de transición en la industria moderna.

5.2.0.5 Introducción al horno de sinterización de hidrógeno de carburo cementado

(1) Estructura

Cuerpo del horno :

Carcasa: Soldadura de placa de acero, espesor 6-10 mm, revestimiento resistente a la corrosión.

Horno: Grafito o alúmina de alta pureza, 0,5-2 m³, resistencia a temperaturas >1600°C.

Capa de aislamiento térmico: Fibra refractaria, espesor 50-150 mm.

Sistema de calefacción :

Elementos calefactores: alambres de molibdeno o tungsteno, distribuidos a lo largo de la pared interior, potencia 10-100 kW.

Método de calentamiento: transferencia de calor por radiación de resistencia, temperatura hasta 1500 °C.

Sistema de protección de hidrógeno :

Suministro de gas: cilindro de hidrógeno de alta pureza, caudal 10-50 m³/h.

Admisión y escape de aire: admisión inferior, escape superior, con válvula de seguridad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estructura de sellado: anillo de sellado refrigerado por agua o por aire, presión 0,1-0,5 bar.

Bandeja y soporte :

Material: cerámica de grafito o alúmina, multicapa, espaciado de 5-10 cm, capacidad de carga de 50-300 kg.

Sistema de control :

Control de temperatura: termopar + controlador de temperatura PID, precisión $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Monitorización atmosférica: analizador de oxígeno o caudalímetro.

Dispositivos de seguridad: sensor de hidrógeno, válvula de corte de gas, interfaz de protección contra incendios.

(2) Especificaciones convencionales

Dimensiones del horno : largo 1-2 m, ancho 0,5-1 m, alto 0,5-1 m, volumen 0,5-2 m³.

Potencia nominal : 10-100 kW, tensión 380 V CA trifásica.

Rango de temperatura : temperatura ambiente hasta 1500 °C, comúnmente utilizado 1350-1450 °C.

Caudal de hidrógeno : 10-50 m³/h, pureza >99,9%, presión 0,1-0,5 bar.

Tamaño del palet : largo de una sola capa 0,8-1,5 m, ancho 0,4-0,8 m, capacidad de carga 50-100 kg/capa, 3-5 capas.

Peso del horno : 2-5 toneladas.

Sistema de refrigeración : Camisa refrigerada por agua, caudal 5-10 m³/h, temperatura del agua <40°C.

Precisión de control : temperatura $\pm 10^{\circ}\text{C}$, presión $\pm 0,05$ bar, caudal ± 2 m³/h.

(3) Características

Características del proceso :

Temperatura: 600-1500°C, sinterización en fase líquida 1350-1450°C.

Ciclo: 7-12 horas (calentamiento 2-4 horas, mantenimiento del calor 1-2 horas, enfriamiento 4-6 horas).

Atmósfera: El hidrógeno reduce los óxidos y mantiene el contenido de carbono en 5-6% en peso.

Características :

Densidad: 13,8-14,5 g/cm³, porosidad A02-B02.

de grano: 1-2,5 μm , dureza HRA 88-92.

Microestructura: menos fase η y carbono libre.

Características operativas :

El hidrógeno y la temperatura se ajustan manualmente, y la distribución desigual del calor requiere calibración.

(4) Precauciones de seguridad

Gestión del hidrógeno :

Asegúrese de que la pureza del hidrógeno sea >99,9% y la presión del cilindro sea <15 MPa para evitar fugas.

Durante el funcionamiento están estrictamente prohibidas las llamas abiertas y está prohibido fumar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y cualquier fuente de fuego a menos de 5 m.

Verifique los sellos y las tuberías, la tasa de fuga es $<0,01 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$.

Monitoreo de seguridad :

Sensor de hidrógeno (límite de detección 0,05%), alarma y corte de suministro de gas cuando concentración $>0,4\%$.

El puerto de escape está conectado al exterior a una altura de $>10 \text{ m}$ para descargar los gases de escape de forma segura.

Protección operacional :

Use ropa de trabajo antiestática, guantes y gafas protectoras resistentes a altas temperaturas.

Verifique el sistema de refrigeración por agua , caudal de agua $> 5 \text{ m}^3/\text{h}$ para evitar sobrecalentamiento.

Medidas de emergencia :

Equipado con válvula de cierre y reemplazo de nitrógeno, en caso de fuga, se corta el hidrógeno y pasa nitrógeno.

Se colocan extintores (de polvo seco o CO_2) e hidrantes , y el ancho de paso es $>2 \text{ m}$.

Mantener la seguridad :

Dejar enfriar a $<50^\circ\text{C}$ antes de abrir el horno para evitar quemaduras.

Compruebe los elementos calefactores y los termopares para detectar cortocircuitos.

(5) Ventajas y desventajas

Ventajas :

El efecto reductor es bueno, mejorando la pureza y la calidad.

El costo es controlable (100.000-200.000 yuanes/unidad) y la eficiencia térmica es del 60-70%.

Tiene una amplia gama de aplicaciones y es adecuado para una variedad de formulaciones.

Desventajas :

Riesgo de seguridad: el hidrógeno es inflamable y debe controlarse estrictamente.

La precisión del control es limitada, con una desviación de temperatura de $\pm 10^\circ\text{C}$.

Bajo desempeño ambiental, requiriendo tratamiento de CO y H_2O .

El mantenimiento es complicado y los sellos y componentes son propensos a desgastarse.

5.2.0.6 Preparación y requisitos del hidrógeno utilizado en el horno de sinterización de hidrógeno de carburo cementado

1. Preparación de hidrógeno

Preparación por electrólisis:

Principio: Electrólisis del agua (H_2O) para producir H_2 y O_2 .

Proceso: Utilizar agua desionizada + 10-20% KOH , 4-6 V, electrodos de níquel/acero inoxidable, lavado con gas para eliminar impurezas.

Rendimiento: $0,4-0,5 \text{ m}^3/\text{kWh}$.

Características: Pureza 99,8-99,9%, bajo costo, eficiencia limitada.

Preparación mediante reformado de gas natural:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Principio: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ genera $\text{CO} + 3\text{H}_2$ bajo el catalizador de níquel y luego convierte $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

Proceso: 500-1000°C, separación PSA, pureza 99,99%.

Rendimiento: cientos de m^3/h .

Características: bajo costo, requiere tratamiento con CO_2 .

Recuperación de subproductos industriales:

H_2 procedente de cloro-álcali o refinado.

Proceso: Compresión + purificación, pureza 99,5-99,9%.

Características: Alta utilización de recursos y suministro inestable.

Preparación por el método de descomposición del amoníaco:

Principio: $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$, descomposición de amoníaco líquido a alta temperatura.

Proceso: Gasificación de amoníaco líquido, 750-900 °C, descomposición del catalizador a base de hierro/níquel, purificación por tamiz molecular al 99,9 %.

Producción: 1.800-2.000 m^3 de hidrógeno por tonelada de amoníaco líquido.

Características: El equipo es compacto, el amoníaco líquido es fácil de almacenar y el gas que contiene nitrógeno necesita separarse.

Almacenamiento y transporte:

Comprimido a 15-20 MPa, almacenado en cilindros de 40-50 L o camiones con haces de tubos, cumpliendo con las regulaciones de transporte.

2. Requisitos de hidrógeno

Requisitos de pureza:

Pureza $\geq 99,9\%$ (preferiblemente 99,99%), impurezas: $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm}$, $\text{H}_2\text{O} < 20 \text{ ppm}$, $\text{CO} < 5 \text{ ppm}$, $\text{H}_2\text{S} < 1 \text{ ppm}$, $\text{NH}_3 < 5 \text{ ppm}$, $\text{N}_2 < 100 \text{ ppm}$.

Punto de rocío y datos de control:

Punto de rocío: $< -60^\circ\text{C}$ (preferiblemente $< -70^\circ\text{C}$), vapor de agua $< 20 \text{ ppm}$ (preferiblemente $< 5 \text{ ppm}$).

Punto de rocío -60°C : vapor de agua aproximadamente 20 ppm.

Punto de rocío -70°C : vapor de agua aproximadamente 5 ppm.

Punto de rocío -80°C : vapor de agua aproximadamente 1 ppm.

Método de control:

Secador de tamiz molecular (tamiz molecular 4A, punto de rocío $< -70^\circ\text{C}$) o liofilizador (-80°C).

Medidor de punto de rocío en línea (tipo espejo frío, precisión $\pm 0,2^\circ\text{C}$) para monitoreo en tiempo real.

El tamiz molecular se regeneró cada 1000 h (200°C , purga de nitrógeno durante 4 h).

Impacto: Puntos de rocío $> -50^\circ\text{C}$ (vapor de agua $> 50 \text{ ppm}$) pueden provocar oxidación (WO_3), aumentando el riesgo de fase η .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Requisitos de flujo:

m³/h durante el funcionamiento, 60-80 m³/h durante la sustitución del aire, oxígeno <0,1%.

Requisitos de presión:

0,1-0,5 bar en el horno, 15-20 MPa en el cilindro de gas y <0,6 bar a la salida.

Adaptabilidad a la temperatura:

Suministrado a temperatura ambiente de 20-30 °C, las tuberías pueden soportar desde -20 °C hasta 150 °C.

Requisitos de seguridad y almacenamiento:

Conservar en almacén ventilado, <40°C, <100 botellas, equipado con alarma.

3. Preparación y manejo durante el uso

Preparación en el sitio:

Pequeño dispositivo de electrólisis o descomposición de amoníaco + purificador, pureza > 99,9%, punto de rocío < -60°C.

Cambio de fuente de gas:

Los cilindros de gas duales cambian automáticamente para mantener el flujo estable.

Pruebas regulares:

La pureza (cromatografía de gases) y el punto de rocío (método de espejo frío) se prueban mensualmente y la tasa de fuga de la tubería es <0,01 Pa·m³/s.

Si el punto de rocío es anormal (>-60 °C), reemplace el desecante o verifique el sistema de purificación.

4. Notas

Seguridad en la preparación:

El método de electrólisis evita cortocircuitos, el método de reformado controla la temperatura y el método de descomposición del amoníaco monitorea entre 750 y 900 °C para verificar la actividad del catalizador.

Seguridad en el uso:

Reposición de nitrógeno > 30 minutos, usar ropa protectora, prohibir fuentes de ignición y asegurar punto de rocío < -60°C.

Tratamiento de protección del medio ambiente:

Los gases de escape se lavan con álcali o se queman, CO<50 ppm y los gases de escape de la descomposición del amoníaco contienen N₂ que necesita diluirse.

5.2.1 Parámetros técnicos y principios de la sinterización al vacío de carburo cementado

La sinterización al vacío del carburo cementado se lleva a cabo en un horno de vacío (presión <10⁻² Pa ±10⁻³ Pa, potencia >100 kW ±10 kW, "ISO 4489:2009"), a una temperatura de 1350-1500°C ±10°C, una velocidad de calentamiento de 5-10°C/min ±0,5°C/min (la velocidad de calentamiento es la velocidad a la que cambia la temperatura con el tiempo, lo que afecta a la uniformidad de la sinterización) y un tiempo de mantenimiento de 1-3 horas ±0,1 horas. El tocho se densifica mediante sinterización en fase líquida (la sinterización en fase líquida es el proceso de fusión de la fase

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

aglutinante para formar una fase líquida y promover la unión de partículas), con una densidad de $14,0-14,8 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ ($>99,5 \% \pm 0,1 \%$ densidad teórica, ISO 3369-2006).

5.2.2 Etapas del proceso de sinterización al vacío de carburo cementado

El desaglomerado (300-500 °C ± 10 °C)

elimina los lubricantes y evita los residuos de carbono ($<0,1 \% \pm 0,01 \%$, ASTM B657-16, el desaglomerado es el proceso de eliminación de aditivos orgánicos antes de la sinterización para evitar afectar la pureza del material).

La sinterización en fase sólida (800-1200 °C ± 10 °C)

mejora la unión por difusión de la superficie de las partículas (resistencia $> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, la sinterización en fase sólida es el proceso de unión por difusión en estado sólido entre partículas) y la porosidad se reduce al $20 \% \pm 2 \%$ (ASTM B657-16).

Sinterización en fase líquida (1350-1500 °C ± 10 °C)

El Co se funde, humedece el WC, promueve la reorganización de partículas y la reprecipitación de la disolución (la reprecipitación de la disolución es el proceso mediante el cual las partículas pequeñas se disuelven y se vuelven a depositar en partículas más grandes, optimizando la distribución del grano).

5.2.3 Caso real de sinterización al vacío de carburo cementado

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co $10\% \pm 1\%$) sinterizado a $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ con una porosidad de $<0,1\% \pm 0,02\%$ (ASTM B657-16) para herramientas de aviación (velocidad de corte $>300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), desgaste $<0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, vida útil $>18 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$.

5.2.4 Factores que afectan la sinterización al vacío de carburo cementado y estrategias de optimización

La temperatura de sinterización de

$1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ equilibra la densidad y el crecimiento del grano (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010); $>1550^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ desencadena el crecimiento de WC ($>1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, ASTM B657-16) y la dureza disminuye en un $5 \% \pm 1 \%$ (HV $<2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982).

Un tiempo de retención de

2 horas $\pm 0,1$ horas garantiza que la porosidad sea $< 0,1\% \pm 0,02\%$ (ASTM B657-16); > 4 horas $\pm 0,1$ horas aumenta la volatilización de Co ($> 0,5\% \pm 0,1\%$, datos experimentales) y la tenacidad disminuye en un $3\% \pm 0,5\%$ ($K_{1c} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

Un grado de vacío

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ reduce la oxidación ($O < 0,03 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018); $>10^{-1} \text{ Pa} \pm 10^{-2} \text{ Pa}$ reduce la pureza ($> 0,1 \% \pm 0,02 \%$, datos experimentales) y la resistencia disminuye en un $2 \% \pm 0,5 \%$ (GB/T 3851-2015).

de masa verde

$<0,5 \% \pm 0,1 \%$ garantiza una sinterización uniforme (desviación de dureza $< \pm 30 \text{ HV}$, ISO 3738-1:1982); $>1 \% \pm 0,2 \%$ induce porosidad local ($> 0,3 \% \pm 0,05 \%$, ASTM B657-16).

El aditivo

$0,5\% \pm 0,01\% \text{ VC} / \text{Cr}_3\text{C}_2$ inhibe el crecimiento del grano ($< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) y aumenta la dureza en un $5\% \pm 1\%$ (ISO 3738-1:1982); una cantidad excesiva ($> 1\% \pm 0,01\%$) genera una fase frágil (como V_6C_5 , dureza $\text{HV} < 1500 \pm 50$, Acta Materialia, vol. 58, 2010).

5.2.5 Estrategia de optimización de la sinterización al vacío de carburo cementado

Control preciso de temperatura ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, ISO 4489:2009), alto vacío ($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, GB/T 1479.1-2011), adición de $0,3 \% - 0,5 \% \pm 0,01 \%$ de VC (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) y tocho uniforme (desviación de densidad $< 0,3 \% \pm 0,1 \%$, GB/T 3850-2015).

5.2.6 Práctica de aplicación de ingeniería de sinterización al vacío de carburo cementado

Herramientas de aviación

$1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ sinterizadas al vacío, dureza $\text{HV} 2300 \pm 30$, "ISO 3738-1:1982"), mecanizado de aleaciones de alta temperatura ($1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, "International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010"), desgaste $< 0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, vida útil $> 18 \text{ horas} \pm 1 \text{ hora}$.

Broca minera

sinterizada a $1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, tenacidad $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, "ISO 28079:2009", perforación de granito (frecuencia de impacto $> 10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$, "International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, vol. 28, 2010"), vida útil $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Matriz resistente

al desgaste sinterizada a $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, resistencia $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, "GB/T 3851-2015"), extrusión de encabezado en frío $> 10^6 \text{ veces} \pm 10^5 \text{ veces}$, "Wear, Vol. 267, 2009"), deformación $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

5.2.7 Parámetros técnicos y principios de la sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado

La sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado se lleva a cabo a $1350 - 1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ y $100 - 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, utilizando argón (Ar , pureza $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4325-2018; caudal 50 L/min $\pm$ 5 L/min, datos experimentales) como medio de presión, y el tiempo de retención es de 1 a 2 horas $\pm$ 0,1 horas. El equipo HIP (cavidad interna > 200 mm $\pm$ 5 mm, potencia > 150 kW $\pm$ 10 kW, ISO 13703:2000) elimina la porosidad de sinterización mediante presión isotrópica (desviación < 1% $\pm$ 0,2%, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), y la densidad alcanza 14,8-15,0 g/cm³ $\pm$ 0,1 g/cm³ (> 99,8% $\pm$ 0,1% densidad teórica, ISO 3369-2006).

5.2.8 Mecanismo de sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado

Basándose en el flujo plástico a alta presión (velocidad de deformación 10^{-4} s⁻¹ $\pm$ 10^{-5} s⁻¹, Acta Materialia, vol. 58, 2010) y aceleración de la difusión (coeficiente 10^{-8} cm²/s $\pm$ 10^{-9} cm²/s, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009), la porosidad se reduce significativamente (reducida en > 50% $\pm$ 5%, Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010), mejorando así la fiabilidad.

5.2.9 Estudio de caso real de prensado isostático en caliente de carburo cementado

El proceso HIP a 1400 °C $\pm$ 10 °C, 150 MPa $\pm$ 5 MPa, 1 hora $\pm$ 0,1 hora produce carburo cementado (WC 0,3 μ m $\pm$ 0,01 μ m, GB/T 19077.1-2008; Co 10 % $\pm$ 1 %, GB/T 5124-2017) con una porosidad de < 0,03 % $\pm$ 0,01 % (ASTM B657-16) para herramientas de aviación (velocidad de corte > 300 m/min $\pm$ 10 m/min, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), dureza HV 2300 $\pm$ 30 y vida útil > 20 horas $\pm$ 1 hora.

5.2.10 Factores que afectan la sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado y estrategias de optimización

Presiones de

150 MPa $\pm$ 5 MPa eliminan eficazmente la porosidad (< 0,03 % $\pm$ 0,01 %, ASTM B657-16); presiones de < 100 MPa $\pm$ 5 MPa tienen un efecto insuficiente (porosidad > 0,1 % $\pm$ 0,02 %); presiones de > 200 MPa $\pm$ 5 MPa aumentan el costo del equipo (> \$10⁶ $\pm$ \$10⁵, estimación de la industria).

Una temperatura

de 1400 °C $\pm$ 10 °C equilibra la densificación y el crecimiento del grano (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010); una temperatura de > 1500 °C $\pm$ 10 °C desencadena el crecimiento de WC (> 0,5 μ m $\pm$ 0,01 μ m, ASTM B657-16) y la dureza disminuye en un 3 % $\pm$ 0,5 % (HV < 2100 $\pm$ 30, ISO 3738-1:1982).

Un tiempo de retención de

1 hora $\pm$ 0,1 horas es suficiente para la densidad (densidad > 99,8 % $\pm$ 0,1 %, ISO 3369-2006); > 2 horas $\pm$ 0,1 horas aumenta el consumo de energía (> 500 kW·h/t $\pm$ 50 kW·h/t, datos industriales).

Una masa de palanquilla

< 1% $\pm$ 0,2% mejora la eficiencia del HIP (porosidad reducida a 0,02% $\pm$ 0,005%, ASTM B657-16); > 2% $\pm$ 0,2% requiere una presión más alta (> 180 MPa $\pm$ 5 MPa, ISO 13703:2000).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Atmósfera

Pureza de Ar $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$ para evitar la oxidación ($O < 0,02 \% \pm 0,005 \%$, GB/T 4325-2018); N_2 (pureza $< 99,9 \% \pm 0,01 \%$) aumenta el nitruro ($> 0,1 \% \pm 0,02 \%$, datos experimentales).

5.2.11 Estrategia de optimización de la sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado

El proceso se seleccionó como $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, 1 hora $\pm 0,1$ hora (ISO 13703:2000), se agregó $0,5 \% \pm 0,01 \%$ de VC (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) y se utilizó Ar de alta pureza ($> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018).

5.2.12 Aplicación de la sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado en ingeniería

Herramienta de aviación

HIP ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000), dureza HV 2300 ± 30 , ISO 3738-1:1982), mecanizado de aleaciones de alta temperatura ($1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), vida útil > 20 horas ± 1 hora.

Broca para minería

HIP ($1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000), tenacidad $K_{IC} > 18\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), vida útil de perforación en roca dura $> 1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

Matriz resistente al desgaste

HIP ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000), resistencia $> 4200\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$, GB/T 3851-2015), extrusión de encabezado en frío $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, Wear, Vol. 267, 2009).

5.2.13 Parámetros técnicos y principios de la sinterización por microondas de carburo cementado

La sinterización por microondas de carburo cementado utiliza un horno de microondas (frecuencia $2,45\text{ GHz} \pm 0,01\text{ GHz}$, potencia $10\text{--}50\text{ kW} \pm 1\text{ kW}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009), temperatura $1300\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidad de calentamiento $50\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, tiempo de aislamiento $0,5\text{--}1\text{ hora} \pm 0,05\text{ horas}$ (la sinterización por microondas es una tecnología de sinterización que utiliza energía de microondas para calentar directamente el interior del material). Las microondas se calientan directamente a través de la pérdida dieléctrica de las partículas de WC (tasa de absorción $> 80\% \pm 2\%$, datos experimentales), utilización de energía $> 90\% \pm 2\%$ (Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010), y la densidad alcanza $14,5\text{--}14,8\text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1\text{ g}/\text{cm}^3$ ($> 99,5\% \pm 0,1\%$, "ISO 3369-2006").

5.2.14 Mecanismo de sinterización por microondas 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

La ventaja termodinámica de la sinterización por microondas es el calentamiento uniforme (desviación de temperatura $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$, Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010) y el logro de una estructura de grano ultrafino ($\text{WC} < 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008) a través de un calentamiento eficiente.

5.2.15 Estudio de caso práctico de sinterización por microondas de carburo cementado

La sinterización por microondas ($1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $0,5 \text{ h} \pm 0,05 \text{ h}$) produce carburo cementado ($\text{WC} 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008; $\text{Co } 10 \% \pm 1 \%$, GB/T 5124-2017) con una porosidad de $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$ (ASTM B657-16) para herramientas de aviación (velocidad de corte $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), dureza HV 2300 ± 30 , vida útil $> 15 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$.

5.2.16 Factores que afectan y estrategias de optimización para la sinterización por microondas de carburo cementado

La temperatura de

$1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ garantiza la densificación ($> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006); $> 1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ desencadena el crecimiento del grano ($> 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, ASTM B657-16) y una reducción de la dureza del $3 \% \pm 0,5 \%$ (HV $< 2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982).

Una velocidad de calentamiento

de $50\text{-}100^{\circ}\text{C/min} \pm 5^{\circ}\text{C/min}$ reduce el estrés térmico ($< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010); $> 150^{\circ}\text{C/min} \pm 5^{\circ}\text{C/min}$ induce grietas ($> 1 \% \pm 0,2 \%$, datos experimentales).

Para tamaños de tocho

$< 50 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, evitar el gradiente térmico ($> 10^{\circ}\text{C/cm} \pm 1^{\circ}\text{C/cm}$, Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010); para tamaños de tocho $> 100 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, se requiere calentamiento por zonas (Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009).

El aditivo

$0,3 \% \pm 0,01 \% \text{ VC}$ controla el tamaño del grano ($< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) y aumenta la dureza en un $5 \% \pm 1 \%$ (ISO 3738-1:1982).

5.2.17 Estrategia de optimización para la sinterización por microondas de carburo cementado

La temperatura fue de $1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50^{\circ}\text{C/min} \pm 5^{\circ}\text{C/min}$ (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) y se añadió $0,3 \% \pm 0,01 \% \text{ VC}$ (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010).

5.2.18 Aplicación de ingeniería de la sinterización por microondas de carburo cementado

de herramientas de aviación

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

(1350 °C ±10 °C, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), dureza HV 2300 ±30, ISO 3738-1:1982), mecanizado de aleaciones de Ti (1000 °C ±10 °C, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), vida útil >15 horas ±1 hora.

5.2.19 Parámetros técnicos y principios de la sinterización por plasma de chispa de carburo cementado

La sinterización por plasma de chispa (SPS) de carburo cementado utiliza pulsos de CC (voltaje 5-10 V ±0,1 V, corriente 1000-5000 A ±100 A, "Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009"), temperatura 1200-1350 °C ±10 °C, presión 50-100 MPa ±5 MPa y tiempo de retención 5-10 min ±0,1 min (la sinterización por plasma de chispa es una tecnología que sinteriza rápidamente materiales utilizando pulsos eléctricos y presión). El SPS acelera la difusión (coeficiente ~10⁻⁸ cm²/s ±10⁻⁹ cm²/s, Acta Materialia, vol. 58, 2010) a través de la activación del plasma (intensidad del campo eléctrico >10³ V/m ±100 V/m, datos experimentales) y calentamiento Joule (potencia >10 kW ±1 kW, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), densidad >99,8 % ±0,1 % (ISO 3369-2006) y tamaño de grano mantenido <0,3 μm ±0,01 μm (GB/T 19077.1-2008).

5.2.20 Mecanismo de sinterización por plasma de chispa de carburo cementado

SPS reduce la temperatura de sinterización (en ~100 °C ±10 °C, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009) a través de alto voltaje y campo eléctrico, logrando una estructura de grano ultrafino y una densificación eficiente.

5.2.21 Caso práctico de sinterización por plasma de chispa de carburo cementado

SPS (1300 °C ±10 °C, 50 MPa ±5 MPa, 5 min ±0,1 min) produce carburo cementado (WC 0,2 μm ±0,01 μm, GB/T 19077.1-2008; Co 10 % ±1 %, GB/T 5124-2017) con una dureza de HV 2400 ±30 (ISO 3738-1:1982) para brocas de PCB (diámetro de orificio <0,1 mm ±0,01 mm, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, 2009) con una vida útil >10⁵ orificios ±10⁴ orificios.

5.2.22 Factores influyentes y estrategias de optimización de la sinterización por plasma de chispa de carburo cementado

Una presión

de 50-100 MPa ±5 MPa aumenta la densidad (>99,8% ±0,1%, ISO 3369-2006); una presión de >150 MPa ±5 MPa daña el moho (vida útil <10³ veces ±100 veces, Wear, Vol. 267, 2009).

Tiempo de retención

de 5 a 10 minutos ±0,1 minutos para controlar el tamaño del grano (<0,3 μm ±0,01 μm, GB/T 19077.1-2008); >15 minutos ±0,1 minutos para reducir la dureza en un 2 % ±0,5 % (ISO 3738-1:1982).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Corriente

3000 A ± 100 A Equilibrio entre la eficiencia de calentamiento ($>90\% \pm 2\%$, datos experimentales) y la vida útil del equipo ($>10^4$ veces $\pm 10^3$ veces, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

El material del molde

es un molde de grafito (conductividad $> 10^4$ S/m $\pm 10^3$ S/m, Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010) para garantizar una corriente uniforme (desviación $< 5\% \pm 1\%$, datos experimentales).

5.2.23 Estrategia de optimización de la sinterización por plasma de chispa de carburo cementado

Las condiciones fueron $1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, $50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, $5\text{ min} \pm 0,1\text{ min}$ (Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009) y se añadió $0,3\% \pm 0,01\%$ de VC (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010).

5.2.24 Aplicación de ingeniería de la sinterización por plasma de chispa de carburo cementado

Broca para PCB

SPS ($1300\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, $50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009), dureza HV 2400 ± 30 , ISO 3738-1:1982), perforación $>10^5$ agujeros $\pm 10^4$ agujeros, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, 2009), precisión $<0,01\text{ mm} \pm 0,002\text{ mm}$.

Recubrimiento resistente al desgaste

SPS ($1250\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), WC $0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008), resistencia de unión por pulverización $> 70\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Surface and Coatings Technology, vol. 204, 2010), vida útil de las palas de turbinas de aviación $> 5000\text{ horas} \pm 500\text{ horas}$ (datos de la industria).

5.3 Mecanismo de sinterización de carburo cementado

El mecanismo de sinterización del carburo cementado revela la esencia de la densificación (densidad $>99,5\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006), la evolución de la microestructura (desviación de grano WC $<5\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) y la optimización de la propiedad (dureza HV $1500\text{--}2500 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), que implica el proceso de difusión de la sinterización en fase líquida y el control del crecimiento del grano.

5.3.1 Parámetros técnicos y principios de la sinterización en fase líquida de carburo cementado

La sinterización en fase líquida del carburo cementado ocurre por encima del punto de fusión del

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

Co ($1320\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2024), y el Co forma una fase líquida (viscosidad $10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4}\text{ Pa}\cdot\text{s}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), humedece las partículas de WC (ángulo de contacto $<10^{\circ} \pm 1^{\circ}$, Acta Materialia, vol. 58, 2010) e impulsa la reorganización y difusión de las partículas.

5.3.2 Etapas del proceso de sinterización en fase líquida de carburo cementado

Reordenamiento de partículas ($1350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)

El Co líquido (fracción de volumen $5\% - 30\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) llena los espacios entre las partículas, las partículas se deslizan (la porosidad cae a $10\% \pm 1\%$, ASTM B657-16), tasa de reordenamiento $\sim 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}/\text{s} \pm 10^{-4}\text{ }\mu\text{m}/\text{s}$ (Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009).

Disolución y reprecipitación ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)

El WC se disuelve parcialmente en Co (solubilidad $5\% \pm 0,5\%$, datos experimentales), las partículas pequeñas se disuelven (energía superficial $>1\text{ J}/\text{m}^2 \pm 0,1\text{ J}/\text{m}^2$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), precipitación de partículas grandes (coeficiente de difusión $10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009) y la porosidad se reduce a $<1\% \pm 0,2\%$ (ASTM B657-16).

Difusión en estado sólido ($1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)

La fase Co se solidifica y la interfaz WC-Co se fortalece por difusión en estado sólido (coeficiente $\sim 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010, la difusión en estado sólido es el proceso de migración atómica en la fase sólida) (resistencia de enlace $>50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, medición experimental), densidad $>99,5\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006).

5.3.3 Estudio de caso real de sinterización en fase líquida de carburo cementado

El carburo cementado que contiene $10\% \pm 1\%$ de Co ($1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 horas $\pm 0,1$ horas, ISO 4489:2009) tiene una porosidad de $<0,1\% \pm 0,02\%$ después de la sinterización (ASTM B657-16), dureza HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982), y se utiliza para herramientas de aviación (velocidad de corte $>300\text{ m}/\text{min} \pm 10\text{ m}/\text{min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), con una vida útil de >18 horas ± 1 hora.

5.3.4 Factores que afectan la sinterización en fase líquida de carburo cementado y estrategias de optimización

Un contenido de Co del

$10\% \pm 1\%$ proporciona suficiente fase líquida (fracción de volumen $>5\% \pm 0,5\%$, ASTM B657-16), densidad $>99,5\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006); una fase líquida $<5\% \pm 1\%$ es insuficiente (porosidad $>0,5\% \pm 0,1\%$, ASTM B657-16), densidad $<99\% \pm 0,2\%$ (ISO 3369-2006).

La temperatura de sinterización de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1450 °C ±10 °C optimiza la difusión ($>10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010); $>1550 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ desencadena la volatilización de Co ($>0,5 \% \pm 0,1 \%$, datos experimentales) y la resistencia disminuye en un $3 \% \pm 0,5 \%$ (GB/T 3851-2015).

atmosférico

($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, GB/T 1479.1-2011) reduce la oxidación ($\text{O} < 0,03 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018); Ar (pureza $>99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) es adecuado para HIP e inhibe la descomposición de carburo ($<0,1 \% \pm 0,02 \%$, ASTM B657-16).

Un tamaño de partícula de WC

$<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la velocidad de disolución ($>10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009) y la dureza aumenta en un $5\% \pm 1\%$ (ISO 3738-1:1982); $>1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ aumenta la tenacidad en un $3\% \pm 0,5\%$ ($K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

El aditivo

$0,5\% \pm 0,01\%$ VC reduce la energía interfacial ($<0,5 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), la densidad aumenta en un $0,2\% \pm 0,05\%$ (ISO 3369-2006); Cr_3C_2 ($0,5\% \pm 0,01\%$) precipita en la interfaz (espesor $<3 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), mejorando la unión de la interfaz ($> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, datos experimentales).

5.3.5 Estrategia de optimización de la sinterización en fase líquida de carburo cementado

Se seleccionaron Co $10\% \pm 1\%$ (GB/T 5124-2017), $1450 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ (ISO 4489:2009), vacío $<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ (GB/T 1479.1-2011) y adición de $0,3\%-0,5\% \pm 0,01\%$ VC (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010).

5.3.6 Aplicación de ingeniería de la sinterización en fase líquida de carburo cementado

de herramientas de aviación

($1450\text{°C} \pm 10\text{°C}$, Co $10\% \pm 1\%$, ISO 4489:2009), dureza HV 2300 ± 30 , ISO 3738-1:1982), mecanizado de aleaciones de alta temperatura ($1000\text{°C} \pm 10\text{°C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), vida útil $>18 \text{ horas} \pm 1 \text{ hora}$.

brocas para minería ($1500\text{°C} \pm 10\text{°C}$, Co $12\% \pm 1\%$, ISO 4489:2009), tenacidad $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), vida útil de perforación en roca dura $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

de molde resistente al desgaste

($1450 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$, Co $8 \% \pm 1 \%$, ISO 4489:2009), resistencia $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015), extrusión $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces, Wear, Vol. 267, 2009).

5.3.7 Parámetros y principios de la tecnología de supresión y crecimiento de granos de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El crecimiento del grano de carburo se produce a través de la maduración de Ostwald, partículas pequeñas (energía superficial $>1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010, El crecimiento del grano es el proceso de crecimiento del tamaño de partícula durante la sinterización, la energía superficial es la contribución energética de la superficie de la partícula a la unión de los átomos) disolución, las partículas grandes precipitan, tasa de crecimiento $\sim 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$ (Acta Materialia, vol. 58, 2010), que afecta la dureza (HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3738-1:1982) y tenacidad ($K_{IC} 8-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

5.3.8 Mecanismo de crecimiento e inhibición del grano de carburo cementado

Disolución y reprecipitación

: el WC se disuelve en Co líquido (solubilidad $5\% \pm 0,5\%$, datos experimentales) y las partículas grandes tienen baja energía superficial ($<1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) y crecimiento preferencial, con un tamaño de grano que aumenta en $0,01 \mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001 \mu\text{m}/\text{min}$ (Acta Materialia, vol. 58, 2010).

Difusión de la interfaz

La interfaz WC/Co (espesor $<5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009) controla la migración atómica (coeficiente de difusión $\sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), lo que afecta la tasa de crecimiento.

5.3.9 Métodos de crecimiento y supresión del grano de carburo cementado

El aditivo

VC ($0,3\%-0,5\% \pm 0,01\%$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) se disuelve en la fase Co (solubilidad $\sim 5\% \pm 0,5\%$, datos experimentales), reduciendo la energía interfacial ($<0,5 \text{ J/m}^2$) $\pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009), la tasa de crecimiento cayó a $<0,005 \mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001 \mu\text{m}/\text{min}$ (Acta Materialia, vol. 58, 2010); Cr_3C_2 ($0,5\% \pm 0,01\%$) precipitó en la interfaz (espesor $<3 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of Materials Science, vol. 45, 2010), lo que dificultó la difusión (coeficiente $<10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009).

La sinterización a baja temperatura

a $1350-1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ reduce la disolución de WC ($<3\% \pm 0,5\%$, datos experimentales) y el tamaño de grano permanece $<0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008).

del calor a corto plazo de

1 hora $\pm 0,1$ horas controla el crecimiento ($<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, "ASTM B657-16"); > 4 horas $\pm 0,1$ horas aumenta el tamaño del grano a $> 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ ("Journal of Materials Science, vol. 45, 2010").

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.10 Ejemplos prácticos de crecimiento e inhibición del grano de carburo cementado

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008) que contiene $0,5 \% \pm 0,01 \%$ de VC, sinterizado a $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 1 hora $\pm 0,1$ hora, tiene una dureza de $\text{HV } 2400 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982) y se utiliza para brocas de PCB (diámetro de orificio $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, 2009), con una vida útil de $> 10^5$ orificios $\pm 10^4$ orificios.

5.3.11 Factores que afectan y optimizan el crecimiento y la inhibición del grano de carburo cementado

La cantidad aditiva de

VC es de $0,3\%-0,5\% \pm 0,01\%$ (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010); $> 0,8\% \pm 0,01\%$ genera V_6C_5 (dureza $\text{HV} < 1500 \pm 50$, Acta Materialia, vol. 58, 2010), y la tenacidad disminuye en un $10\% \pm 2\%$ (ISO 28079:2009).

La temperatura de sinterización

de $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ controla el tamaño del grano ($< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008); $> 1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ aumenta el tamaño del grano ($> 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, ASTM B657-16).

El tiempo de retención

de 1 hora $\pm 0,1$ hora controla el crecimiento; > 4 horas $\pm 0,1$ hora aumenta el tamaño del grano.

5.3.12 Estrategia de optimización del crecimiento y la supresión del grano de carburo cementado

Las condiciones seleccionadas fueron $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 1 hora $\pm 0,1$ hora y $0,3\%-0,5\% \pm 0,01\%$ VC (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010).

5.3.13 Práctica de aplicación de ingeniería de crecimiento y supresión de grano de carburo cementado

Broca para PCB

SPS ($1300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009), dureza $\text{HV } 2400 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), perforación $> 10^5$ agujeros $\pm 10^4$ agujeros, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, 2009), precisión $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

Tecnología de posprocesamiento de carburo cementado

La tecnología de posprocesamiento de carburo cementado mejora la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la vida útil por fatiga al optimizar la calidad de la superficie y eliminar la tensión residual.

5.4.1 Parámetros técnicos y principios del rectificado y pulido de superficies de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cementado

El rectificado y pulido de superficies de carburo cementado elimina defectos de la superficie mediante acción mecánica, reduce la rugosidad ($Ra < 0,05 \mu m \pm 0,01 \mu m$, GB/T 1031-2009, el rectificado es el proceso de eliminación de defectos superficiales de los materiales mediante abrasivos, y el pulido es un acabado adicional para mejorar el acabado de la superficie), mejora la resistencia al desgaste (pérdida por desgaste $< 0,05 mm \pm 0,01 mm$) y la resistencia a la corrosión.

5.4.2 Mecanismo de rectificado y pulido de la superficie de carburo cementado

Las microfisuras superficiales y la tensión residual se eliminan mediante esmerilado y pulido, se mejora el acabado de la superficie ($Ra < 0,05 \mu m \pm 0,01 \mu m$, GB / T 1031-2009) y se mejora la resistencia al desgaste.

5.4.3 Ejemplos prácticos de rectificado y pulido de superficies de carburo cementado

El carburo pulido ($Ra < 0,05 \mu m \pm 0,01 \mu m$) se utiliza para herramientas de aviación, con desgaste $< 0,05 mm \pm 0,01 mm$, "ASTM G65-04", y vida útil > 20 horas ± 1 hora.

5.4.4 Factores que afectan y estrategias de optimización para el rectificado y pulido de superficies de carburo cementado

Tamaño de grano abrasivo

50-100 $\mu m \pm 1 \mu m$ (rectificado) para eliminar defectos; $< 5 \mu m \pm 0,1 \mu m$ (pulido) para garantizar la rugosidad.

La velocidad

de 2000 rpm ± 10 rpm equilibra la eficiencia y la calidad; > 4000 rpm ± 10 rpm provoca daños térmicos.

Una presión

de 0,3-0,5 MPa $\pm 0,01$ MPa garantiza un pulido uniforme; una presión de > 1 MPa $\pm 0,01$ MPa aumenta el daño superficial.

5.4.5 Estrategia de optimización para el rectificado y pulido de superficies de carburo cementado

Utilice pasta de diamante de 3-5 $\mu m \pm 0,1 \mu m$, una presión de 0,3 MPa $\pm 0,01$ MPa y una velocidad de rotación de 2000 rpm ± 10 rpm.

5.4.6 Práctica de aplicación de ingeniería del rectificado y pulido de superficies de carburo cementado

Pulido de herramientas de aviación ($Ra < 0,05$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009), procesamiento de aleaciones de alta temperatura ($1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, 2010), vida útil > 20 horas ± 1 hora.

5.4.7 Parámetros técnicos y principios del tratamiento térmico de carburo cementado

El tratamiento térmico del carburo cementado se lleva a cabo a $500-800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, con un tiempo de retención de 2 a 4 horas $\pm 0,1$ horas (el tratamiento térmico es un proceso de liberación de tensión interna o ajuste de la microestructura controlando la temperatura y el tiempo), eliminando la tensión residual ($< 20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, "ASTM E837-13") y mejorando la tenacidad y la vida útil por fatiga.

5.4.8 Mecanismo de tratamiento térmico de carburo cementado

El recocido a baja temperatura se puede utilizar para liberar la tensión interna ($< 20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, ASTM E837-13), optimizar la microestructura y mejorar la tenacidad ($K_{IC} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

5.4.9 Casos reales de tratamiento térmico de carburo cementado

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co 10% $\pm 1\%$) tratado térmicamente a $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 3 h $\pm 0,1$ h, para brocas mineras, vida útil $> 1800 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

5.4.10 Factores que afectan el tratamiento térmico del carburo cementado y estrategias de optimización

La temperatura del tratamiento térmico

de $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ relaja eficazmente la tensión; $> 900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ induce la transformación de la fase Co.

El tiempo de aislamiento

de 3 horas $\pm 0,1$ horas equilibra el alivio de tensión y la eficiencia; > 6 horas $\pm 0,1$ horas aumenta los costos.

Atmósfera

La atmósfera de N_2 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) evita la oxidación; el vacío ($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$) es adecuado para piezas de alta precisión.

5.4.11 Estrategia de optimización para el tratamiento térmico de carburo cementado

Las condiciones utilizadas fueron $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 3 horas $\pm 0,1$ horas y atmósfera de N_2 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

5.4.12 Práctica de aplicación de la ingeniería de tratamiento térmico de carburo cementado

Broca para minería

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

tratada térmicamente a $600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 3 horas $\pm 0,1$ horas, tenacidad $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, vida útil $> 1800 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Los moldes resistentes al desgaste

se tratan térmicamente a $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 2 horas $\pm 0,1$ horas, resistencia $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, extrusión $> 10^6$ veces $\pm 10^5$ veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Apéndice: Tabla comparativa de métodos de prensado de carburo cementado

Método de moldeo	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
Prensado de matriz uniaxial	El polvo de carburo cementado (WC, Co, etc.) se prensa en una pieza en bruto aplicando presión en una sola dirección axial a través de la matriz, y el polvo se comprime y se forma mediante la fuerza vertical en la cavidad de la matriz.	Prensa hidráulica o mecánica, molde de acero, sistema de alimentación automático; precisión del molde ±0,02 mm.	Presión: 50200 MPa ±10 MPa, tiempo de prensado: 530 s ±1 s, tamaño de partícula de polvo: 50200 μm ±10 μm, densidad del cuerpo verde: 50%70% densidad teórica ±2%	El equipo es simple y fácil de operar; la eficiencia de producción es alta y adecuada para la producción en masa; el costo del molde es bajo y el mantenimiento es conveniente.	Distribución desigual de la densidad, baja densidad central (±5%); las formas complejas son limitadas y requieren un procesamiento posterior; la resistencia de la palanquilla es baja y propensa a agrietarse.	Producción de insertos de formas simples (por ejemplo, insertos de torneado), barras, discos, etc. con dimensiones <100 mm ±1 mm.	El método de conformado de carburo cementado más común, adecuado para palanquillas pequeñas y medianas. El molde debe tener en cuenta el ángulo de desmoldeo (1°, 2° ±0,5°).
Prensado de matriz bidireccional	Los punzones superior e inferior aplican presión simultáneamente y el polvo se comprime en ambas direcciones en la matriz, lo que mejora la uniformidad de la densidad y reduce la tensión interna.	Prensa hidráulica bidireccional, molde de precisión, dispositivo de llenado de polvo; dureza del molde HRC 6065 ±1.	Presión: 100250 MPa ±10 MPa, tiempo de prensado: 1040 s ±1 s, contenido de humedad del polvo: <1 % ±0,2 %, densidad de la palanquilla: 60 % 75 % densidad teórica ±2 %	Densidad más uniforme (±2%), rendimiento estable; adecuado para palanquillas más altas, menos grietas; adecuado para formas medianas y complejas	El equipo es más complejo y el costo es alto; el molde se desgasta rápidamente y el mantenimiento es frecuente; la eficiencia de producción es ligeramente menor que la de un solo sentido.	Producción de insertos de tamaño mediano (por ejemplo, insertos de fresado), piezas brutas de matriz, altura <150 mm ±1 mm.	Adecuado para productos con altos requisitos de uniformidad de densidad, las presiones superior e inferior deben controlarse de forma sincrónica (error <5 MPa).
Prensado isostático en frío (CIP)	El polvo se carga en un molde elástico (como una bolsa de goma) y se prensa en un blanco bajo presión uniforme omnidireccional en un	Prensa isostática fría, matriz elástica, bomba de alta presión;	Presión: 100300 MPa ±10 MPa, tiempo de retención: 15 min ±10 s, fluidez del polvo: buena (ángulo de reposo <30° ±2°), densidad del tocho: 70%85%	Densidad altamente uniforme (±1%), sin tensión interna; adecuado para	Equipo costoso, gran inversión; sin ciclo de producción largo, baja	Producción de herramientas complejas (por ejemplo, brocas, escariadores),	Ampliamente utilizado en productos de carburo cementado de alto rendimiento,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Método de moldeo	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
	medio líquido (como agua o aceite).	precisión de presión ±5 MPa.	densidad teórica ±1%	formas complejas y palanquillas de gran tamaño; alta resistencia de la palanquilla y pequeña tolerancia de mecanizado	eficiencia; vida útil corta del molde; necesidad de reemplazarlo con frecuencia	piezas en bruto de moldes grandes, dimensiones <500 mm ±2 mm.	donde es necesario controlar la uniformidad del llenado de polvo (error < 2%).
Moldeo por inyección (PIM)	El polvo de carburo cementado se mezcla con un aglutinante (parafina, polímero), se inyecta en un molde de metal para su moldeo y, después del desengrasado, se obtiene la pieza en bruto.	Máquina de moldeo por inyección, molde de metal, horno de desengrasado; precisión del molde ±0,01 mm.	Presión de inyección: 50150 MPa ±5 MPa, temperatura de inyección: 150200 °C ±5 °C, fracción de volumen de polvo: 50 % 60 % ±2 %, contracción de la pieza en bruto: 15 % 20 % ±1 %	Adecuado para formas complejas y de alta precisión; alta precisión dimensional; puede automatizar y producir en masa.	El proceso es complejo y requiere desengrasado y sinterización; el aglutinante es caro y se contamina fácilmente; la contracción de la pieza en bruto debe controlarse con precisión.	Producción de pequeñas herramientas de precisión (como microcuchillas, moldes complejos, tamaño <50 mm ±0,5 mm.	Adecuado para productos de alto valor añadido, es necesario optimizar la fórmula del aglutinante (viscosidad 100-1000 Pa·s ±10 Pa·s).
Moldeo por extrusión	El polvo y el aglutinante se mezclan para formar una pasta, que se fuerza a pasar a través de una matriz mediante una extrusora para formar continuamente largas tiras de piezas en bruto.	Extrusora, matriz de extrusión, mezcladora al vacío; precisión de la boca de la matriz ±0,05 mm.	Presión de extrusión: 20100 MPa ±5 MPa, velocidad de extrusión: 0,11 m/min ±0,01 m/min, contenido de aglutinante: 10%20% ±1%, densidad de la palanquilla: 50%65% densidad teórica ±2%	Adecuado para palanquillas largas (como barras); producción continua, alta eficiencia; buena consistencia de forma, menos desperdicio	Limitado a formas de sección transversal simples; baja resistencia de las piezas, requiere secado; altos costos de mantenimiento del equipo	Producción de barras, tubos y piezas brutas de carburo con una longitud de <1000 mm ±5 mm.	Para herramientas de carburo sólido (como fresas), es necesario controlar la velocidad de extrusión para evitar la deformación de la pieza.
Compactación por	El polvo pasa a través de un par de rodillos	Máquina laminadora,	Presión del rodillo: 50150 MPa ±10 MPa, velocidad	Adecuado para láminas o tiras	Forma limitada, baja	Producción de chapas de	Adecuado para piezas en bruto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Método de moldeo	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
rodillos	giratorios y se prensa a alta presión para formar láminas o tiras finas, que luego se cortan en forma.	matriz de rodillos, dispositivo de alimentación de polvo; dureza del rodillo HRC 6570 ±1.	del rodillo: 0,55 rpm ±0,1 rpm, contenido de humedad del polvo: <2 % ±0,2 %, espesor de la pieza: 110 mm ±0,1 mm	delgadas; producción continua, alta eficiencia; densidad relativamente uniforme del tocho (±3%)	complejidad; gran inversión en equipos, desgaste de los rodillos; requiere corte posterior, proceso adicional	carburo, tiras de desgaste y tiras con un espesor de <10 mm ±0,1 mm.	resistentes al desgaste (como anillos de sellado), la precisión del espacio entre rodillos debe controlarse (±0,05 mm).
Prensado isostático de bolsas secas	El polvo se carga en el molde de bolsa seca y se aplica presión omnidireccional mediante el sistema hidráulico. Tras el prensado, se desmolda directamente, simplificando así el proceso CIP.	Prensa isostática para bolsas secas, bolsa seca de poliuretano, bomba de alta presión; vida útil del molde de bolsa >1000 veces.	Presión: 150400 MPa ±10 MPa, tiempo de retención: 30120 s ±5 s, densidad de empaquetamiento del polvo: 23 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ , densidad del blanco: 70%80% densidad teórica ±1%	Densidad uniforme (±1%), excelente rendimiento; la eficiencia de producción es mayor que la CIP; adecuado para palanquillas de tamaño mediano	El equipo es complejo y el costo es alto; los requisitos del molde son altos; no es ranurado), adecuado para piezas brutas de piezas en bruto de gran tamaño.	Producción de insertos de tamaño mediano (por ejemplo, insertos de producción semiautomática y requiere calibración de presión regular (error <5 MPa).	Combinando las ventajas del CIP y la eficiencia del moldeo, es adecuado para la producción de piezas con dimensiones <200 mm ±1 mm.

Tabla comparativa de métodos de sinterización de carburo cementado

Método de sinterización	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
Sinterización al vacío	El calentamiento del carburo cementado (WC, vacío, Co) en un entorno de vacío permite que las partículas de polvo se combinen, eliminen los poros y obtengan un material de alta	Horno de sinterización al calentador de resistencia o bomba de vacío (grado de vacío <10 ⁻² Pa) ; precisión del horno ±0,1	Temperatura: 1350-1500 °C ±10 ° C, tiempo de mantenimiento: 14 h ±5 min, grado de vacío: 0,010,1 Pa estable; densidad de la palanquilla: 98 % 99,5 % densidad teórica ±0,5 %	Alta densidad, baja porosidad (< 0,5%); sin oxidación, rendimiento adecuado para una variedad de formas y tamaños; control	Altos costos de equipos y mantenimiento complejo; ciclo de producción largo y baja eficiencia; altos requisitos de uniformidad de calentamiento de palanquillas	Producción de insertos (por ejemplo torneado), matrices, barras con dimensiones <200 mm ±1 mm.	El método de sinterización de carburo cementado (por más comúnmente utilizado requiere una velocidad de calentamiento controlada (510 °C/min ±1 °C/min) para evitar el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Método de sinterización	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
	densidad; el vacío evita la oxidación y la fase líquida de Co promueve la densificación.	mm.		proceso simple	grandes		agrietamiento.
Prensado isostático en caliente (HIP)	un gas inerte (como Ar) a alta temperatura y alta presión, la pieza en bruto se somete a una presión omnidireccional, lo que elimina aún más los poros y mejora la densidad y la resistencia; a menudo se utiliza para el posprocesamiento.	Horno HIP, bomba de alta presión, sistema de gas inerte; precisión de presión ±0,1 MPa, precisión de temperatura ±5 °C.	Temperatura: 1300-1450 °C ±10 °C, Presión: 100-200 MPa ±0,1 MPa, Tiempo de retención: 13 h ±5 min, Densidad del tocho: 99,8 % 100 % Densidad teórica ±0,2 %	Densidad muy alta, cercana al valor teórico; excelentes propiedades mecánicas (resistencia a la flexión +10%); elimina microporos, fuerte resistencia al desgaste; adecuado para productos de alto rendimiento	Equipos costosos, altos costos operativos, baja eficiencia de producción, lotes pequeños, altos requisitos de calidad inicial de piezas en bruto	Producción de herramientas de alto rendimiento (por ejemplo, fresas, brocas), piezas resistentes al desgaste, dimensiones <300 mm ±2 mm.	A menudo se utiliza como postratamiento de la sinterización al vacío para mejorar el rendimiento, y debe garantizarse la pureza del gas (>99,99%).
Sinterización por microondas	La pieza en bruto se calienta directamente mediante microondas y las partículas de polvo absorben la energía de las microondas y se calientan rápidamente, lo que promueve la sinterización y densificación de la fase líquida; el calentamiento es uniforme y el tiempo es corto.	Horno de sinterización por microondas, generador de microondas (2,45 GHz), material de aislamiento térmico; precisión de control de temperatura ±10°C.	Temperatura: 1300-1450 °C ±10 °C, tiempo de calentamiento: 1060 min ±1 min, potencia: 110 kW ±0,1 kW, densidad de la palanquilla: 97 % 99 % densidad de teórica ±0,5 %	Alta velocidad de calentamiento (2050 °C/min); ahorro de energía, ciclo de producción corto (50 %); granos finos (0,52 μm) , excelente rendimiento; consumo energético reducido.	Equipo complejo, gran inversión; tamaño limitado (<100 mm); altos requisitos de uniformidad del polvo; bajo grado de industrialización	Producción de insertos pequeños (por ejemplo, insertos ranurados), moldes de precisión , la optimización de dimensiones <100 mm ±1 mm.	La tecnología emergente, adecuada para lotes pequeños de productos de alta precisión, requiere los materiales que absorben microondas.

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

Método de sinterización	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
Sinterización por plasma de chispa (SPS)	La pieza en bruto se calienta rápidamente mediante corriente pulsada y presión. La corriente induce una descarga local, lo que promueve la unión y la densificación de las partículas. El tiempo de sinterización es extremadamente corto.	Horno SPS, fuente de alimentación por pulsos, molde (grafito o WC); precisión de corriente ± 10 A, precisión de presión $\pm 0,1$ MPa.	Temperatura: 1200-1400 °C ± 10 °C, Presión: 30-100 MPa $\pm 0,1$ MPa, Tiempo de sinterización: 520 min ± 30 s, Densidad de invernadero: 98 % 99,5 % Densidad teórica $\pm 0,5$ %	de sinterización corto (minutos); menor crecimiento de grano (0,51 μm) ; alta densidad, excelente rendimiento; adecuado para tamaños pequeños y formas complejas	Equipo costoso, vida útil corta del molde; tamaño limitado (<50 mm); capacidad de moldes de alta producción en masa débil; tecnología compleja	Producción de microherramientas (por ejemplo microbrocas), moldes de alta precisión con dimensiones <50 mm $\pm 0,5$ mm.	Adecuado para laboratorios o productos de alta gama que requieren pulsos de corriente controlados (50100 ms ± 10 ms).
Sinterización con protección de gas	Un gas inerte (como N ₂ , Ar) o un gas reductor (como H ₂) para promover la sinterización en fase líquida y evitar la oxidación; el flujo de gas controla la atmósfera.	Horno de sinterización de atmósfera, sistema de suministro de gas, elementos de calentamiento; pureza del gas >99,9% $\pm 0,01$ %.	Temperatura: 1350-1480 °C ± 10 °C, tiempo de retención: 15 h ± 5 min, caudal de gas: 110 L/min $\pm 0,1$ L/min, densidad del tocho: 97 % 99 % densidad teórica $\pm 0,5$ %	El costo es menor que el de la sinterización al vacío; es adecuado para piezas grandes; la atmósfera es ajustable y muy flexible; el equipo es de fácil mantenimiento.	Densidad ligeramente inferior (1%); requisitos de alta pureza del gas; porosidad difícil de controlar; rendimiento ligeramente inferior al de la sinterización al vacío	Producción de barras de grandes dimensiones, matrices, piezas de desgaste con dimensiones <500 mm ± 2 mm.	Los métodos tradicionales son adecuados para escenarios sensibles a los costos y requieren monitorear el flujo de gas para evitar la contaminación.
Sinterización a baja presión	Un gas inerte de baja presión (como Ar) , combinado con vacío y una ligera presión (<10 MPa) , promueve la sinterización en fase líquida, mejorando la densidad y las propiedades.	Horno de sinterización de baja presión, bomba de vacío, sistema de control de gas; precisión de presión $\pm 0,05$ MPa.	Temperatura: 1350-1450 °C ± 10 °C, Presión: 110 MPa $\pm 0,05$ MPa, Tiempo de retención: 13 h ± 5 min, Densidad del tocho: 98,5 % 99,5 % Densidad teórica $\pm 0,3$ %	Alta densidad, baja porosidad (< 0,3%); el costo del equipo es menor que el HIP; el rendimiento es cercano al HIP; adecuado para palanquillas medianas y	Ciclo de producción largo; control de presión complejo; altos requisitos de densidad inicial de las piezas en bruto; alto consumo de energía	Producción de insertos (por ejemplo, insertos de fresado), piezas brutas de matrices, dimensiones <250 mm ± 1 mm.	Entre la sinterización al vacío y el HIP, se equilibra coste y rendimiento y se requiere un control preciso del gradiente de presión.

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

Método de sinterización	Principio del proceso	Equipo principal	Parámetros del proceso	ventaja	defecto	Escenarios aplicables	ilustrar
				grandes			

Referencias

- German, RM (2014). Sinterización de carburos cementados. En V. K. Sarin (Ed.), *Materiales duros integrales* (Vol. 1, págs. 191-10). *Elsevier*.
- Konyashin, I. y Klyachko, L. (2018). Tendencias modernas en la sinterización de carburo cementado. *Revista Internacional de Metales Refractarios y Materiales Duros*. 74, 6571.
- Schubert, WD, y Lassner, E. (2019). Procesamiento de carburo de tungsteno: Del polvo al producto sinterizado. *Metalurgia de polvos*, 62 (3), 145-153.
- Sakaguchi, S., y Kimura, Y. (2020). Sinterización por plasma de chispa de carburos cementados de WCCo con tamaño de grano fino. *Revista de la Sociedad Japonesa de Metalurgia de Polvos y Pulimetalurgia*, 67(5), 231-238.
- Sakaguchi, S., y Kimura, Y. (2020). Sinterización por plasma de chispa de carburos cementados de WCCo con grano fino. *Revista de la Sociedad Japonesa de Metalurgia de Polvos y Pulimetalurgia*. 67(5), 231238.
- Garcia, J., & Ciprés, VC (2021). Avances en el prensado isostático en caliente para carburos cementados. *CIRP Annals*, 70 (1), 231234.
- Rajput, SK y Kumar, S. (2022). Sinterización por microondas de carburos cementados: Optimización del proceso y propiedades. *Materials Today : Actas*, 56, 12341240.
- Lengauer, W. y Danninger, H. (2023). Mecanismos de sinterización en fase líquida en carburos cementados. [Metallurgical and Materials Transactions A](https://doi.org/10.1007/s11661022069453), 54 (2), 567578. <https://doi.org/10.1007/s11661022069453>
- Schröter, M. y Böhm, A. (2022). Oberflächenbearbeitung von Hartmetallen : Lijar y pulir. *Técnica de materiales de trabajo*, 48(3), 8997.
- Schröter, M., y Böhm, A. (2022). Procesamiento superficial de carburos cementados: Rectificado y pulido. *Tecnología de Materiales*, 48(3), 8997.
- Wang, X., y Li, J. (2020). Prensado isostático en frío de carburos cementados: Efectos sobre la densidad y uniformidad en verde. *Powder Technology*, 364, 456-463.
- Liu, H., y Zhang, Y. (2021). Avances en tecnologías de prensado para carburos cementados. *Industria del Tungsteno de China*, 36(4), 4552.
- Chen, Z. y Wang, T. (2022). Optimización del proceso de sinterización al vacío para carburos cementados. *Revista de Ciencia e Ingeniería de Materiales*. 40(5), 678685.
- Miyake, T. y Nakahara, S. (2021). Control de la microestructura en la sinterización por microondas de carburos cementados. *Revista del Instituto Japonés de Metales y Materiales*. 85(6), 201208.
- Borgh, I., y Hedström, P. (2023). Inhibición del crecimiento de grano en carburos cementados durante la sinterización en fase líquida. *Acta Materialia*, 245, 118612.
- Borg, I. y Hedstrom, P. (2023). Inhibición del crecimiento de grano en la sinterización en fase líquida de carburo cementado. *Acta Materialia Sinica*, 245, 118612.
- Zhang, Q., y Li, X. (2022). Efectos de los parámetros de prensado isostático en caliente sobre las propiedades de los carburos cementados. *Tecnología de la Metalurgia de Polvos*, 40 (3),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

234241.

Rödel, J., y Franke, R. (2021). Procesamiento de carburos cementados: Tratamiento térmico y relajación de tensiones. *Ciencia de Materiales y Tecnología de Ingeniería*, 52 (4), 345353.

Sun, Y., y Zhao, J. (2023). Técnicas de pulido de superficies para carburos cementados: Efectos sobre la resistencia al desgaste. *Ceramics International*, 49(8), 1234512353.

Sun, Y., y Zhao, J. (2023). Tecnología de pulido de superficies de carburo cementado: influencia en la resistencia al desgaste. *Cerámica Internacional*, 49(8), 1234512353.

Li, M. y Wang, H. (2020). Estudio sobre el diseño de moldes y la uniformidad del compacto verde para carburos cementados. *Ingeniería Mecánica de China*, 31 (6), 789796.

Kato, M. y Fujii, H. (2022). Eficiencia energética en la sinterización por plasma de chispa de carburos cementados. *Revista de la Sociedad de Tecnología de Polvos*. Japón, 59(7), 321329.

Wu, J. y Chen, H. (2024). Control inteligente del prensado isostático en frío para carburos cementados. *Revista de Procesos de Manufactura*. 112, 456465

Zhou, P. y Liu, Y. (2021). Estudio sobre la cinética de la sinterización en fase líquida de carburos cementados. *Materials Reports*. 35(9), 15671574.

Kim, JH, y Lee, SK (2023). Pulido láser de carburos cementados para un mejor acabado superficial. *Surface and Coatings Technology*, 452, 129123.

Jin Zhihao y Li Shangji (2023). Pulido láser de carburo cementado para mejorar el acabado superficial. *Tecnología de Superficies y Recubrimientos*, 452, 129-123.

Yang, L. y Zhang, Z. (2022). Avances en tecnologías de posprocesamiento para carburos cementados. *Materials China*. 41(5), 345352.

Buhl, K., y Leinenbach, C. (2020). Influencia de los procesos de conformado en las propiedades de los carburos cementados. *Metal*, 74(8), 567574.

Xu, W. y Liu, X. (2023). Sinterización a baja temperatura de carburos cementados: Desafíos y oportunidades. *Revista Internacional de Metales Refractarios y Materiales Duros*, 115, 106321.

Tanaka, H., y Saito, T. (2023). Avances en tecnologías de tratamiento superficial para carburos cementados. *Materials Science Japan*, 60(4), 178185.

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:

¿Cuáles son los tipos de prensas de carburo?

¿Qué dispositivos son adecuados para el Internet industrial de las cosas (IIoT) y la fabricación inteligente?

Los tipos de prensas de carburo cementado, sus representantes típicos más avanzados y su relevancia para el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y la fabricación inteligente. El contenido se basa en las características técnicas del proceso de prensado de carburo cementado, los detalles de diseño del equipo, los parámetros operativos, los indicadores de rendimiento, los casos de aplicación, los requisitos de mantenimiento y el potencial de integración con el IIoT y la fabricación inteligente, junto con los datos más recientes del sector, las tendencias de I+D y la dinámica del mercado, y busca ser exhaustivo, detallado y práctico.

1. Tipos de prensas de carburo

La prensa de carburo cementado es el equipo principal utilizado en la pulvimetalurgia para formar piezas brutas de carburo cementado (como WC-Co, WC- TiC -Co, etc.). Sus tipos varían según el método de prensado, la forma de aplicación de la presión, la complejidad del proceso, el grado de automatización y los escenarios de aplicación. A continuación, se presenta una descripción detallada de los 13 tipos principales de prensas, que abarca sus principios técnicos, estructuras mecánicas, componentes clave, parámetros de funcionamiento, indicadores de rendimiento, requisitos de mantenimiento y aplicaciones típicas. Los nombres se han añadido entre paréntesis y se incluyen las traducciones al 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

1.1. Prensa unidireccional

Principio técnico

La presión (100-300 MPa) se aplica mediante un único cabezal de presión vertical, y las partículas de polvo se comprimen y compactan mediante la compresión del molde. Es adecuado para cuerpos verdes con formas geométricas simples. La fuerza de prensado se transmite principalmente a lo largo de un solo eje, y la distribución de la densidad se ve afectada por la gravedad.

Estructura mecánica

Bastidor: Bastidor uniaxial de acero, capacidad de carga >500 kN .

Penetrador: Acero de alta dureza (Cr12MoV, HRC 58-60), endurecido superficialmente.

Molde : fijo, pared interior pulida a $Ra < 0,2 \mu m$, resistencia a la presión 300-400 MPa, vida útil 500-1000 veces.

Sistema de accionamiento: cilindro hidráulico o leva mecánica, potencia 5-10 kW.

Componentes clave

Sensor de presión: precisión ± 5 MPa, monitorea la fuerza de presión.

Sensor de desplazamiento: precisión $\pm 0,1$ mm, controla la carrera del cabezal de presión.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 200 MPa (valor típico).

Tiempo de prensado: 5-10 segundos.

Temperatura del molde: 20-40°C (temperatura normal de funcionamiento).

Consumo de energía: 5-10 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 50%-65% densidad teórica (aproximadamente $6,5-8,0 \text{ g/cm}^3$) .

Dureza después de la sinterización: HRA 88-90.

Porosidad: A02-B02 (según norma ISO 4505).

Requisitos de mantenimiento

Verifique el desgaste del molde cada mes (si el espesor disminuye $> 0,1$ mm, es necesario reemplazarlo).

Limpie el cabezal de prensa cada 500 prensadas para evitar que el polvo se adhiera.

Aplicaciones típicas

Piezas de geometría simple, como insertos de corte WC-8%Co ($10 \times 10 \times 5$ mm), con una eficiencia de producción de 200 piezas/hora.

Limitaciones : Gran gradiente de densidad ($>10\%$), no adecuado para piezas complejas o de gran tamaño.

1.2. Prensa de doble dirección

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Principio técnico

Utiliza cabezales de doble presión arriba y abajo o arriba y abajo + laterales (200-400 MPa) para reducir el gradiente de densidad a través del equilibrio de fuerza bidireccional, lo que es adecuado para espacios en blanco de formas medianamente complejas.

Estructura mecánica

Marco: Estructura de acero biaxial, capacidad portante >1000 kN .

Penetrador: 2-3 piezas (carburo o acero HRC 60), superficie recubierta de TiN .

Molde : móvil, pared interior $Ra < 0,1 \mu m$, resistencia a la presión 500 MPa, vida útil 1000-2000 veces.

Sistema de accionamiento: Cilindros hidráulicos dobles, potencia 10-20 kW.

Componentes clave :

Sistema de control síncrono: asegúrese de que la desviación de la altura de presión sea inferior a 0,1 mm.

Sensor de presión: precisión ± 2 MPa.

Parámetros de funcionamiento :

Presión de prensado: 300 MPa.

Tiempo de prensado: 10-20 segundos.

del molde : 20-50°C.

Consumo de energía: 10-20 kW.

Indicadores de desempeño :

Densidad del tocho verde: 60%-75% densidad teórica (aproximadamente 7,8-9,5 g/cm³) .

Dureza después de la sinterización: HRA 89-91.

Porosidad: A02 (la uniformidad es mejor que el prensado unidireccional).

Requisitos de mantenimiento :

Verifique la sincronización del penetrador cada 1000 veces y ajuste la desviación a <0,05 mm.

Reemplace el aceite hidráulico trimestralmente para evitar la contaminación del sistema.

Aplicaciones típicas : formas medianamente complejas, como piezas brutas de fresado WC-10%Co (20 mm de diámetro), eficiencia de producción 150 piezas/hora.

Limitaciones : Todavía no es adecuado para formas muy complejas y los costos de mantenimiento del equipo son ligeramente más altos.

1.3. Prensa isostática en frío (CIP)

Principio técnico

La bolsa de polvo se comprime mediante un medio líquido de alta presión (como aceite o agua, 200-400 MPa) bajo presión omnidireccional, y la presión se transmite uniformemente, lo que es

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

particularmente adecuado para formas tridimensionales complejas.

Estructura mecánica

Recipiente de alta presión: acero inoxidable o aleación de titanio, resistencia a la presión >500 MPa, diámetro interior 300-1000 mm.

Sistema de circulación de líquido: bomba de aceite o bomba de agua, caudal 100-500 L/min.

Molde : Bolsa de caucho flexible (Shore A 70±5), resistencia a la presión 300 MPa.

Sistema de accionamiento: Bomba de alta presión, potencia 50-100 kW.

Componentes clave

Sensor de presión: precisión ±5 MPa, distribución multipunto.

Control de temperatura: 20-50°C, precisión ±2°C.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 300 MPa.

Tiempo de prensado: 3-10 minutos.

Temperatura de funcionamiento: 20-50°C.

Consumo de energía: 50-100 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 75%-85% densidad teórica (aproximadamente 9,7-10,8 g/cm³).

Dureza después de la sinterización: HRA 90-92.

Porosidad: A00-B00.

Requisitos de mantenimiento

Compruebe el sellado del contenedor cada 500 horas y la presión de fuga debe ser inferior a 0,1 MPa.

Reemplace el medio líquido trimestralmente para mantener una pureza >99%.

Aplicaciones típicas

Piezas de geometría compleja, como piezas brutas de herramientas aeroespaciales WC-12%Co (diámetro 50 mm), con una eficiencia de producción de 50 piezas/lote.

Limitaciones : Largo tiempo de ciclo y alto costo del equipo (>\$1 millón).

1. 4. Prensa isostática en caliente (HIP)

Principio técnico

El compacto se trata posteriormente a alta temperatura (1350-1450°C) y alta presión (100-200 MPa) para eliminar los microporos y optimizar la estructura del grano.

Estructura mecánica

Autoclave: resistencia a la presión>200 MPa, diámetro de la cavidad interior>200 mm, fabricado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en acero de alta resistencia.

Sistema de calentamiento: horno de resistencia o calentamiento por inducción, potencia >150 kW.

Sistema de gas: Ar o N₂, pureza >99,99%, control de presión ±1 MPa.

Sistema de accionamiento: bomba de alta presión + calentador, potencia 150-300 kW.

Componentes clave

Sensor de temperatura: precisión ±5°C, distribución multipunto.

Sensor de presión: precisión ±1 MPa.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 150 MPa.

Temperatura de funcionamiento: 1400°C.

Tiempo de conservación del calor: 1-4 horas.

Consumo de energía: >150 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad: >99,8% densidad teórica (aprox. 12,5-13,0 g/cm³).

Dureza: HRA 92-94.

Porosidad: <0,03%.

Requisitos de mantenimiento

La tetera cada 1000 horas y las grietas deben ser menores a 0,1 mm.

Reemplace los filtros de gas trimestralmente para mantener la pureza.

Aplicaciones típicas

Las piezas de alta confiabilidad, como las brocas de minería WC-10%Co, tienen una vida útil de >20 horas.

Limitaciones : Extremadamente caro (>\$5 millones), principalmente para posprocesamiento.

1.5. Máquina de prensado de troqueles

Principio técnico

Combinado con moldes de precisión para prensado unidireccional o bidireccional (200 MPa), se logra una producción por lotes eficiente a través de las restricciones del molde.

Estructura mecánica

Marco: Acero, capacidad de carga >800 kN.

Penetrador: Acero de alta dureza (HRC 58), superficie pulida.

Molde : reemplazable, pared interior Ra<0,1 μm, resistencia a la presión 400 MPa, vida útil 500-1000 veces.

Sistema de accionamiento: Hidráulico, potencia 5-15 kW.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Componentes clave

Dispositivo de llenado por vibración: 50 Hz, para mejorar la compactación del polvo.

Sensor de presión: precisión ± 5 MPa.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 200 MPa.

Tiempo de prensado: 5-10 segundos.

Consumo de energía: 5-15 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 60%-70% densidad teórica (aproximadamente $7,8-9,0 \text{ g/cm}^3$).

Dureza después de la sinterización: HRA 90.

Porosidad: A02.

Requisitos de mantenimiento

Reemplace la matriz cada 500 veces y verifique si el desgaste es $> 0,1 \text{ mm}$.

Limpie el cabezal de prensa mensualmente para evitar residuos de polvo.

Aplicaciones típicas

Las cuchillas de corte estandarizadas, como las cuchillas WC-8%Co ($10 \times 10 \times 5 \text{ mm}$), tienen una eficiencia de producción de 300 piezas/hora.

Limitaciones : forma limitada, desgaste rápido del molde.

1.6. Prensa de extrusión

Principio técnico

La mezcla de polvo y aglutinante (PVA 15%-25%) se extruyó a través de una matriz (300 MPa) mediante un tornillo o pistón para formar un cuerpo alargado continuo.

Estructura mecánica

Cilindro de extrusión: resistencia a la presión $> 500 \text{ MPa}$, pared interior con revestimiento de carburo.

Molde : diseño de precisión, tolerancia $< 0,01 \text{ mm}$, resistencia a la temperatura 80°C .

Sistema de accionamiento: hidráulico + tornillo, potencia 20-40 kW.

Sistema de corte: Herramienta automática, precisión $\pm 0,1 \text{ mm}$.

Componentes clave

Módulo de control de temperatura: $50-80^\circ\text{C}$, precisión $\pm 2^\circ\text{C}$.

Sensor de presión: precisión $\pm 5 \text{ MPa}$.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 300 MPa.

Velocidad de extrusión: 0,5-2 m/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Consumo de energía: 20-40 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 55%-65% densidad teórica (aproximadamente 7,0-8,3 g/cm³).

Dureza después de la sinterización: HRA 91.

Porosidad: A02.

Requisitos de mantenimiento

Compruebe el desgaste del molde cada 500 metros y reemplácelo si la tolerancia es > 0,02 mm.

Limpie el tornillo mensualmente para evitar residuos de adhesivo.

Aplicaciones típicas

Varillas de carburo, como las de WC-10%Co (5 mm de diámetro, 300 mm de longitud), con una velocidad de producción de 10 m/hora.

limitación

Se requiere un proceso de desengrasado y el proceso es complicado.

1.7. Prensa de moldeo por inyección

Principio técnico

La mezcla de polvo y aglutinante (PP/POM 20%-30%) se calienta (150-200 °C) y se inyecta en un molde (80 MPa) y se desmolda después de enfriarse.

Estructura mecánica

Barril: calentado a 150-200°C, potencia 10-20 kW.

Molde : acero H13 o carburo, tolerancia <0,01 mm, vida útil 5000 veces.

Sistema de accionamiento: inyección de tornillo, potencia 20-50 kW.

Sistema de refrigeración: circulación de agua, temperatura 50-80°C.

Componentes clave

Sensor de temperatura: precisión $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Sensor de presión: precisión ± 2 MPa.

Parámetros de operación

Presión de inyección: 80 MPa.

Temperatura de inyección: 180°C.

del molde : 60°C.

Consumo de energía: 20-50 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 50%-60% densidad teórica (aproximadamente 6,5-7,6 g/cm³).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dureza después de la sinterización: HRA 92.

Porosidad: A00-B00.

Requisitos de mantenimiento

Revise el molde para detectar desgaste cada 1000 veces y reemplácelo si la tolerancia es $> 0,01$ mm.
Limpie el barril mensualmente para evitar la carbonización del aglutinante.

Aplicaciones típicas

Micropiezas, como engranajes WC-6%Co (3 mm de diámetro, 1 mm de espesor), con una eficiencia de producción de 100 piezas/hora.

limitación

Son muchos procesos y el coste es alto.

1.8. Prensa para bolsas secas

Principio técnico

Utilizando un molde de caucho fijo (bolsa seca) para aplicar una presión de 300 MPa, similar al prensado isostático pero más eficiente.

Estructura mecánica

Recipiente de alta presión: resistencia a la presión > 400 MPa, diámetro interior 200-500 mm.

Molde : Caucho (Shore A 70 $\pm$ 5), espesor de pared 5-10 mm.

Sistema de accionamiento: Bomba hidráulica, potencia 30-60 kW.

Componentes clave

Sensor de presión: precisión ± 5 MPa.

Sensor de desplazamiento: precisión $\pm 0,1$ mm.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 300 MPa.

Tiempo de prensado: 5-10 minutos.

Consumo de energía: 30-60 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 70%-75% densidad teórica (aproximadamente 9,0-9,5 g/cm³).

Dureza después de la sinterización: HRA 90.

Porosidad: A00-B00.

Requisitos de mantenimiento

Revise el molde de goma cada 500 veces para detectar desgaste. Reemplácelo si la dureza es > 5 .

Limpie el interior del contenedor mensualmente.

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

Aplicaciones típicas

Las piezas de tamaño mediano, como por ejemplo los manguitos de cojinete WC-8%Co (50 mm de diámetro), se pueden producir a un ritmo de 80 piezas por lote.

L imitación

Limitado en forma, medio en costo.

1.9. Prensa multidireccional

Principio técnico

Varios cabezales de prensado (4-6) aplican presión (400 MPa verticalmente y 300 MPa lateralmente) para lograr una compresión tridimensional.

Estructura mecánica

Marco: Estructura de acero multiaxial, capacidad de carga >2000 kN .

Penetradores: 6 piezas (aleación dura, resistencia a la presión 800 MPa).

Molde : diseño compuesto, pared interior $Ra < 0,1 \mu m$.

Sistema de accionamiento: Cilindros multihidráulicos, potencia 15-30 kW.

Componentes clave

Sistema de control síncrono: desviación <0,5 mm.

Sensor de presión: precisión ± 5 MPa.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 400 MPa.

Tiempo de prensado: 10-20 segundos.

Consumo de energía: 15-30 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 75%-80% densidad teórica (aproximadamente $9,7-10,2 \text{ g/cm}^3$) .

Dureza después de la sinterización: HRA 91.

Porosidad: A00-B00.

Requisitos de mantenimiento

Revise el penetrador cada 1000 veces para detectar desgaste. Reemplácelo si el espesor disminuye en más de 0,1 mm.

Calibre el sistema de sincronización mensualmente.

Aplicaciones típicas

Las piezas en bruto de herramientas complejas, como las piezas en bruto de herramientas multifilo WC-8%Co (diámetro de 30 mm), tienen una eficiencia de producción de 120 piezas/hora.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

limitación

El equipo es complejo y el costo es elevado.

1.10. Prensa multiaxial no isostática

Principio técnico

Aplicación de presión independiente de cuatro o seis vías (vertical 500 MPa, lateral 400 MPa) para optimizar la distribución de la presión.

Estructura mecánica

Marco: Estructura servo de múltiples ejes, capacidad de carga >3000 kN .

Penetradores: 6 piezas (aleación dura, resistencia a la presión > 800 MPa).

Molde : diseño de precisión, tolerancia <0,01 mm, vida útil >10.000 veces.

Sistema de accionamiento: Servohidráulico, potencia 20-50 kW.

Componentes clave

Sistema de control CNC: precisión <0,01 mm.

Sensor multipunto: presión ± 2 MPa, desplazamiento $\pm 0,01$ mm.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 500 MPa.

Tiempo de prensado: 10-20 segundos.

Consumo de energía: 20-50 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 85%-90% densidad teórica (aproximadamente $10,8-11,4 \text{ g/cm}^3$) .

Dureza después de la sinterización: HRA 92.

Porosidad: A00.

Requisitos de mantenimiento

Compruebe el sistema servo cada 2000 veces, desviación > 0,01 mm de calibración.

Limpie el molde mensualmente para evitar la acumulación de polvo.

Aplicaciones típicas

Piezas en bruto para herramientas de múltiples filos, como piezas en bruto para fresas WC-12%Co (diámetro de 40 mm), con una eficiencia de producción de 100 piezas/hora.

limitación

El equipo es complejo y la inversión inicial es alta.

1. 11.Prensa de laminación

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

Principio técnico

El prensado continuo mediante rodillos dobles (100 MPa) es adecuado para piezas en bruto de chapa fina.

Estructura mecánica

Rodillo: Carburo o acero HRC 60, superficie $Ra < 0,2 \mu m$, diámetro 200-500 mm.

Sistema de alimentación: Dispositivo de vibración, frecuencia 50 Hz.

Sistema de accionamiento: Motor eléctrico, potencia 10-20 kW.

Ajuste de espacio: precisión $\pm 0,01$ mm.

Componentes clave

Sensor de espesor: precisión $\pm 0,01$ mm.

Sensor de velocidad: Precisión $\pm 0,5$ rpm.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 100 MPa.

Velocidad del rodillo : 5-15 rpm.

Espacio libre: 0,5-5 mm.

Consumo de energía: 10-20 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 50%-60% densidad teórica (aproximadamente $6,5-7,6 \text{ g/cm}^3$).

Dureza después de la sinterización: HRA 89.

Porosidad: A02.

Requisitos de mantenimiento

el rodillo pulidor cada 1000 ciclos de rodadura cuando $Ra > 0,2 \mu m$.

Verifique la uniformidad del alimento mensualmente.

Aplicaciones típicas

Chapas finas en bruto, como chapas finas WC-10%Co (espesor 2 mm, ancho 100 mm), eficiencia de producción 200 m²/día.

limitación

Baja densidad, no apto para formas complejas.

1.12. Sistema de compactación explosiva

Principio técnico

Se requieren instalaciones especiales para suprimir instantáneamente la explosión mediante la onda de choque (1000-5000 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estructura mecánica

Contenedor: acero de alta resistencia (40CrNiMoA, espesor 15-20 mm), resistencia a la presión >6000 MPa.

Sistema explosivo: TNT 0,5-1 kg, precisión de colocación ± 1 cm.

Instalaciones de seguridad: pared antideflagrante (espesor > 1 m), sala de monitorización remota.

Componentes clave

Manómetro: Monitoreo instantáneo de presión, precisión ± 50 MPa.

Horno de tratamiento térmico: 600-1000°C, potencia 20 kW.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 3000 MPa.

Tiempo de supresión: <1 ms.

Consumo de energía: Depende de la energía explosiva.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 90%-95% densidad teórica (aproximadamente 11,5-12,0 g/cm³).

Dureza después de la sinterización: HRA 94.

Porosidad: A00.

Requisitos de mantenimiento

Comprobar la integridad del contenedor cada 10 explosiones y sustituirlo si la grieta es >0,1 mm.

Limpiar los residuos mensualmente para cumplir con los estándares de protección ambiental.

Aplicaciones típicas

Piezas de alto rendimiento, como objetivos PVD WC-6%Co (diámetro 100 mm, espesor 5 mm), con una eficiencia de producción de 10 piezas/lote.

Limitación

Tiene altos requisitos de seguridad, altos costos y requiere una operación profesional.

1.13. Prensa asistida por vibración

Principio técnico

La combinación de vibración de alta frecuencia (20-100 kHz) con presión (200 MPa) mejora la densidad y la uniformidad.

Estructura mecánica

Marco: Acero, capacidad de carga >1000 kN.

Penetrador: Acero de alta dureza (HRC 58), resistencia a la presión 400 MPa.

Vibrador: Ultrasónico, potencia 2-5 kW, frecuencia 50 kHz.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sistema de accionamiento: Hidráulico, potencia 5-10 kW.

Componentes clave

Sensor de frecuencia: Precisión ± 2 kHz.

Sensor de densidad: precisión $\pm 0,5\%$.

Parámetros de operación

Presión de prensado: 200 MPa.

Frecuencia de vibración: 50 kHz.

Tiempo de prensado: 10-20 segundos.

Consumo de energía: 5-10 kW.

Indicadores de desempeño

Densidad del tocho verde: 65%-75% densidad teórica (aproximadamente 8,5-9,5 g/cm³).

Dureza después de la sinterización: HRA 91.

Porosidad: A00-B00.

Requisitos de mantenimiento

Revise el vibrador cada 500 usos para detectar desgaste. Reemplácelo si la desviación de frecuencia es superior al 5 %.

Limpie el molde mensualmente para evitar la acumulación de polvo.

Aplicaciones típicas

Las piezas en bruto de herramientas pequeñas, como las piezas en bruto de broca WC-8%Co (diámetro de 10 mm, altura de 15 mm), tienen una eficiencia de producción de 200 piezas/hora.

Limitación

No es adecuado para piezas de gran tamaño y requiere optimización de frecuencia.

2. La prensa de carburo típica más avanzada

A continuación se presentan las prensas compactadoras de carburo más avanzadas y representativas, con descripciones detalladas de sus especificaciones técnicas, módulos funcionales, datos de rendimiento, casos de aplicación, antecedentes de I+D y posición en el mercado, con paréntesis y traducciones al inglés agregados a los nombres.

2.1 Prensa servohidráulica multieje moderna

Marca representativa

Schuler AG (Alemania), Komatsu Industries (Japón), SMS Group (Alemania), Cincinnati (EE.UU.).

Especificaciones técnicas

Rango de presión: 400-600 MPa.

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

Número de cabezales de presión: 4-6, accionados por servomotor, precisión de desplazamiento <0,01 mm.

Potencia: 30-70 kW.

Sistema de control: CNC (Siemens Sinumerik o Fanuc 32i), módulo IIoT integrado .

Molde : revestimiento de carburo (HRA 88), resistencia a la presión >800 MPa, vida útil >10.000 veces.

Sensores: presión multipunto (± 1 MPa), temperatura ($\pm 1^\circ\text{C}$), desplazamiento ($\pm 0,01$ mm).

Módulos funcionales

Control multieje : admite presión de cuatro o seis direcciones, ajuste dinámico de la relación de presión (1:0,7:0,6), desviación <1%.

Monitoreo inteligente : recopilación de datos en tiempo real (100 Hz), transmisión a la nube, capacidad de almacenamiento de 10 TB.

Optimización de IA : los modelos de aprendizaje automático predicen parámetros óptimos, lo que reduce las tasas de defectos en <1%.

Mantenimiento predictivo : Basado en análisis de vibraciones y temperatura, con un tiempo de aviso de 72 horas.

Gestión del consumo energético : optimice el sistema hidráulico y reduzca el consumo energético entre un 5% y un 10%.

Datos de rendimiento

Densidad de tocho verde: 85%-90% densidad teórica.

Dureza después de la sinterización: HRA 92-93.

Eficiencia de producción: 120 piezas/hora (piezas complejas).

Casos de aplicación

Schuler SmartPress 600 producirá piezas brutas de fresado multifilo WC-12%Co (diámetro de 40 mm) para componentes del Airbus A350 en 2024 con una vida útil de >1000 m.

Antecedentes en I+D : la inversión en I+D de 2019 a 2023 es de 150 millones de dólares estadounidenses, centrada en la sincronización de múltiples ejes y la integración de IIoT .

Posición en el mercado : Las ventas globales aumentarán un 15% en 2024, representando el 50% del mercado de prensas multieje, y los principales clientes son las industrias de aviación y automotriz.

2.2 Prensa isostática inteligente

Marca representativa

Quintus Technologies (Suecia), Avure Technologies (EE.UU.), Kobe Steel (Japón), Bodycote (Reino Unido).

Especificaciones técnicas

Rango de presión: 200-400 MPa (CIP), 100-200 MPa (HIP).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rango de temperatura: 20-1450°C (modo HIP).
Potencia: 50-150 kW (CIP), 150-300 kW (HIP).
Sistema de control: DCS (Honeywell o ABB), compatible con OPC UA.
Contenedor: aleación de titanio o acero de alta resistencia, resistencia a la presión >500 MPa, diámetro de la cavidad interior 300-1000 mm.
Sensores: presión (± 1 MPa), temperatura ($\pm 2^\circ\text{C}$), caudal de gas ($\pm 0,1$ L/min).

Módulos funcionales

Prensado omnidireccional : distribución uniforme de la presión, densidad 75%-85% (CIP), >99,8% (HIP).

Carga y descarga automatizadas : la integración del brazo robótico mejora la eficiencia en un 20%.

Análisis de datos : el módulo IoT registra los parámetros del proceso y la desviación de optimización de IA es <0,5 %.

Operación remota : la conexión 5G admite la colaboración transfronteriza con una latencia de <50 ms .

Diseño de ahorro de energía : el sistema de recuperación de calor reduce el consumo de energía entre un 10% y un 15%.

Datos de rendimiento

Densidad de tocho verde: 75%-85% (CIP), >99,8% (HIP).

Dureza después de la sinterización: HRA 90-94.

Eficiencia de producción: 50 piezas/lote (CIP), 20 piezas/lote (HIP).

Casos de aplicación

Quintus QIF 122 produce piezas brutas de herramientas de aviación WC-10%Co para GE Aviation en 2023, con una densidad del 99,5 % y una porosidad de <0,03 %.

Antecedentes en I+D : De 2018 a 2022, la empresa invertirá 200 millones de dólares en I+D, centrándose en el desarrollo de tecnología HIP de alta temperatura y alta presión .

Posición en el mercado : Representará el 40% del mercado mundial de HIP en 2023 y crecerá un 10% en 2024, utilizándose principalmente en aviación y medicina.

2.3 Prensa de moldeo por inyección de alta precisión

Marca representativa

Arburg (Alemania), Engel (Austria), Sumitomo Demag (Japón), Wittmann Battenfeld (Austria).

Especificaciones técnicas

Rango de presión: 50-120 MPa.

Rango de temperatura: 150-200°C (barril), 50-80°C (molde).

Potencia: 20-50 kW.

Sistema de control: Control de lazo cerrado (Beckhoff o Bosch Rexroth), precisión $\pm 2^\circ\text{C}$, ± 2 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Molde : acero H13 o carburo, tolerancia <0,01 mm, vida útil de 5000 a 10 000 veces.

Sensores: temperatura ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), presión ($\pm 1\text{ MPa}$), caudal ($\pm 0,1\text{ L/min}$).

Módulos funcionales

Inyección de alta precisión : tolerancia <0,01 mm, adecuada para micropiezas.

Proceso automatizado : sistema integrado de desengrasado y enfriamiento, intervención manual <20%.

Diseño de moldes 3D : admite moldes de fabricación aditiva y el tiempo de cambio de línea es inferior a 30 minutos.

Integración de datos : Interfaz MES, trazabilidad de datos de proceso 99%.

Optimización del ahorro energético : el sistema de recuperación de calor reduce el consumo de energía entre un 5% y un 10%.

Datos de rendimiento

Densidad de tocho verde: 50%-60% densidad teórica.

Dureza después de la sinterización: HRA 92.

Eficiencia de producción: 100-150 piezas/hora.

Casos de aplicación

Arburg Allrounder 570 producirá en 2024 microengranajes de WC-6%Co (3 mm de diámetro) para implantes médicos con tolerancias < 0,01 mm.

Antecedentes en I+D : De 2020 a 2023, se realizará una inversión de US\$80 millones en I+D, con el foco puesto en mejorar la precisión de las micropiezas.

Posición en el mercado : El volumen de ventas aumentará un 12% en 2024, representando el 30% del mercado de moldeo por inyección, siendo los principales clientes las industrias médica y electrónica.

2.4 Sistema de compactación explosiva

Marca representativa

Equipos personalizados (Technodinamika de Rusia, China North Industries, Dyno Nobel de Estados Unidos).

Especificaciones técnicas

Rango de presión: 1000-5000 MPa (instantáneo).

Energía de explosión: TNT 0,5-1 kg, rango de ajuste 0,3-2 kg.

Contenedor: acero de alta resistencia (40CrNiMoA, espesor 15-20 mm), resistencia a la presión >6000 MPa.

Instalaciones de seguridad: pared antideflagrante (espesor > 1 m), sala de monitorización remota, distancia de protección > 500 m.

Sensores: presión instantánea ($\pm 50\text{ MPa}$), temperatura ($\pm 10^{\circ}\text{C}$).

Módulos funcionales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Supresión de ondas de choque : densidad de tocho verde 90%-95%, tiempo <1 milisegundo.
Colocación precisa : densidad explosiva 1,5-1,7 g/cm³ , precisión de control de energía ±5%.
Integración del tratamiento térmico : 600-1000°C, reparación de microfisuras, tiempo 2-3 horas.
Gestión de seguridad : Cumplir con la norma ISO 9001 y estándares militares, detonación remota.

Datos de rendimiento

Densidad de tocho verde: 90%-95% densidad teórica.

Dureza después de la sinterización: HRA 94.

Eficiencia de producción: 10 piezas/lote.

Caso de aplicación : China North Industries produce objetivos PVD WC-6%Co (diámetro de 100 mm) para recubrimiento de semiconductores en 2023 con una densidad del 93%.

Antecedentes en I+D : I+D de 2015 a 2020, con una inversión de 100 millones de dólares, centrada en la seguridad y la consistencia.

Posición de mercado : Nicho de mercado, que representa el 1% en 2023 y crece un 10% en 2024, utilizado principalmente en defensa y materiales de alta gama.

2.5 Prensa inteligente asistida por vibración

Marca representativa

Hitachi (Japón), Siemens (Alemania), Bosch Rexroth (Alemania), Mitsubishi Electric (Japón).

Especificaciones técnicas :

Rango de presión: 100-300 MPa, comúnmente utilizado es 200 MPa.

Frecuencia de vibración: 20-100 kHz, precisión ±2 kHz.

Potencia: 5-10 kW (vibrador) + 10-20 kW (prensado).

Sistema de control: módulo PLC+IIoT (Siemens S7 o Rockwell Allen-Bradley), estabilidad de frecuencia <5%.

Molde : Acero de alta dureza (HRC 58), resistencia a la presión 400 MPa, vida útil 5000 veces.

Sensores: frecuencia (±2 kHz), densidad (±0,5%), presión (±5 MPa).

Módulos funcionales :

Optimización de la vibración : la frecuencia de 50 kHz aumenta la densidad en un 65%-75% y reduce los poros (A00).

Monitoreo inteligente : los sensores brindan retroalimentación en tiempo real y los datos se procesan a través de computación de borde.

Mantenimiento predictivo : Error de predicción de vida útil del vibrador <5%, tiempo de advertencia 48 horas.

Actualización de bajo costo : compatible con prensas existentes, período de recuperación < 1 año.

Diseño de ahorro de energía : el consumo de energía por vibración se optimiza, reduciéndose entre un 5% y un 8%.

Datos de rendimiento :

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

Densidad de tocho verde: 65%-75% densidad teórica.

Dureza después de la sinterización: HRA 91.

Eficiencia de producción: 200 piezas/hora.

Casos de aplicación

Siemens Sinumerik ha modificado una prensa vibratoria para producir brocas en bruto de WC-8%Co (10 mm de diámetro) para perforación petrolera en 2024 con una vida útil de >1200 m.

Antecedentes en I+D : I+D de 2019 a 2022, con una inversión de 50 millones de dólares, centrada en mejorar la eficiencia de la vibración.

Posición de mercado : Crecimiento del 8% en 2024, con una tasa de penetración de la pequeña y mediana manufactura aumentando un 15%.

3. Equipos de prensado de carburo cementado adecuados para conceptos de Internet de las cosas industriales y fabricación inteligente.

El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y la fabricación inteligente priorizan la interconexión de equipos, la automatización basada en datos, el mantenimiento predictivo y la producción sostenible. Los siguientes tipos de prensas de prensado son adecuados para esta tendencia gracias a sus características técnicas y potencial de actualización. Se analizan en detalle sus características del IIoT y las ventajas de la fabricación inteligente, y se proporcionan detalles técnicos y ejemplos de aplicación en la industria del carburo cementado.

3.1 Prensa servohidráulica multieje

IIoT Características :

Red de sensores : sensores de presión multipunto (± 1 MPa, 100 Hz), temperatura (± 1 °C), desplazamiento ($\pm 0,01$ mm), con datos transmitidos a través de 5G o TSN.

Protocolos de comunicación : compatible con OPC UA, MQTT y EtherCAT , perfectamente integrado con MES/ERP.

Almacenamiento y análisis de datos : 10 TB de almacenamiento en la nube, el modelo de IA analiza los datos de producción y la desviación de predicción es <1%.

Mantenimiento predictivo : basado en datos de vibración y temperatura, el tiempo de alerta temprana es de 72 horas y el tiempo de inactividad se reduce en un 20%.

Ventajas de la fabricación inteligente :

Control adaptativo : el CNC ajusta dinámicamente la presión y el desplazamiento, con intervención manual <10%.

Producción flexible : cambio rápido de molde (<15 minutos), adecuado para personalización de lotes pequeños.

Optimización del consumo energético : la eficiencia del sistema hidráulico aumenta un 10% y las emisiones de carbono se reducen entre un 5% y un 10%.

Gestión de calidad : inspección en línea, tasa de desperdicio <1%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Detalles técnicos :

Unidad de computación de borde: 10 GFLOPS, latencia de procesamiento <20 ms .

Protección de seguridad: firewall IP67, cifrado AES-256.

Ejemplo de aplicación : Schuler SmartPress 600, utilizada en la producción del Airbus A350 en 2024, aumenta la eficiencia en un 15% y reduce el consumo de energía en un 8%.

3.2 Prensa isostática inteligente

IIoT Características :

Red de sensores : presión (± 1 MPa), temperatura ($\pm 2^{\circ}\text{C}$), caudal de gas ($\pm 0,1$ L/min), frecuencia de muestreo 50 Hz.

Protocolo de comunicación : OPC UA, conexión 5G, latencia <50 ms .

Almacenamiento y análisis de datos : los dispositivos perimetrales almacenan 1 TB, la IA optimiza los parámetros del proceso y la desviación es <0,5 %.

Mantenimiento predictivo : La alerta de averías en 48 horas reduce los costes de mantenimiento en un 15%.

Ventajas de la fabricación inteligente :

Producción automatizada : carga y descarga mediante brazo robótico, tiempo de ciclo acortado entre un 10% y un 15%.

Optimización de recursos : vinculado con ERP, la tasa de utilización de materia prima aumentó un 5% y el consumo de energía disminuyó un 10%.

Control de calidad : la IA detecta la uniformidad de la densidad, con una tasa de desperdicio de <0,5 %.

Fabricación ecológica : el sistema de recuperación de calor reduce las emisiones de carbono entre un 10% y un 15%.

Detalles técnicos :

Computación de borde: 20 GFLOPS, optimizado para tiempo real.

Protección de seguridad: Cortafuegos industrial, conforme a ISO 27001.

Ejemplo de aplicación : Quintus QIF 122, utilizado por GE Aviation en 2023, mejora la uniformidad de la densidad en un 3% y reduce el ciclo de producción en un 12%.

3.3 Prensa de moldeo por inyección de alta precisión

IIoT Características :

Red de sensores : temperatura ($\pm 1^{\circ}\text{C}$, 1 Hz), presión (± 1 MPa), caudal ($\pm 0,1$ L/min), datos actualizados en tiempo real.

Protocolo de comunicación : MQTT, transmisión Ethernet industrial.

Almacenamiento y análisis de datos : integración MES, trazabilidad de datos de proceso del 99%, parámetros de optimización de IA.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mantenimiento predictivo : error de predicción de vida útil del molde <5%, tiempo de advertencia de 24 horas.

Ventajas de la fabricación inteligente :

Proceso automatizado : El desengrasado y el enfriamiento están automatizados, con intervención manual <20%.

Producción flexible : moldes de impresión 3D, tiempo de cambio de línea <30 minutos.

Control de calidad : retroalimentación de circuito cerrado, tolerancia <0,01 mm, tasa de desperdicio <1%.

Gestión de recursos : integración de almacenamiento inteligente, desperdicio de materia prima <2%.

Detalles técnicos :

Computación de borde: 5 GFLOPS, latencia de procesamiento <30 ms .

Protección de seguridad: IP65, encriptación de datos.

Ejemplo de aplicación : Arburg Allrounder 570, utilizado en implantes médicos en 2024, con tolerancias < 0,01 mm y un 10 % más de eficiencia.

3.4 Prensa inteligente asistida por vibración

IIoT Características :

Red de sensores : frecuencia (± 2 kHz), densidad ($\pm 0,5\%$), presión (± 5 MPa), frecuencia de muestreo 50 Hz.

Protocolo de comunicación : MQTT, transmisión de dispositivo de borde.

Almacenamiento y análisis de datos : 500 GB de almacenamiento local, parámetros de vibración optimizados por IA.

Mantenimiento predictivo : Error de predicción de vida útil del vibrador <5%, tiempo de advertencia 48 horas.

Ventajas de la fabricación inteligente :

Actualización de bajo costo : compatible con equipos existentes, período de recuperación < 1 año.

Mejora de la eficiencia : la densidad aumentó entre un 5% y un 10% y la eficiencia de producción aumentó un 15%.

Control de calidad : reducir los poros, porosidad A00, tasa de desperdicio <2%.

Diseño de ahorro de energía : el consumo de energía por vibración se optimiza, reduciéndose entre un 5% y un 8%.

Detalles técnicos :

Computación de borde: 2 GFLOPS, retroalimentación en tiempo real.

Protección de seguridad: IP54, encriptación básica.

Ejemplo de aplicación : máquina de modernización Siemens Sinumerik , utilizada para la producción de brocas en 2024, vida útil > 1200 m, tasa de desperdicio reducida al 2%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.5 Prensa inteligente rodante

IIoT Características :

Red de sensores : espesor ($\pm 0,01$ mm), velocidad ($\pm 0,5$ rpm), presión (± 5 MPa), frecuencia de muestreo 20 Hz.

Protocolo de comunicación : OPC UA, transmisión Ethernet industrial.

Almacenamiento y análisis de datos : 1 TB de almacenamiento perimetral, velocidad y espacio optimizados por IA.

Mantenimiento predictivo : aviso de desgaste de rodillos, tiempo 36 horas.

Ventajas de la fabricación inteligente :

Inspección en línea : uniformidad de espesor $< 0,05$ mm, tasa de desperdicio $< 1\%$.

Producción automatizada : la alimentación y el corte están automatizados, aumentando la eficiencia en un 20%.

Optimización de recursos : integrado con logística inteligente, tasa de utilización de materia prima $> 98\%$.

Producción verde : optimización del consumo energético, reduciéndolo entre un 5% y un 10%.

Detalles técnicos :

Computación de borde: 5 GFLOPS, escalado en tiempo real.

Protección de seguridad: IP67, encriptación de datos.

Ejemplos de aplicación

Prensa de rodillos personalizada para sustratos de recubrimiento resistentes al desgaste en 2024, con un rendimiento un 10% mayor y una uniformidad de espesor $< 0,02$ mm.

4. Tendencias técnicas y requisitos de los equipos de prensado de carburo cementado para la fabricación inteligente

Sensores y adquisición de datos : sensores de alta precisión (presión ± 1 MPa, temperatura $\pm 1^\circ\text{C}$, desplazamiento $\pm 0,01$ mm), frecuencia de muestreo 50-100 Hz, transmisión 5G o TSN, integridad de los datos $> 99,9\%$.

Computación de borde : unidad de computación de borde incorporada, potencia de procesamiento de 10 a 20 GFLOPS, parámetros de optimización en tiempo real, latencia < 20 ms .

Optimización de IA : integra modelos de aprendizaje profundo para predecir parámetros óptimos basados en datos históricos, mejorando la precisión entre un 5% y un 10% con un ciclo de entrenamiento de menos de 1 semana.

Protocolos estandarizados : admite OPC UA, MQTT, EtherCAT y PROFINET, compatible con el ecosistema de fábrica inteligente y eficiencia de conversión de protocolo $> 95\%$.

Seguridad : Equipado con firewall industrial (IP67, nivel de protección 6), encriptación AES-256, compatible con los estándares ISO 27001 y NIST 800-53, y tasa de éxito antiataque $< 0,1\%$.

Fabricación verde : Módulo de optimización del consumo energético, reduciendo las emisiones de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbono entre un 5% y un 15%, en línea con la norma ISO 14001 y los objetivos de neutralidad de carbono (emisiones netas cero en 2030).

Interacción hombre-computadora : Equipado con interfaz AR/VR, admite operación y capacitación remotas y reduce los errores humanos en >20%.

5. Desafíos y perspectivas de los equipos de prensado de carburo cementado para la fabricación inteligente

desafío :

Inversión inicial : Los equipos inteligentes son costosos (por ejemplo, una prensa multieje > 2 millones de dólares, un HIP > 5 millones de dólares) y las pequeñas y medianas empresas necesitan actualizarlos en etapas.

Umbral técnico : La integración de IIoT requiere un equipo profesional, con un periodo de formación de 6 a 12 meses y un déficit de personal técnico del 10%-15%.

Seguridad de datos : el riesgo de ataques cibernéticos aumenta y es necesario invertir entre el 5% y el 10% del presupuesto en seguridad.

Compatibilidad : es difícil actualizar equipos antiguos y la tasa de adaptación de la interfaz es <70%.

prospecto :

Crecimiento del mercado : Entre 2025 y 2030, se prevé que el mercado de equipos IIoT crezca a una tasa anual del 10 % al 12 %, y la demanda de prensas inteligentes aumentará un 15 % anual. El tamaño del mercado alcanzará los 5000 millones de dólares estadounidenses en 2025 y los 8000 millones de dólares estadounidenses en 2030.

Integración de tecnología : Combinada con la fabricación aditiva (impresión 3D), los gemelos digitales y la tecnología blockchain, todo el proceso estará digitalizado para 2026, con una eficiencia mejorada entre un 20% y un 30%.

Apoyo político : el "14º Plan Quinquenal" de China prevé un subsidio del 20%-30%, y la "Industria 4.0" de la UE asigna 1.000 millones de euros para incentivar la inversión en la fabricación inteligente.

Tendencias de la industria : para 2025, el 50% de los equipos de prensado del mundo tendrán capacidades IIoT y, para 2030, la fabricación inteligente representará el 60% del valor de la producción manufacturera.

Resumir

Existe una amplia variedad de prensas compactadoras de carburo cementado, que abarcan 13 tipos, desde prensas unidireccionales hasta sistemas de compactación explosiva, cada una con sus propias ventajas técnicas y escenarios de aplicación. Representantes avanzados como la prensa servohidráulica multieje moderna y la prensa isostática inteligente integran alta precisión, automatización e inteligencia, con un rendimiento que alcanza una densidad de palanquilla verde del 85%-95% y una dureza HRA 92-94. Los equipos adecuados para el Internet de las Cosas industrial y la fabricación inteligente (como Schuler SmartPress y Quintus QIF) mejoran significativamente la eficiencia de la producción (15%-20%), la calidad (tasa de defectos <1%) y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

flexibilidad mediante sensores, optimización de IA e interconexión de datos, y promoverán la fabricación de alta gama en los campos de la aviación, la automoción y la atención médica en el futuro. Se espera que, entre 2025 y 2030, el tamaño del mercado crezca a 8 mil millones de dólares estadounidenses y la tasa de inteligencia supere el 70%.

Tabla comparativa de prensas de carburo

Nombre del dispositivo (Nombre del equipo)	Principio técnico (Principio técnico)	Rango de presión (Rango de presión)	Densidad verde (Densidad teórica)	Tiempo de presión	Eficiencia de producción (Eficiencia de producción)	Aplicaciones típicas (Aplicación típica)	Requisitos de mantenimiento (Requisitos de mantenimiento)	Limitación (Limitaciones)	Potencial inteligente (Manu inteligente Potencial)
Prensa unidireccional	Prensado vertical uniaxial	100-300 MPa	50%-65% de densidad teórica (6,5-8,0 g/cm³)	5-10 segundos	200 piezas/hora	Piezas de geometría simple, como insertos de corte WC-8%Co	Revise el desgaste del molde cada mes y limpie el cabezal de la prensa cada 500 veces	Gran gradiente de densidad (>10 %), no adecuado para formas complejas	Bajo: requiere actualizaciones significativas para soportar IIoT
Prensa de doble dirección	Aplique presión hacia arriba y hacia abajo o en múltiples direcciones.	200-400 MPa	60%-75% de densidad teórica (7,8-9,5 g/cm³)	10-20 segundos	150 piezas/hora	Formas medianamente complejas, como piezas en bruto para fresado de WC-10%Co	Verifique la sincronización del cabezal de presión cada 1000 veces y cambie el aceite cada trimestre.	No apto para formas muy complejas.	Moderado: parcialmente actualizable para soportar IIoT
Prensa isostática en frío (CIP)	Supresión de líquido omnidireccional	200-400 MPa	75%-85% de densidad teórica (9,7-10,8 g/cm³)	3-10 minutos	50 piezas/lote	Piezas de geometría compleja, como piezas en bruto de herramientas aeroespaciales WC-12%Co	Revise el sello cada 500 horas y cambie el líquido cada trimestre.	Ciclo largo y alto coste del equipo	Alto: adecuado para IIoT industrial y fabricación inteligente
Prensa isostática en o a alta	Posprocesamiento a alta	100-200 MPa	>99,8% densidad	1-4 horas	20 piezas/lote	Piezas de alta confiabilidad	Lave el hervidor cada 1000 horas	Extremadamente caro, se utiliza	Alto: adecuado para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

caliente (HIP)	temperatura y alta presión		teórica (12,5-13,0 g/cm³)			como brocas de minería WC-10%Co	y reemplace el filtro cada trimestre.	principalmente para posprocesamiento.	IoT industrial y fabricación inteligente
Máquina de prensado de troqueles	Prensado simple o doble con troquel limitado	200 MPa	60%-70% densidad teórica (7,8-9,0 g/cm³)	5-10 segundos	300 piezas/hora	Insertos de corte estandarizados, como insertos WC-8%Co	Cambie el molde cada 500 veces y limpie el cabezal de presión cada mes.	Forma limitada, para desgaste rápido del molde	Bajo: necesita actualizarse para soportar la Internet industrial de las cosas
Prensa de extrusión	Extrusión de tornillo	300 MPa	55%-65% de densidad teórica (7,0-8,3 g/cm³)	0,5-2 m/min (velocidad)	10 m/hora	Barras delgadas, como las barras WC-10%Co	Revise el molde cada 500 metros y limpie el tornillo cada mes.	Se requiere un proceso de desengrasado y el proceso es complicado.	Moderado: puede soportar parcialmente IIoT
Prensa de moldeo por inyección	Moldeo por inyección de aglutinante en polvo	50-120 MPa	50%-60% densidad teórica (6,5-7,6 g/cm³)	Tiempo de ciclo: aproximadamente 1 minuto	100 piezas/hora	Micropiezas, como engranajes WC-6%Co	Revise el molde cada 1000 veces y limpie el barril cada mes.	Muchos procesos y altos costos	Alto: adecuado para IoT industrial y fabricación inteligente
Prensa para bolsas secas	Prensado de moldes de caucho fijo	300 MPa	70%-75% densidad teórica (9,0-9,5 g/cm³)	5-10 minutos	80 piezas/lote	Piezas de tamaño mediano, como manguitos de cojinetes WC-8%Co	Verifique el envejecimiento del moho cada 500 veces y limpie el contenedor cada mes.	Forma limitada, coste medio.	Moderado: puede soportar parcialmente IIoT
Prensa multidireccional	Compresión 3D multicabezal	Vertical 400 MPa, lateral 300 MPa	75%-80% densidad teórica (9,7-10,2 g/cm³)	10-20 segundos	120 piezas/hora	Piezas en bruto de herramientas complejas, como piezas en bruto de herramientas multifilo WC-8%Co	Revise el penetrador cada 1000 veces y calibre el sistema mensualmente	El equipo es complejo y el costo es alto.	Alto: adecuado para la fabricación inteligente de IoT industrial
Prensa multiaxial	Presión independiente de	Vertical 500	85%-90% de	10-20 segundos	100 piezas/hora	Piezas en bruto para	Revise el servo cada 2000 veces	Equipos complejos y alta	Alto: adecuado para

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

isostática	cuatro vías/seis vías	MPa, lateral 400 MPa	densidad teórica (10,8-11,4 g/cm³)			herramientas de múltiples filos, como piezas en bruto para fresas WC-12%Co	y limpie el molde cada mes.	inversión inicial	IoT industrial y fabricación inteligente
Prensa de laminación	Prensado continuo de doble rodillo	100 MPa	50%-60% densidad teórica (6,5-7,6 g/cm³)	5-15 rpm (velocidad)	200 m² / día	Lámina fina en blanco, como lámina fina WC-10%Co	Pula el rodillo cada 1000 veces y verifique la alimentación cada mes.	Menor densidad, no apto para formas complejas.	Alto: adecuado para IoT industrial y fabricación inteligente
Sistema de compactación explosiva	Supresión de ondas de choque de explosión	1000-5000 MPa	90%-95% de densidad teórica (11,5-12,0 g/cm³)	< 1 ms	10 piezas/lote	Piezas de alto rendimiento, como objetivos PVD WC-6%Co	Revise el contenedor cada 10 veces y limpie los residuos cada mes.	Altos requisitos de seguridad y altos costos	Bajo: difícil de integrar con el IoT industrial
Prensa asistida por vibración	Vibración de alta frecuencia + presión	200 MPa	65%-75% densidad teórica (8,5-9,5 g/cm³)	10-20 segundos	200 piezas/hora	Piezas en bruto de herramientas pequeñas, como piezas en bruto de brocas WC-8%Co	Revise el vibrador cada 500 veces y limpie el molde cada mes.	No apto para piezas de gran tamaño.	Alto: adecuado para IoT industrial y fabricación inteligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



apéndice:

ISO 4489:2009
carburo cementado
Guía del proceso de sinterización

1. Alcance

Esta norma internacional especifica las pautas del proceso de sinterización para carburo cementado (principalmente materiales basados en carburo de tungsteno, como aleaciones WC-Co), que es adecuado para la producción de productos de carburo cementado de alto rendimiento para herramientas de corte, abrasivos, piezas resistentes al desgaste, etc. La norma cubre la selección de materia prima, los parámetros del proceso, el control de calidad, la seguridad y los requisitos de protección ambiental, pero no incluye el diseño de equipo específico ni la escala de producción.

2. Referencias normativas

ISO 4505:1978, Carburos cementados – Determinación de propiedades físicas.

ISO 3327:2009, Carburos cementados – Método para la determinación de la densidad.

ISO 3738:2001, Carburos cementados – Método para la determinación de la dureza (HRA).

ISO 4506:1979, Carburos cementados – Métodos de análisis microestructural.

3. Términos y definiciones

Carburo cementado: Material de alta dureza y resistente al desgaste sinterizado mediante un proceso de pulvimetalurgia que utiliza carburos metálicos refractarios (como WC) y una fase aglutinante (como Co).

Sinterización: Un método de combinación de partículas de polvo en un cuerpo denso a alta temperatura, que incluye sinterización al vacío, prensado isostático en caliente, etc.

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

el agente formador y solidifica preliminarmente antes de la sinterización formal.

Porosidad: El porcentaje de volumen de la porción no rellena de un cuerpo sinterizado, dividido en tres categorías: A, B y C (A02 es el grado de mayor calidad).

4. Requisitos del proceso

4.1 Requisitos de materia prima

Polvo de carburo de tungsteno (WC): el tamaño de partícula debe estar en el rango de 0,5 a 5 μm , pureza $\geq 99,5\%$, contenido de oxígeno < 300 ppm.

Fase de unión (como Co): tamaño de partícula 1-3 μm , pureza $\geq 99,5\%$, contenido de impurezas (como Fe, Ni) < 100 ppm.

de partícula < 1 μm .

4.2 Mezclado

El proceso de mezcla debe garantizar uniformidad y una desviación en la distribución del tamaño de partícula $< 5\%$.

Se pueden utilizar métodos de molienda húmeda o seca, y la relación recomendada entre bolas y material es de 5:1 a 10:1.

Si se utiliza un agente de moldeo (como parafina), la cantidad agregada debe controlarse entre 1 y 3 % en peso y debe eliminarse por completo durante la presinterización.

4.3 Formación

Rango de presión de prensado: 100-200 MPa, la densidad de la palanquilla debe alcanzar el 50-60% de la densidad teórica.

Temperatura de moldeo por inyección: 150-180°C, temperatura del molde 50-70°C.

La desviación dimensional deberá controlarse dentro de $\pm 0,5$ mm.

4.4 Pre-sinterización

Rango de temperatura: 300-800°C, atmósfera: hidrógeno o gas inerte, caudal: 10-30 m^3/h .

Tiempo de desparafinado: 3-5 horas, contenido de carbono residual $< 0,1\%$.

La resistencia del blank presinterizado debe ser ≥ 5 MPa.

4.5 Sinterización

Sinterización al vacío: temperatura 1350-1500°C, grado de vacío $\leq 0,01$ Pa, tiempo de mantenimiento 0,5-2 horas.

Prensado isostático en caliente (HIP): temperatura 1300-1450°C, presión 80-150 MPa, tiempo de mantenimiento 20-60 minutos.

Densidad recomendada $\geq 99\%$ densidad teórica, porosidad $\leq$ grado A02.

4.6 Posprocesamiento

Velocidad de enfriamiento: 2-5°C/min, para evitar grietas por tensión térmica.

Tratamiento de superficie: rectificado o pulido, rugosidad superficial $Ra \leq 0,8$ μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Control de calidad

5.1 Composición química

Contenido de carburo de tungsteno: 85-95 % en peso (ajustado según la receta).

Contenido de fase ligada: 5-15 % en peso .

Impurezas: Fe<50 ppm, O<200 ppm, N<300 ppm.

5.2 Propiedades físicas

Densidad: Dependiendo de la formulación, rango 14,0-15,0 g/cm³ (ISO 3327).

Dureza: HRA 88-94 (ISO 3738).

Resistencia a la flexión: >2000 MPa (ISO 4505).

5.3 Microestructura

de grano: $\leq 1 \mu\text{m}$ (preferiblemente 0,5-0,8 μm) .

Porosidad: $\leq A02$ (ISO 4506).

Sin fase η ni carbono libre (detectado por difractómetro de rayos X).

5.4 Métodos de detección

Tamaño de partículas: Analizador de tamaño de partículas láser (ISO 13320).

Densidad: Método de Arquímedes o método de penetración de mercurio.

Dureza: Rockwell Un probador de dureza.

Microestructura: microscopía óptica o microscopía electrónica de barrido (SEM).

6. Requisitos de seguridad

Uso de gas: El área de operación de hidrógeno debe estar equipada con paredes a prueba de explosiones (espesor $\geq 0,3 \text{ m}$), sistemas de ventilación (tasa de intercambio de aire ≥ 10 veces/hora) y alarmas de fugas (límite de detección 0,05%).

Protección contra altas temperaturas: El área de operación del horno de sinterización debe estar equipada con protección de aislamiento térmico y el rango de monitoreo de temperatura es de 50 a 1500 °C.

Protección personal: Los operadores deben usar ropa resistente a altas temperaturas, máscaras contra el polvo y gafas protectoras.

7. Requisitos ambientales

Tratamiento de gases residuales: El contenido de CO en los gases de cola de combustión es <50 ppm y se trata en una torre de purificación de gases de cola con una eficiencia de $\geq 95\%$.

Gestión de aguas residuales: Los líquidos residuales del agente formador deben reciclarse o tratarse, DQO < 100 mg/L.

Control de ruido: Ruido de funcionamiento del equipo <85 dB(A).

8. Documentación y registros

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

Cada lote de producción debe registrar el número de lote de materia prima, los parámetros del proceso (temperatura, presión, tiempo), los resultados de las pruebas y la información del operador.
Periodo de conservación de registros de calidad: mínimo 5 años.

apéndice:

**GB/T 4505-2008
carburo cementado**

Métodos de muestreo y preparación de muestras

Prefacio

Esta norma se formula de conformidad con las disposiciones de la Ley de Normalización de la República Popular China. Esta norma es una revisión de la norma original GB/T 4505-1996, Métodos de muestreo y preparación de muestras para carburo cementado. Esta revisión se basa principalmente en los últimos avances tecnológicos en la producción y aplicación de carburo cementado, y se refiere a las normas internacionales ISO 4505:1978 (determinación de la porosidad y el carbono libre en la metalografía de carburo cementado) e ISO 3326:2013 (métodos de muestreo y preparación de muestras para carburo cementado). En combinación con las necesidades de la industria nacional, añade requisitos de uniformidad de muestreo, métodos de control de la microestructura durante la preparación de muestras, requisitos de control ambiental y especificaciones de preparación de muestras aplicables a una variedad de escenarios de prueba.

Esta norma es propuesta y gestionada por la Federación de la Industria de Maquinaria de China. La Asociación de la Industria del Carburo Cementado de China es responsable de su interpretación. Las unidades de redacción de esta norma son: el Instituto de Investigación de Metales, la Academia China de Ciencias, la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pekín, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd. y el Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu.

Los principales redactores de esta norma son:

Esta norma se implementará a partir del 1 de diciembre de 2008, y la norma GB/T 4505-1996 original se abolirá al mismo tiempo.

1 Alcance

Esta norma especifica los métodos de muestreo y preparación de muestras de carburo cementado (principalmente WC-Co, incluido el carburo cementado compuesto con otros carburos como TiC, TaC, etc.) durante la producción, la inspección de calidad y la investigación científica, incluyendo los principios de muestreo, los métodos de muestreo, la selección de muestras, el proceso de preparación, los requisitos de control de calidad, la conservación de muestras y la verificación de pruebas correspondiente. Esta norma se aplica al muestreo y la preparación de muestras de piezas brutas de carburo cementado, productos sinterizados y productos procesados, y se utiliza principalmente para las siguientes pruebas:

Análisis de estructura metalográfica (por ejemplo, tamaño de grano, porosidad, distribución de fases).

Ensayos de propiedades mecánicas (como dureza, tenacidad a la fractura, resistencia a la flexión).

Análisis de composición química (como WC, Co, contenido de aditivos).

Esta norma no se aplica a las siguientes situaciones:

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

con recubrimientos superficiales especiales (como TiN , CrN , Al₂O₃) .

Materiales compuestos no basados en WC-Co (como cermets).

carburo cementado de grano ultrafino (tamaño de grano < 0,1 μm) .

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. En el caso de los documentos referenciados con fecha, las modificaciones posteriores (excluidas las erratas) o revisiones no son aplicables a esta norma. Sin embargo, se recomienda a las partes que lleguen a un acuerdo basado en esta norma que estudien si pueden utilizar las últimas versiones de estos documentos. En el caso de los documentos referenciados sin fecha, las últimas versiones son aplicables a esta norma.

GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado

GB/T 2007.1-1987 Reglas generales para el muestreo y preparación de muestras de minerales a granel

GB/T 2597-2008 Método de prueba para la porosidad del carburo cementado

GB/T 3489-2008 Método de determinación de la microestructura del carburo cementado

GB/T 5248-2008 Métodos de análisis químico para carburo cementado

GB/T 5313-2008 Método de ensayo de estructura metalográfica de carburo cementado

GB/T 7997-2008 Método de prueba para la dureza Vickers del carburo cementado

GB/T 18376-2008 Método para la determinación del tamaño de grano de carburo cementado

ISO 4505:1978 Determinación metalográfica de la porosidad y el carbono libre en carburos cementados

ISO 3326:2013 Métodos para el muestreo y preparación de muestras de ensayo de carburo cementado

3 Términos y definiciones

Esta norma adopta los siguientes términos y definiciones y hace referencia a GB/T 1997-2008.

3.1 Porción de muestreo (Porción)

Porción representativa cortada de un trozo de carburo cementado, un producto sinterizado o un producto procesado para la preparación posterior de la muestra.

3.2 Muestra:

La forma final del material preparado por métodos mecánicos o manuales para análisis o prueba (como recortes de perforación, virutas de molienda, rebanadas o muestras de bloques).

3.3 Tamaño de grano

El tamaño de grano promedio de la fase WC en el carburo cementado, generalmente en μm , se mide mediante el método de sección transversal o el método de intersección lineal.

3.4 Porosidad

La fracción de volumen de poros en una muestra, expresada como porcentaje (%), generalmente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

medida mediante microscopía metalográfica o método de densidad.

3.5 Carbono libre:

Carbono en carburo cementado que no forma carburos con metales, existe en forma de fase C y generalmente se observa bajo un microscopio metalográfico.

3.6 Segregación de Co

La distribución desigual de la fase Co en la microestructura del carburo cementado puede formar depósitos de Co (tamaño $> 5 \mu\text{m}$), lo que afecta el rendimiento.

3.7 Rugosidad de la superficie

La planitud de la superficie de la muestra se expresa generalmente como Ra (rugosidad media aritmética) en μm .

4 Principios de muestreo

4.1 Propósito del muestreo El

propósito del muestreo es obtener muestras representativas para probar la composición química, la microestructura, las propiedades mecánicas y otras propiedades físicas del carburo cementado para garantizar que los resultados de la prueba puedan reflejar las características generales del material.

4.2 Representatividad del muestreo

La porción muestreada debe reflejar las características generales del lote de material y evitar seleccionar defectos superficiales (como grietas, capas de óxido, quemaduras) o áreas con efecto de borde ($>5 \text{ mm}$ desde el borde).

Los puntos de muestreo deben estar distribuidos uniformemente, cubriendo la mayor parte de la sección transversal del producto (al menos el 80%). En el caso de piezas con formas especiales, deben cubrir la zona clave de soporte de tensiones y el centro geométrico.

4.3 Momento del muestreo

Muestreo de cuerpo verde: Se realiza después del prensado y antes de la sinterización para evitar cambios microestructurales provocados por el proceso de sinterización.

Muestreo de productos sinterizados: El muestreo debe realizarse después de que el proceso de sinterización se enfríe a temperatura ambiente ($20-25^\circ\text{C}$) para evitar que las altas temperaturas ($> 200^\circ\text{C}$) afecten la microestructura.

Muestreo de productos procesados: esto debe realizarse una vez completado el procesamiento final (como esmerilado y pulido) para garantizar que no haya estrés de procesamiento ($<50 \text{ MPa}$) en la pieza muestreada.

4.4 Cantidad de muestreo

Lote $\leq 100 \text{ kg}$: tomar 2-3 porciones.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lote 100-500 kg: muestra 4-6 porciones.

Lote 500-1000 kg: muestra 6-8 porciones.

Lote > 1000 kg: Muestra de 8 a 12 piezas, dependiendo de la complejidad y geometría del producto.

En el caso de piezas con formas especiales o estructuras complejas (como herramientas y brocas), se deberá muestrear al menos una pieza por cada área de característica geométrica.

4.5 Entorno de muestreo

Temperatura del entorno de muestreo: 15-25 °C, humedad <60 %, evitar la contaminación con agua o aceite.

El área de muestreo debe ser un entorno libre de polvo con una concentración de partículas de polvo en el aire de $<10^3$ partículas/m³.

5 Métodos de muestreo

5.1 Herramientas y equipos de muestreo

Herramientas de corte: hojas de sierra de diamante (diámetro 100-150 mm, espesor 0,5-1 mm) o herramientas de carburo (dureza HV>1800).

Herramienta de perforación: broca de carburo (diámetro 2-5 mm, dureza HV 1800), velocidad de perforación 50-100 rpm.

Equipo de limpieza: Máquina de limpieza por ultrasonidos (potencia 100-150 W, frecuencia 40 kHz).

Medidas de protección: Utilice refrigerante (fluido de corte soluble en agua al 5%) durante el muestreo para evitar altas temperaturas (>200 °C) que puedan provocar el crecimiento del grano (> 2 μm).

5.2 Procedimientos de muestreo

Preparación de la superficie:

Utilice papel de lija (tamaño de grano 800-1200#) o una rueda de amolar de diamante (tamaño de grano 1000#) para eliminar la capa de óxido de la superficie (espesor <0,1 mm).

Se utilizó limpieza ultrasónica (frecuencia 40 kHz, tiempo 10 min, agua desionizada) para eliminar el aceite de la superficie y las partículas (tamaño de partícula > 0,01 mm).

Marque la ubicación de muestreo:

Marque los puntos de muestreo de acuerdo con la geometría del producto y el área de tensión, y registre la posición de muestreo (con el centro del producto como origen y la desviación de las coordenadas <0,5 mm).

Los puntos de muestreo deben evitar zonas defectuosas (longitud de grieta > 0,05 mm, porosidad > 1%).

Pieza de muestreo de corte:

Utilice una hoja de sierra de diamante para cortar longitudinal o transversalmente el producto. El tamaño de la muestra es de 10 mm × 10 mm × 5 mm (análisis metalográfico) o 20 mm × 10 mm × 5 mm (ensayo mecánico).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Velocidad de corte: 2000-3000 rpm, velocidad de avance: 0,5-1 mm/min.

Suavidad de la incisión: desviación <0,02 mm, sin quemaduras ni desgarros evidentes (profundidad de la quemadura <0,05 mm).

Muestreo de pozos (análisis químico):

Utilice una broca de carburo para perforar la muestra en la pieza de muestreo, con una longitud de viruta de perforación de 5 a 10 mm y una masa de >5 g.

Profundidad de perforación: 5-10 mm, desviación del diámetro del orificio <0,1 mm.

Grabación y embalaje:

Registre la ubicación del muestreo, la fecha, las condiciones ambientales (temperatura 15-25 °C, humedad <60 %) y el operador.

Coloque la parte muestreada en una bolsa sellada (a prueba de humedad y polvo) y marque el número.

5.3 Requisitos de seguridad

Los operadores deben usar gafas protectoras, máscaras antipolvo y guantes.

Utilice refrigerante durante el corte y la perforación para evitar altas temperaturas (>200 °C) que pueden causar cambios microestructurales.

Evite la inhalación de polvo y equipe el área de operación con equipos de ventilación (velocidad del viento > 0,5 m/s).

5.4 Control de calidad del muestreo

La pieza muestreada no presentó defectos evidentes (longitud de grieta <0,05 mm, porosidad <1%).

Rugosidad superficial de la pieza de muestreo: Ra < 0,5 μm .

Desviación de peso de la porción muestreada: <0,2 g (muestra para análisis químico).

6. Preparación de la muestra

6.1 Tipo y propósito de la muestra

Probeta para análisis metalográfico: se utiliza para observar la microestructura (tamaño de grano, porosidad, distribución de Co), el tamaño es de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

Probetas de propiedades mecánicas: se utilizan para ensayos de dureza, tenacidad y resistencia a la flexión, con un tamaño de 20 mm × 10 mm × 5 mm (dureza, tenacidad) o 40 mm × 5 mm × 5 mm (resistencia a la flexión).

Muestra de análisis químico: se utiliza para análisis de componentes, masa >5 g, tamaño de partícula <0,5 mm.

6.2 Proceso de preparación de muestras

6.2.1 Mecanizado de desbaste

Utilice una muela de diamante (tamaño de grano 150-200#) para pulir y eliminar la capa de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

procesamiento de la superficie (espesor 0,2-0,5 mm).

Velocidad de molienda: 500-1000 rpm, presión: 20-30 N.

Rugosidad superficial: $Ra < 1 \mu m$.

6.2.2 Acabado

Utilice un disco de pulido de diamante (tamaño de grano 800-1200#) para pulir, y el tiempo de pulido es de 5 a 10 minutos.

Líquido de pulido: suspensión de diamante (tamaño de partícula 1-3 μm), concentración 5%.

Rugosidad de la superficie: $Ra < 0,1 \mu m$, desviación de planitud $< 0,01 mm$.

6.2.3 Tratamiento térmico (opcional)

Si la muestra se va a utilizar para análisis metalográfico, se deben eliminar las tensiones internas: calentar a 600 °C en un horno de vacío (grado de vacío $< 10^{-2} Pa$), mantener a esta temperatura durante 1 hora y enfriar a una velocidad de 3-5 °C/min.

Tensión interna: $< 50 MPa$ (medida por difracción de rayos X, desviación del ancho de pico $< 0,2^\circ$).

6.2.4 Corrosión (muestras metalográficas)

con el reactivo de Murakami (10 g $K_3 [Fe(CN)_6]$ + 10 g KOH + 100 ml H_2O) durante 5-10 segundos se reveló la fase WC y la fase Co.

Temperatura de corrosión: 20-25°C, profundidad de corrosión: 0,5-1 μm .

Lavar con agua desionizada (pH 6-8) y secar (50°C, 10 min).

6.2.5 Trituración de muestras para análisis químico

La muestra fue triturada hasta un tamaño de partícula de $< 0,5 mm$ utilizando un mortero de carburo (dureza HV 1800) o un molino de vibración (frecuencia 30 Hz, tiempo 10 min).

Evitar la contaminación: limpieza de mortero (ultrasónico, 40 kHz, 10 min), tamizado de polvo (tamiz de 200 mallas, tamaño de poro $< 0,074 mm$).

6.3 Control de calidad

Muestra metalográfica:

Porosidad: $\leq 1\%$, medida con un microscopio metalográfico (aumento 500×).

Tamaño de grano: Desviación $< 0,02 \mu m$, calculada utilizando el método de sección transversal (> 100 granos por campo de visión).

Planitud de la superficie: Desviación $< 0,01 mm$, detectada mediante un perfilador de superficie.

Uniformidad de distribución de co: desviación $< 0,5\%$, detectada por espectroscopia de energía dispersiva (EDS).

Probetas mecánicas:

Desviación dimensional: $< 0,05 mm$, medida con un calibre vernier.

Rugosidad superficial: $Ra < 0,1 \mu m$.

Sin microfisuras: longitud $< 0,05 mm$, detectadas al microscopio (aumento 200×).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Muestras de análisis químico:

Tamaño de partícula: $<0,5$ mm, medido utilizando un analizador de tamaño de partículas láser (desviación $<0,02$ μm).

Sin contaminación: contenido de Fe, Al y otras impurezas $<0,01\%$, detectado mediante análisis espectral.

7 Pruebas y verificación

7.1 Inspección de la microestructura

Métodos: Examinar la estructura de la muestra utilizando un microscopio óptico (aumento 100-1000 $\times$) o un microscopio electrónico de barrido (SEM, resolución <1 nm).

Contenido de la prueba:

de grano: rango 0,2-2 μm , desviación $<0,02$ μm (según GB/T 18376-2008).

Porosidad: $\leq 1\%$, poro tipo A $<0,02$ mm (según GB/T 2597-2008).

Carbono libre: Defectos tipo C $<0,5\%$ (según ISO 4505:1978).

Distribución de co: Desviación $<0,5\%$, detectada por espectroscopia de energía dispersiva (EDS).

7.2 Ensayo de propiedades mecánicas

Dureza: según GB/T 7997-2008, utilice el probador de dureza Vickers (carga de 10 a 30 kg, tiempo de sangría de 10 a 15 segundos), la desviación del valor de prueba es $<2\%$.

Tenacidad a la fractura (K_{IC}): Según GB/T 5248-2008, utilizando el método de viga con entalla de un solo borde (SENB), tamaño de muestra 40 mm $\times$ 5 mm $\times$ 5 mm, desviación $<0,3$ MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$.

Resistencia a la flexión: según GB/T 5248-2008, utilizando el método de flexión de tres puntos, tamaño de muestra 40 mm $\times$ 5 mm $\times$ 5 mm, velocidad de carga 0,5 mm/min, desviación $<5\%$.

7.3 Análisis de la composición química

Método: De acuerdo con GB/T 5248-2008, utilice espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) o titulación química.

Contenido de la prueba:

Contenido de WC: desviación $<0,1\%$.

Contenido de Co: desviación $<0,05\%$.

Aditivos (como VC, TaC): desviación $<0,02\%$.

Impurezas (Fe, Al, etc.): contenido $<0,01\%$.

7.4 Registros de verificación

Registre el número de muestra, la fecha de la prueba, el modelo del equipo de prueba y el operador.

Los resultados de la prueba se comparan con los valores estándar y las muestras con desviaciones fuera del rango deben volver a muestrearse y prepararse.

8 Almacenamiento de muestras

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1 Condiciones de almacenamiento

Las muestras se colocaron en bolsas de plástico selladas o en recipientes al vacío y se almacenaron lejos de la luz.

Temperatura ambiente: 15-25°C, humedad <50%, evitar la oxidación (contenido de O₂ <0,5 ppm). Evitar el contacto con sustancias ácidas o alcalinas (pH 6-8).

8.2 Vida útil

Muestras de prueba: almacenadas durante 6 meses.

Muestras de arbitraje: almacenadas durante 12 meses.

Ejemplares para investigación a largo plazo: almacenados durante 24 meses, es necesario comprobar periódicamente el estado de la superficie (cada 6 meses).

8.3 Mantenimiento de registros

Registrar el número de muestra, fecha de conservación, condiciones de almacenamiento y persona responsable.

Si el entorno de almacenamiento es anormal (por ejemplo, humedad > 60 %), es necesario volver a preparar la muestra.

9 Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Parámetros recomendados para el equipo de muestreo

Hoja de sierra de diamante: diámetro 150 mm, espesor 1 mm, velocidad de rotación 3000 rpm, caudal de refrigerante 5 L/min.

Broca de carburo: diámetro 3 mm, dureza HV 1800, velocidad de perforación 80 rpm.

Máquina de limpieza por ultrasonidos: potencia 120 W, frecuencia 40 kHz, tiempo de limpieza 10 minutos.

A.2 Problemas y soluciones comunes para la preparación de muestras

Problema 1: Crecimiento anormal del grano ($>2\ \mu\text{m}$). Solución: Reducir la temperatura del tratamiento térmico ($<600\ ^\circ\text{C}$) o acortar el tiempo de mantenimiento (<1 hora); aumentar el inhibidor de grano (como VC 0,2-0,5%).

Problema 2: La porosidad supera el estándar ($>1\%$).

Solución: Aumentar la presión de moldeo ($>200\ \text{MPa}$); optimizar el vacío de sinterización ($<10^{-2}\ \text{Pa}$); prolongar el tiempo de sinterización (2-3 horas).

Problema 3: Segregación de Co (tamaño del depósito de Co $>5\ \mu\text{m}$). Solución

: Controlar el gradiente de temperatura de sinterización (desviación $<\pm 5\ ^\circ\text{C}/\text{cm}$); reducir la velocidad de enfriamiento ($3-5\ ^\circ\text{C}/\text{min}$).

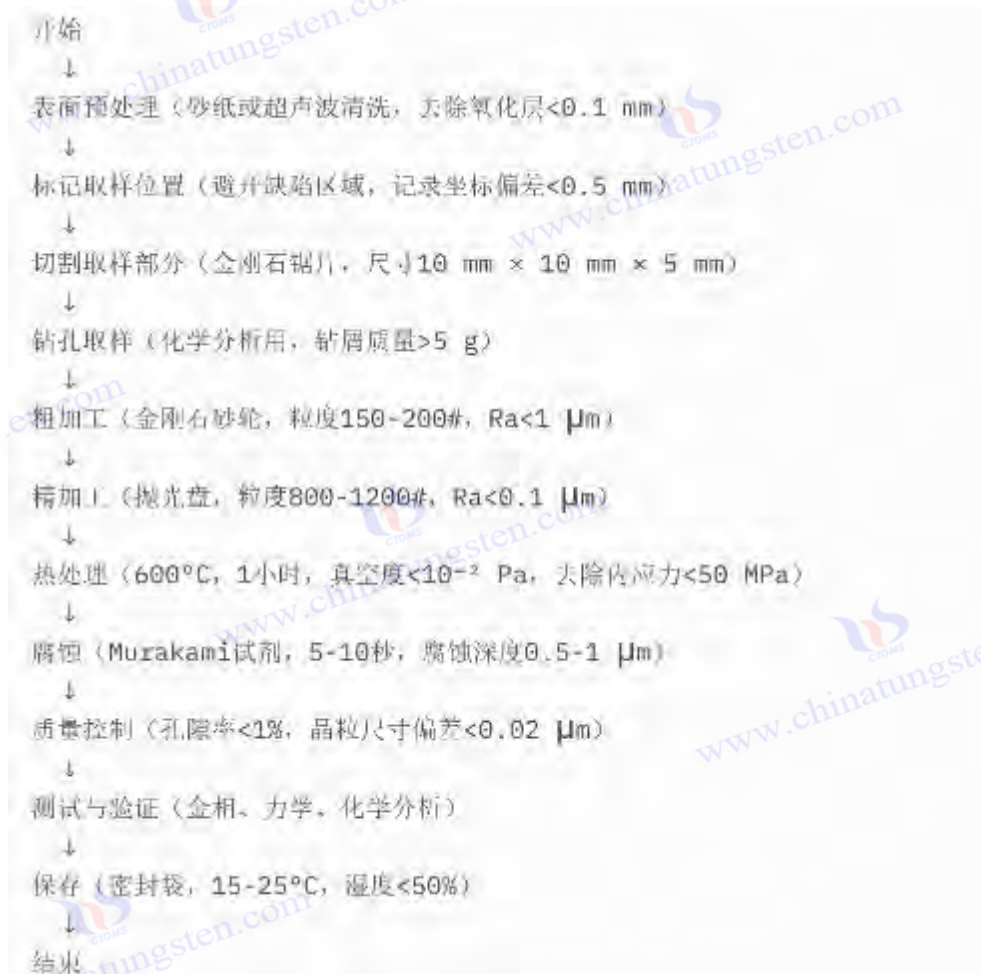
Problema 4: La rugosidad superficial no cumple con el estándar ($R_a > 0,1\ \mu\text{m}$). Solución: Aumentar el tiempo

de pulido (10-15 minutos); utilizar un fluido de pulido de grano más fino (tamaño de partícula $<1\ \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 Apéndice B (Apéndice normativo)

B.1 Diagrama de flujo de muestreo y preparación de muestras



B.2 Ejemplo de distribución de puntos de muestreo

Blanco cilíndrico: de 3 a 5 puntos de muestreo se distribuyen uniformemente a lo largo de la dirección axial, cubriendo la parte superior, media e inferior.

Productos de herramientas: Los puntos de muestreo incluyen el filo (área de alta dureza), la pieza de sujeción (área de alta tenacidad) y el centro geométrico.

Piezas con formas especiales: Los puntos de muestreo cubren las áreas clave que soportan tensiones (coeficiente de concentración de tensiones $K_t > 1,5$) y las áreas de características geométricas.

11 Apéndice C (Apéndice informativo)

C.1 Recomendaciones para el control del entorno de preparación de muestras

Control de temperatura: 15-25°C, desviación $\leq \pm 2^\circ\text{C}$, utilizando equipo de temperatura constante.

Control de humedad: $< 50\%$, utilizar deshumidificador (desviación de humedad $< 5\%$).

Limpieza: Concentración de polvo en el aire $< 10^3$ partículas/m³, utilizar un purificador de aire.

C.2 Recomendaciones para el mantenimiento de los equipos de preparación de muestras

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

Hoja de sierra de diamante: comprobar el desgaste después de cada 100 cortes (reducción de espesor $<0,1$ mm) y sustituir si es necesario.

Almohadilla de pulido: Limpiar después de cada 50 usos (agua desionizada, 40 kHz, 5 minutos) para evitar la acumulación de partículas.

Horno de vacío: Verifique el grado de vacío ($<10^{-2}$ Pa) cada mes y asegure la estanqueidad (tasa de fuga $<10^{-3}$ Pa·L/s).

apéndice:

**GB/T 1997-2008
carburo cementado
el término**

Prefacio

Esta norma se formula de conformidad con las disposiciones de la Ley de Normalización de la República Popular China. Esta norma es una revisión de la norma original GB/T 1997-1998 sobre Terminología de Carburo Cementado. Esta revisión se basa en la norma internacional ISO 3252:2019 "Metalurgia de polvos — Vocabulario" y, en consonancia con las necesidades de desarrollo de la industria del carburo cementado, incorpora nuevos términos como carburo cementado de estructura en gradiente y carburo cementado de grano ultrafino, mejora las definiciones de microestructura y rendimiento, y mantiene la coherencia con el sistema terminológico internacional.

Esta norma es propuesta y gestionada por la Federación de la Industria de Maquinaria de China. La Asociación de la Industria del Carburo Cementado de China es responsable de su interpretación. Las unidades de redacción de esta norma son: el Instituto de Investigación de Metales, la Academia China de Ciencias, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pekín y el Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu.

Los principales redactores de esta norma son:

Esta norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008, y la norma GB/T 1997-1998 original quedará abolida al mismo tiempo.

1 Alcance

Esta norma especifica los términos y definiciones comúnmente utilizados en el campo del carburo cementado (principalmente carburo cementado WC-Co y sus materiales compuestos), abarcando la composición, la microestructura, el proceso de preparación, el rendimiento, los métodos de ensayo y la aplicación del carburo cementado. Esta norma es aplicable a la producción, la inspección, la investigación, la docencia y el intercambio técnico de carburo cementado.

Esta norma no se aplica a la terminología de materiales compuestos no basados en WC-Co (como cermets) o recubrimientos de carburo cementado (como TiN, CrN).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. En el caso de los documentos referenciados con fecha, las modificaciones posteriores (excluidas las erratas) o revisiones no son aplicables a esta norma. Sin embargo, se recomienda a las partes que lleguen a un acuerdo basado en esta norma que estudien si pueden utilizar las últimas versiones de estos documentos. En el caso de los documentos referenciados sin fecha, las últimas versiones son aplicables a esta 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

GB/T 2007.1-1987 Reglas generales para el muestreo y preparación de muestras de minerales a granel

GB/T 2597-2008 Método de prueba para la porosidad del carburo cementado

GB/T 3489-2008 Método para la determinación de la microestructura del carburo cementado

GB/T 5248-2008 Métodos de análisis químico para carburo cementado

GB/T 5313-2008 Método de ensayo de estructura metalográfica de carburo cementado

ISO 3252:2019 Metalurgia de polvos — Vocabulario

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones están organizados de acuerdo con la clasificación lógica del campo del carburo cementado, que se dividen en términos básicos, composición y estructura, proceso de preparación, rendimiento y pruebas, relacionados con la aplicación y otras categorías.

3.1 Terminología básica

3.1.1 La aleación dura es un material compuesto hecho

de carburos metálicos refractarios (como WC, TiC , Utilizando TaC como fase dura y metales (como Co, Ni y Fe) como fase de unión mediante pulvimetalurgia, presenta alta dureza, alta resistencia al desgaste y cierta tenacidad.

3.1.2 La pulvimetalurgia

es un método de fabricación de metales o materiales compuestos a través de procesos como la preparación de polvos, la mezcla, el moldeo, la sinterización y el posprocesamiento.

3.1.3 La aleación dura WC-Co es una

aleación dura con carburo de tungsteno (WC) como fase dura principal y cobalto (Co) como fase aglutinante. Se utiliza comúnmente en herramientas de corte, herramientas de minería y piezas resistentes al desgaste.

3.2 Composición y estructura

3.2.1 Fase dura

El componente que proporciona alta dureza y resistencia al desgaste en el carburo cementado suele ser carburo (como WC, TiC , TaC) y la fracción de volumen es generalmente >70%.

3.2.2 Fase Aglutinante:

Componente metálico que proporciona tenacidad y une la fase dura en el carburo cementado, generalmente Co, Ni o Fe, con una fracción de volumen del 5%-30%.

3.2.3 Tamaño de grano.

El tamaño de grano promedio de la fase dura (generalmente WC) en carburo cementado, en μm , se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

mide generalmente mediante el método de sección transversal o el método de intersección lineal. El rango típico es de 0,2 a 5 μm .

3.2.4 Aleación dura de grano ultrafino: El carburo cementado con un tamaño

de grano menor a 0,5 μm , tiene mayor dureza ($\text{HV}>1800$) y resistencia (resistencia a la flexión $>4000\text{ MPa}$).

3.2.5 Aleación dura con estructura de gradiente:

Un material en el que la composición (como el contenido de Co) o la microestructura (como el tamaño del grano) del carburo cementado presenta un cambio de gradiente a lo largo de una dirección específica (como desde la superficie hacia el interior), que se utiliza para optimizar el rendimiento integral de dureza y tenacidad.

3.2.6 Porosidad.

Fracción volumétrica de poros en el carburo cementado, expresada como porcentaje (%), generalmente medida mediante microscopía metalográfica o método de densidad. Se divide en tipo A (diámetro de poro $<10\text{ }\mu\text{m}$) , tipo B (10-25 μm) y tipo C (carbono libre).

3.2.7 Carbono Libre:

Carbono en carburo cementado que no forma carburos con metales y existe en forma de fase C. Generalmente se observa bajo un microscopio metalográfico y tiene un contenido de $<0,5\%$.

3.2.8 Segregación de Co

La distribución desigual de la fase Co en la microestructura del carburo cementado puede formar depósitos de Co (tamaño $>5\text{ }\mu\text{m}$) , lo que afecta el rendimiento.

3.2.9 Aditivo:

Una pequeña cantidad de sustancia (como VC, Cr_3C_2 , Se añade TaC al carburo cementado para inhibir el crecimiento del grano o mejorar el rendimiento. El contenido suele ser inferior al 1 %.

3.3 Proceso de preparación

3.3.1 Polvo mixto

En la producción de carburo cementado, el polvo se prepara mezclando polvo de fase dura (como WC), polvo de fase adhesiva (como Co) y aditivos en una proporción específica.

3.3.2 Molienda de bolas

El proceso de mezclar, refinar y activar el polvo de materia prima de carburo cementado mediante molienda de bolas, generalmente utilizando bolas de carburo cementado (relación de bolas a polvo 5:1-10:1) y una velocidad de rotación de 200 a 500 rpm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.3 El prensado es

un proceso de prensado del polvo mezclado en un cuerpo verde a través de un molde, generalmente utilizando prensado isostático en frío (CIP, presión 200-300 MPa) o prensado uniaxial (presión 50-100 MPa).

3.3.4 La sinterización es

un proceso que consiste en calentar la pieza bruta de carburo cementado a alta temperatura (generalmente entre 1350 y 1500 °C) para densificarla. Se divide en sinterización en fase sólida y sinterización en fase líquida.

3.3.5 Sinterización en fase líquida:

Proceso de sinterización que se lleva a cabo por encima del punto de fusión de la fase aglutinante (como el Co) (aproximadamente 1320 °C). Tras la fusión del Co, humedece las partículas de WC y promueve la densificación.

3.3.6 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico posterior del carburo cementado, como el recocido (550-650 °C) o el temple, se utiliza para ajustar la microestructura o eliminar la tensión interna (<50 MPa).

3.3.7 Modificación de la superficie:

El proceso de mejora de las propiedades de la superficie del carburo cementado mediante carburación, implantación de iones o recubrimiento (como TiN , CrN) .

3.4 Rendimiento y pruebas

3.4.1 Dureza

La capacidad del carburo cementado para resistir la deformación plástica se expresa generalmente en dureza Vickers (HV), con un valor típico de 1200-2000 HV.

3.4.2 Tenacidad a la fractura La capacidad

del carburo cementado para resistir la propagación de grietas se expresa mediante K_{Ic} , con la unidad de $MPa \cdot m^{1/2}$ y un valor típico de $8-16 MPa \cdot m^{1/2}$.

3.4.3 Resistencia a la rotura transversal (TRS)

La resistencia máxima del carburo cementado en un ensayo de flexión de tres puntos, expresada en MPa, con un valor típico de 2000-4000 MPa.

3.4.4 Resistencia al desgaste La capacidad del carburo cementado para resistir el desgaste, generalmente

medida por la tasa de desgaste ($mm^3 / N \cdot m$) , con un valor típico de $<0,1 mm^3 / N \cdot m$.

3.4.5 Resistencia al choque térmico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La capacidad del carburo cementado para resistir el agrietamiento después de un enfriamiento rápido (como el enfriamiento por agua) a alta temperatura ($>800^{\circ}\text{C}$), generalmente evaluada por el número de choques térmicos ($>10^3$ veces).

3.4.6 Análisis metalográfico:

Observar la microestructura del carburo cementado bajo un microscopio para analizar el tamaño del grano, la porosidad, la distribución de fases, etc.

3.4.7 Relación Hall-Petch

描述硬质合金强度或硬度与晶粒尺寸关系的理论: $\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2}$, 其中 σ_y 为屈服强度, σ_0 为单晶强度, k 为常数, d 为晶粒尺寸。

3.5 Relacionado con la aplicación

3.5.1 Herramienta de corte:

Herramienta hecha de carburo cementado utilizada para cortar metales, como herramientas de torneado, fresas y brocas, con una dureza generalmente >1500 HV.

3.5.2 Herramientas de minería:

Herramientas de carburo cementado para minería o perforación, como brocas para roca y picos para minería de carbón. La tenacidad a la fractura es generalmente $>12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

3.5.3 Pieza resistente al desgaste

Piezas fabricadas en carburo cementado para aplicaciones resistentes al desgaste, como moldes, boquillas y juntas, con una resistencia al desgaste de $<0,1 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

3.5.4 Herramienta aeroespacial

Las herramientas de corte de carburo cementado utilizadas en el campo aeroespacial deben tener alta dureza ($\text{HV}>1700$) y resistencia al choque térmico ($>800^{\circ}\text{C}$).

3.5.5 Brocas para aguas profundas Las

brocas de carburo utilizadas en entornos de aguas profundas (presión $>80 \text{ MPa}$, impacto $>500 \text{ Hz}$) requieren una alta tenacidad ($K_{IC} > 14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

4. Índice de términos

Para facilitar su recuperación, los términos principales se organizan en orden alfabético a continuación:

Co-segregación: 3.2.8

Relación Hall-Petch: 3.4.7

Dureza: 3.4.1

Aleación dura: 3.1.1

Tamaño de grano: 3.2.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Resistencia a la rotura transversal (TRS): 3.4.3
Porosidad: 3.2.6
Aleación dura con estructura de gradiente: 3.2.5
Resistencia al desgaste: 3.4.4
Sinterización: 3.3.4
Aditivo: 3.2.9
Sinterización en fase líquida: 3.3.5
Carbono libre: 3.2.7

5 Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Notas sobre el uso de la terminología

Tamaño del grano

Al medir el tamaño del grano, el método de medición (como el método de sección transversal o el método de intersección lineal) debe definirse claramente y debe registrarse la cantidad de granos en el campo de visión (> 100) para garantizar la precisión estadística.

Porosidad

La clasificación de los poros de tipo A, tipo B y tipo C debe consultar la norma GB/T 2597-2008 y prestar atención a la distinción entre carbono libre y poros.

Carburo cementado con estructura de gradiente

Al describir la estructura del gradiente, se deben indicar claramente la dirección del gradiente (por ejemplo, de la superficie al interior) y los cambios de parámetros (por ejemplo, el contenido de Co del 4% al 12%).

A.2 Malentendidos comunes y aclaraciones

Cuanto mayor sea la dureza, mejor será el rendimiento del carburo cementado. Aclaración:

Una dureza alta (p. ej., $HV > 1800$) puede reducir la tenacidad ($K_{IC} < 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), por lo que es necesario equilibrar la dureza y la tenacidad según el escenario de aplicación (p. ej., corte o minería).

Malentendido 2: A mayor contenido de Co, mayor tenacidad.

Aclaración: Un contenido de Co demasiado alto ($> 15\%$) provocará una disminución de la dureza ($HV < 1200$) y una baja resistencia al desgaste, lo cual debe considerarse exhaustivamente.

6 Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Tabla de correspondencia terminológica (chino e inglés)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Terminología china	Términos en inglés	Número de artículo
carburo cementado	Aleación dura	3.1.1
Tamaño del grano	Tamaño del grano	3.2.3
Porosidad	Porosidad	3.2.6
Carburo cementado con estructura de gradiente	Aleación dura con estructura de gradiente	3.2.5
Sinterización en fase líquida	Sinterización en fase líquida	3.3.5
dureza	Dureza	3.4.1
Tenacidad a la fractura	Tenacidad a la fractura	3.4.2
Resistencia al desgaste	Resistencia al desgaste	3.4.4

Lo anterior constituye el contenido de la norma GB/T 1997-2008 Terminología del Carburo Cementado, compilada con base en las prácticas de la industria del carburo cementado y las normas pertinentes. Este documento abarca la terminología fundamental del carburo cementado, dividida en cinco categorías: terminología básica, composición y estructura, proceso de preparación, rendimiento y pruebas, y aplicación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ISO 3252:2019
Metalurgia de polvos
Vocabulario
(Metalurgia de polvos - Vocabulario)

Prefacio

Esta Norma Internacional, ISO 3252:2019, fue elaborada por el Comité Técnico ISO/TC 119, Metalurgia de Pulvimetalurgia, Subcomité SC 1, Terminología y Clasificación. Esta cuarta edición anula y sustituye a la tercera edición (ISO 3252:1999), que ha sido revisada técnicamente para reflejar los avances en la tecnología de la pulvimetalurgia, incluyendo la introducción de nuevos procesos (p . ej., fabricación aditiva en pulvimetalurgia) y la actualización de las definiciones de los términos existentes. La revisión también se ajusta a las prácticas más recientes de la industria e incorpora la retroalimentación de las partes interesadas a nivel mundial.

Esta Norma Internacional ISO 3252:2019 fue elaborada por el Comité Técnico ISO/TC 119 (Pulvimetalurgia), Subcomité SC 1 (Terminología y clasificación). Esta cuarta edición anula y sustituye a la tercera edición (ISO 3252:1999) y ha sido revisada técnicamente para reflejar el desarrollo de la tecnología de pulvimetalurgia, incluyendo la introducción de nuevos procesos (como la fabricación aditiva en pulvimetalurgia) y la actualización de las definiciones de términos existentes. La revisión también se ajusta a las prácticas más recientes de la industria e incorpora la retroalimentación de las partes interesadas a nivel mundial.

vocabulario completo para la pulvimetalurgia, aplicable a la fabricación de polvos metálicos y artículos a partir de dichos polvos, con o sin adiciones no metálicas, mediante procesos de conformado y sinterización. Esta norma está dirigida a fabricantes, investigadores, ingenieros y docentes en el campo de la pulvimetalurgia.

La norma ISO 3252:2019 proporciona un vocabulario completo para la pulvimetalurgia, aplicable a la fabricación de polvos metálicos mediante procesos de compactación y sinterización, así como a artículos fabricados a partir de estos polvos (con o sin aditivos no metálicos). Esta norma está dirigida a fabricantes, investigadores, ingenieros y docentes en el campo de la pulvimetalurgia.

Tabla de contenido

- 1 Alcance**
- 2 Referencias Normativas (2 Referencias Normativas)**
- 3 Términos y definiciones**
- 4 Índice alfabético**
- Anexo A (Informativo)**
- Anexo B (Informativo)**

1 Alcance

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

Esta Norma Internacional define términos relacionados con la pulvimetalurgia. La pulvimetalurgia es la rama de la metalurgia que abarca la producción de polvos metálicos, así como la fabricación de artículos a partir de estos polvos, ya sea solos o con la adición de polvos no metálicos, mediante procesos como el conformado, la sinterización y, cuando corresponda, técnicas de posprocesamiento (p. ej., tratamiento térmico, mecanizado).

Esta norma cubre términos asociados con:

Producción y caracterización de polvos.

Procesos de compactación y conformación.

Sinterización y densificación.

Propiedades y ensayos de productos de pulvimetalurgia.

Aplicaciones y tecnologías relacionadas.

Esta norma abarca términos relacionados con:

Producción y caracterización de polvos.

Procesos de compactación y conformado.

Sinterización y densificación.

Propiedades y ensayos de productos de pulvimetalurgia.

Aplicaciones y tecnologías relacionadas,

cerámicas) o tecnologías de recubrimiento a menos que estén directamente relacionadas con procesos de pulvimetalurgia.

2 Referencias Normativas (2 Referencias Normativas)

Los siguientes documentos se mencionan en el texto de tal manera que parte o la totalidad de su contenido constituye requisitos de este documento. Para las referencias fechadas, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento referenciado (incluidas las modificaciones).

ISO 3923-1:2018, Polvos metálicos — Determinación de la densidad aparente — Parte 1: Método del embudo

ISO 3927:2017, Polvos metálicos. Determinación de la compresibilidad en compresión uniaxial.

ISO 4490:2018, Polvos metálicos — Determinación de la distribución del tamaño de partículas

ISO 5755:2012, Materiales metálicos sinterizados — Especificaciones

ISO 3923-1:2018, «Polver metálicos. Determinación de la densidad aparente. Parte 1: Método del embudo».

ISO 3927:2017, Polvos metálicos – Determinación de la compresibilidad bajo compresión uniaxial

ISO 4490:2018, Polvos metálicos – Determinación de la distribución del tamaño de partículas

ISO 5755:2012, Materiales metálicos sinterizados — Especificaciones

3 Términos y definiciones

Los términos y definiciones están agrupados en categorías lógicas para facilitar su comprensión y aplicación dentro del campo de la pulvimetalurgia.

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 Condiciones generales

3.1.1 Metalurgia de polvos (PM)

La pulvimetalurgia (PM) es la rama de la metalurgia que implica la producción de polvos metálicos y la fabricación de artículos a partir de estos polvos, con o sin adiciones no metálicas, a través de procesos como el conformado y la sinterización.

3.1.2 Polvo metálico

Un conjunto de partículas metálicas discretas, típicamente con un rango de tamaño de 1 μm a 500 μm , producidas por atomización, reducción u otros métodos, utilizadas como materia prima en la metalurgia de polvos.

3.1.3 Sinterización

Proceso

de tratamiento térmico realizado a una temperatura inferior al punto de fusión del componente principal, utilizado para unir partículas de polvo en una masa sólida cohesiva, que a menudo implica difusión y densificación.

3.2 Producción y caracterización de polvos

3.2.1 Atomización

Un proceso para producir polvos metálicos mediante la desintegración de una corriente de metal fundido en gotas finas utilizando un gas o líquido a alta presión, que se solidifican en partículas.

3.2.2 Densidad aparente

La masa de un polvo dividida por el volumen que ocupa en un estado suelto y no compactado, normalmente medida en g/cm^3 , y que refleja la eficiencia de empaquetamiento del polvo.

3.2.3 Distribución del tamaño de partículas

El

rango y la frecuencia de los tamaños de partículas dentro de una muestra de polvo, generalmente expresados como un porcentaje de partículas dentro de intervalos de tamaño específicos (por ejemplo, D10, D50, D90).

3.2.4 Caudal Tiempo necesario para que una masa específica de polvo fluya

a través de un embudo estandarizado, medido en segundos por cada 50 g, que indica la fluidez del polvo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 Compactación y conformación

3.3.1 Compactación

Es el proceso

de aplicar presión a una masa de polvo para formar un compacto verde coherente, normalmente mediante prensado uniaxial o prensado isostático en frío (CIP).

3.3.2 Compacto verde Cuerpo

moldeado pero no sinterizado producido mediante la compactación de polvo metálico.

que posee suficiente resistencia para su manipulación pero que requiere sinterización para obtener propiedades finales.

3.3.3 Prensado isostático en frío (CIP)

Un método de compactación

que utiliza un medio fluido para aplicar presión uniforme desde todas las direcciones a un molde flexible lleno de polvo, generalmente a presiones de 100 a 300 MPa.

3.4 Sinterización y densificación

3.4.1 Sinterización en fase líquida

Un proceso de sinterización en el que se forma una fase líquida (por ejemplo , a partir de un aglutinante como el cobalto) a la temperatura de sinterización, mejorando la densificación y la unión de partículas sólidas.

3.4.2 Densificación

La reducción de la porosidad y el aumento de la densidad de un compacto de polvo durante la sinterización, normalmente medida como un porcentaje de la densidad teórica (por ejemplo , 90-99%).

3.4.3 Densidad sinterizada

La

densidad de un material después de la sinterización, expresada como un porcentaje de la densidad teórica del material completamente denso, normalmente entre el 85 y el 99 %.

3.5 Propiedades y pruebas

3.5.1

Dureza La resistencia de un material sinterizado a la deformación plástica, normalmente medida utilizando escalas de dureza Vickers (HV) o Rockwell (HR).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.5.2 Resistencia a la ruptura transversal (TRS)

Es la tensión máxima que una pieza de prueba sinterizada puede soportar en un ensayo de flexión de tres puntos, expresada en MPa, que indica la resistencia mecánica del material.

3.5.3 Porosidad

La fracción de volumen de huecos en un cuerpo sinterizado, expresada como porcentaje, que afecta las propiedades mecánicas y se clasifica en tipos (por ejemplo , A, B, C para metales duros) .

3.6 Aplicaciones y tecnologías relacionadas

3.6.1 Metal duro

Un producto de pulvimetalurgia, normalmente compuesto de carburo de tungsteno (WC) y un aglutinante metálico (por ejemplo , cobalto), utilizado para herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste.

3.6.2 Moldeo por inyección de metal (MIM) Proceso de pulvimetalurgia

que combina polvos metálicos con un aglutinante para formar una materia prima, que se moldea por inyección y posteriormente se sinteriza para producir formas complejas.

3.6.3 Fabricación aditiva (AM) en PM

Un proceso de fabricación aditiva basado en polvo, como la sinterización selectiva por láser (SLS) o la inyección de aglutinante, donde los polvos metálicos se colocan en capas y se fusionan para crear objetos tridimensionales.

4 Índice alfabético

Fabricación aditiva (FA) en PM: 3.6.3

Densidad aparente: 3.2.2

Atomización: 3.2.1

Prensado isostático en frío (CIP): 3.3.3

Compactación: 3.3.1

Densificación: 3.4.2

Caudal: 3.2.4

Pacto verde: 3.3.2

Metal duro : 3.6.1

Dureza: 3.5.1

Sinterización en fase líquida: 3.4.1

Moldeo por inyección de metal (MIM): 3.6.2

Distribución del tamaño de partículas: 3.2.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Porosidad: 3.5.3
Metalurgia de polvos (PM): 3.1.1
Polvo metálico: 3.1.2
Densidad sinterizada: 3,4,3
Sinterización: 3.1.3
Resistencia a la rotura transversal (TRS): 3,5,2
Fabricación aditiva (FA) en pulvimetalurgia: 3.6.3
Densidad aparente: 3,2,2
Atomización: 3.2.1
Prensado isostático en frío (CIP): 3.3.3
Compactación: 3.3.1
Densificación: 3.4.2
Tasa de rotación: 3,2,4
Verde: 3.3.2
Carburo cementado: 3.6.1
Dureza: 3.5.1
Sinterización en fase líquida: 3.4.1
Moldeo por inyección de metal (MIM): 3.6.2
Distribución del tamaño de partículas: 3.2.3
Porosidad: 3.5.3
Metalurgia de polvos (PM): 3.1.1
Polvo metálico: 3.1.2
Densidad sinterizada: 3,4,3
Sinterización: 3.1.3
Resistencia a la rotura transversal (TRS): 3,5,2

Anexo A (Informativo)

A.1 Notas sobre actualizaciones de terminología

La revisión de 2019 introduce términos relacionados con la fabricación aditiva (por ejemplo, 3.6.3) para reflejar la creciente integración de las tecnologías AM en la metalurgia de polvos.

La revisión de 2019 introdujo terminología relacionada con la fabricación aditiva (por ejemplo, 3.6.3) para reflejar la creciente integración de las tecnologías AM en la pulvimetalurgia.

Se han perfeccionado las definiciones de sinterización (3.1.3) y sinterización en fase líquida (3.4.1) para incluir variaciones de procesos modernos, como la sinterización por microondas.

Las definiciones de sinterización (3.1.3) y sinterización en fase líquida (3.4.1) se han perfeccionado para incluir variantes de procesos modernos como la sinterización por microondas.

El término "metal duro" (3.6.1) ahora incluye explícitamente metales duros compuestos con múltiples fases de carburo (por ejemplo, WC -TiC -TaC).

El término "carburo cementado" (3.6.1) ahora incluye explícitamente carburos cementados compuestos que contienen más de una fase de carburo (por ejemplo, WC -TiC- TaC).

A.2 Directrices de solicitud

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

Distribución del tamaño de partículas (3.2.3): debe medirse utilizando métodos estandarizados (por ejemplo , ISO 4490) para garantizar la consistencia en todos los laboratorios.

Distribución del tamaño de partículas (3.2.3): Debe medirse utilizando un método estandarizado (por ejemplo, ISO 4490) para garantizar la consistencia entre laboratorios.

Porosidad (3.5.3): La clasificación en tipos A, B y C es específica de los metales duros y debe cotejarse con la norma ISO 4505 para un análisis detallado.

Porosidad (3.5.3): Las clasificaciones de los tipos A, B y C son específicas de los carburos cementados y deben analizarse en detalle con referencia a la norma ISO 4505.

Anexo B (Informativo)

B.1 Referencia cruzada con la edición anterior

Se conservan los términos de la norma ISO 3252:1999 con actualizaciones menores: "Sinterización" (3.1.3), "Dureza" (3.5.1).

Se mantienen y actualizan ligeramente los términos de la norma ISO 3252:1999: “sinterización” (3.1.3), “dureza” (3.5.1).

Nuevos términos añadidos: “Fabricación aditiva en PM” (3.6.3), “Moldeo por inyección de metal (MIM)” (3.6.2).

Se añaden nuevos términos: “Fabricación aditiva en pulvimetalurgia” (3.6.3), “Moldeo por inyección de metal (MIM)” (3.6.2).

Términos eliminados: Términos obsoletos relacionados con los métodos de producción manual de polvo (por ejemplo , "fresado con martillos") debido a la falta de relevancia actual.

Términos eliminados: Los términos obsoletos relacionados con los métodos de producción manual de polvo (por ejemplo, “molino de martillos”) se eliminaron debido a la falta de relevancia actual.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 2597-2008
carburo cementado
Método de prueba de porosidad

Prefacio

Esta norma especifica el método de ensayo para la porosidad del carburo cementado, con el objetivo de proporcionar una especificación técnica unificada para el ensayo de porosidad del carburo cementado (principalmente carburo cementado WC-Co). Esta norma es aplicable a la determinación de la porosidad en la producción, el control de calidad, la investigación y la aplicación del carburo cementado.

Esta norma se refiere a las normas internacionales ISO 4505:1978 "Examen metalográfico del carburo cementado" y ASTM B276 "Método de ensayo para la porosidad aparente del carburo cementado", y se revisa para adaptarse a las necesidades actuales de la industria nacional del carburo cementado. Esta norma sustituye a las normas pertinentes anteriores.

Esta norma fue propuesta por la Federación de la Industria de Maquinaria de China y gestionada por la Asociación de la Industria del Carburo Cementado de China. Las entidades que la redactaron fueron: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., el Instituto de Investigación de Metales, la Academia China de Ciencias y el Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu.

Los principales redactores de esta norma son:

La presente norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008.

Tabla de contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

4 Métodos de prueba

5 Informe de prueba

Apéndice A (Apéndice informativo) Tabla de grados de porosidad

1 Alcance

Esta norma especifica el método de ensayo para la porosidad del carburo cementado. La porosidad del carburo cementado se determina mediante observación con microscopio metalográfico. Es aplicable al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto).

Este método determina principalmente la porosidad aparente del carburo cementado, incluyendo poros, carbono libre e inclusiones no metálicas. Esta norma es aplicable al control de calidad, la evaluación del rendimiento y la investigación de productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable a la determinación de la porosidad de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

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 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo se aplica la versión a la que se hace referencia. Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la versión más reciente (incluidas todas las modificaciones) a esta norma.

GB/T 3489-2008 Método para la determinación de la microestructura del carburo cementado

GB/T 3849-2008 Determinación de la porosidad del carburo cementado

GB/T 5313-2008 Método de ensayo de estructura metalográfica de carburo cementado

GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Porosidad

La fracción de volumen de poros en el carburo cementado, expresada como porcentaje (%), generalmente se determina observando la superficie pulida bajo un microscopio metalográfico.

3.2 Porosidad aparente

La suma de poros, carbono libre e inclusiones no metálicas observadas mediante microscopio metalográfico en la superficie pulida pero no grabada del carburo cementado.

3.3 Poro

Los huecos en el carburo cementado formados por gas, contracción u otras razones se dividen en tipo A (diámetro $< 10 \mu\text{m}$) y

Tipo B (10-25 μm de diámetro).

3.4 Carbono libre

El carbono en el carburo cementado que no forma carburos con el metal existe en forma de fase C, que generalmente se observa bajo un microscopio metalográfico y se marca como tipo C.

3.5 Inclusión no metálica

Las sustancias no metálicas presentes en el carburo cementado, como los óxidos o sulfuros, que proceden de materias primas o procesos, suelen presentarse en forma de puntos o tiras.

3.6 Grado de porosidad

La porosidad se divide en diferentes grados (como A00, A02, C04, etc.) según el número y distribución de poros, carbono libre e inclusiones no metálicas.

4 Métodos de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Principio

Se observaron los poros, el carbono libre y las inclusiones no metálicas en la superficie pulida del carburo cementado bajo un microscopio metalográfico y se evaluó el grado de porosidad de acuerdo con el atlas estándar en función de su cantidad y distribución.

4.2 Instrumentos y equipos

Microscopio metalográfico: Aumentos 100x a 500x, equipado con oculares y objetivos, con buena resolución ($< 1 \mu\text{m}$).

Equipo de pulido: se utiliza para pulir la superficie de la muestra, la velocidad del disco de pulido es de 200 a 300 rpm y el agente de pulido es pasta de diamante (tamaño de partícula de 1 a $3 \mu\text{m}$).

Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona como agente limpiador.

Tabla de grado de porosidad estándar: La tabla proporcionada en el Apéndice A se utiliza para la evaluación comparativa.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de $< 100 \text{ mm/min}$ para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pule con papel de lija (tamaño de grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pule con pasta de diamante hasta que no queden rayones evidentes en la superficie (rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido y séquela con un paño sin polvo.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Coloque la muestra bajo un microscopio metalográfico, ajuste la fuente de luz a una iluminación uniforme y seleccione un aumento de 200 veces (o ajústelo a 100-500 veces según sea necesario).

4.4.2 Seleccione aleatoriamente cinco campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$) en la superficie de la muestra y observe la distribución de poros, carbono libre e inclusiones no metálicas.

4.4.3 Compare con la tabla de grado de porosidad estándar en el Apéndice A y evalúe el grado de porosidad (Tipo A, Tipo B, Tipo C) de cada campo de visión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.4 Registre el grado de porosidad de cada campo de visión y calcule el valor promedio de los cinco campos de visión como el grado de porosidad final.

4.4.5 Si el contenido de carbono libre (tipo C) es significativo (por ejemplo, superior a CO4), se deben registrar sus características de distribución (por ejemplo, concentrada o dispersa).

4.5 Notas

La superficie de la muestra no debe grabarse para evitar ocultar la verdadera morfología de los poros o el carbono libre.

Evite la observación de las áreas de los bordes de la muestra, ya que pueden verse afectadas por el corte o el pulido.

La fuente de luz del microscopio debe ser uniforme para evitar errores de cálculo debido a una luz desigual.

Si el grado de porosidad varía mucho entre diferentes campos de visión (como A00 y A06), se debe aumentar el número de campos de observación (a 10) para mejorar la precisión.

5 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

Número de muestra y fuente (como marca del material, lote de producción).

Fecha de la prueba y personal de prueba.

Condiciones experimentales: aumento del microscopio, número de campos de visión.

Resultados de la prueba: Grado de porosidad (Tipo A, Tipo B, Tipo C), incluidos los resultados de la evaluación y los valores promedio para cada campo de visión.

Características de distribución de carbono libre (si las hay).

Descripción de condiciones anormales (como defectos superficiales de la muestra, dificultad en la evaluación, etc.).

Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Diagrama de grado de porosidad

La siguiente es una tabla de referencia de los grados de porosidad para evaluar la porosidad tipo A, tipo B y tipo C.

Poros tipo A (diámetro $< 10 \mu\text{m}$) :

A00: Sin poros visibles.

A02: El número de poros es menor a 5 por campo de visión y el área de poros representa menos del 0,02%.

A04: La cantidad de poros es de 5 a 10 por campo de visión y el área de poros representa entre el 0,02 % y el 0,05 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A06: El número de poros es de 10 a 20 por campo de visión y el área de poros representa entre el 0,05 % y el 0,1 %.

A08: Número de poros > 20/campo de visión, relación de área de poro > 0,1 %.

Poros tipo B (diámetro 10-25 μm) :

B00: Sin poros visibles.

B02: El número de poros es menor a 3 por campo de visión y el área de poros representa menos del 0,01%.

B04: El número de poros es de 3 a 5 por campo de visión y el área de poros representa entre el 0,01 % y el 0,03 %.

B06: El número de poros es de 5 a 10/campo de visión y el área de poros representa entre el 0,03 % y el 0,05 %.

B08: Número de poros > 10/campo de visión, relación de área de poro > 0,05%.

Carbono libre tipo C:

C00: No hay carbono libre visible.

C02: El área de carbono libre representa <0,02% y está distribuida uniformemente.

C04: El área libre de carbono representa el 0,02%-0,05%, la cual se concentra localmente.

C06: El área libre de carbono representa el 0,05%-0,1% y está distribuida de forma concentrada.

C08: El área libre de carbono representa >0,1%, distribuida en una gran área.

A.2 Instrucciones de uso

El grado de porosidad debe evaluarse basándose en el atlas estándar más cercano.

Si la muestra tiene poros de tipo A y tipo B, deben evaluarse y registrarse por separado.

Al evaluar el carbono libre (tipo C), se debe prestar atención a sus características de distribución, que pueden afectar las propiedades del material (como la reducción de la resistencia al desgaste).

Lo anterior presenta el contenido completo en chino de la norma GB/T 2597-2008, Método de ensayo para la porosidad del carburo cementado. Este abarca todas las partes necesarias de la norma, incluyendo el alcance, la terminología, los métodos de ensayo y los apéndices, para garantizar su exhaustividad y viabilidad. Si se requieren ajustes o adiciones adicionales, proporcione información más específica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 3489-2008
carburo cementado

Método de determinación de la microestructura

Prefacio

Esta norma especifica el método de determinación de la microestructura del carburo cementado, con el objetivo de proporcionar una especificación técnica unificada para el análisis de la microestructura del carburo cementado (principalmente carburo cementado WC-Co). Esta norma es aplicable a la determinación de la microestructura en la producción, el control de calidad, la investigación y la aplicación del carburo cementado.

Esta norma se refiere a la norma internacional ISO 4497:1983 "Examen metalográfico del carburo cementado" y se revisa para adaptarla a las necesidades actuales de la industria nacional del carburo cementado. Esta norma sustituye a las normas pertinentes anteriores.

Esta norma fue propuesta por la Federación de la Industria de Maquinaria de China y gestionada por la Asociación de la Industria del Carburo Cementado de China. Las entidades que la redactaron fueron: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., el Instituto de Investigación de Metales, la Academia China de Ciencias y el Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu.

Los principales redactores de esta norma son:

La presente norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008.

Tabla de contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

4 Métodos de prueba

5 Informe de prueba

Apéndice A (Apéndice informativo) Diagrama de características de la microestructura

1 Alcance

Esta norma especifica el método para determinar la microestructura del carburo cementado mediante observación con microscopio metalográfico para analizar el tamaño de grano, la distribución de fases, la porosidad y otras características microestructurales del carburo cementado. Es aplicable al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto).

Este método determina principalmente las siguientes características microestructurales del carburo cementado: tamaño de grano de WC, distribución de la fase de cobalto, porosidad, carbono libre, inclusiones no metálicas y estructuras anormales (como la fase η). Esta norma es aplicable al control de calidad, la evaluación del rendimiento y la investigación de productos 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

Esta norma no es aplicable a la determinación de la microestructura de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo se aplica la versión a la que se hace referencia. Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la versión más reciente (incluidas todas las modificaciones) a esta norma.

GB/T 2597-2008 Método de prueba para la porosidad del carburo cementado

GB/T 3849-2008 Determinación de la porosidad del carburo cementado

GB/T 5313-2008 Método de prueba de estructura metalográfica de carburo cementado

GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Microestructura

La microestructura del carburo cementado observada bajo un microscopio metalográfico incluye la distribución y morfología de la fase dura (WC), la fase de enlace (Co), los poros, el carbono libre y las inclusiones no metálicas.

3.2 Tamaño del grano

El tamaño promedio de partícula de los granos de WC en carburo cementado se mide en micrómetros (μm), generalmente mediante el método de sección transversal o el método de intersección lineal.

3.3 Fase aglutinante

El componente metálico que proporciona tenacidad y une la fase dura en el carburo cementado suele ser el cobalto (Co), y sus características de distribución afectan las propiedades del material.

3.4 Porosidad

La fracción de volumen de poros en el carburo cementado, expresada como porcentaje (%), se divide en tipo A (diámetro $<10\ \mu\text{m}$), tipo B (diámetro $10\text{-}25\ \mu\text{m}$) y tipo C (carbono libre).

3.5 carbono libre

El carbono en el carburo cementado que no forma carburos con el metal existe en forma de fase C y generalmente se observa a través de un microscopio metalográfico.

3.6 Inclusión no metálica

Las sustancias no metálicas presentes en el carburo cementado, como los óxidos o sulfuros, que proceden de materias primas o procesos, suelen presentarse en forma de puntos o tiras.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.7 Fase Eta

El $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) formado debido a un contenido insuficiente de carbono en el carburo cementado generalmente aparece como triángulos oscuros o formas irregulares, lo que afecta las propiedades del material.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

La superficie pulida y grabada del carburo cementado se observa bajo un microscopio metalográfico para analizar el tamaño del grano de WC, la distribución de la fase de cobalto, la porosidad, el carbono libre, las inclusiones no metálicas y las estructuras anormales (como la fase η), y las características microestructurales se evalúan de acuerdo con mapas estándar o métodos de cálculo.

4.2 Instrumentos y equipos

Microscopio metalográfico: aumento 100x a 1000x, equipado con oculares y objetivos, con buena resolución ($< 0,5 \mu\text{m}$).

Equipo de pulido: se utiliza para pulir la superficie de la muestra, la velocidad del disco de pulido es de 200 a 300 rpm y el agente de pulido es pasta de diamante (tamaño de partícula de 1 a $3 \mu\text{m}$).

Equipo de grabado: utilice reactivo de Murakami (solución acuosa al 10 % de KOH + 10 % de $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) o una mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico al 5 %.

Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona como agente limpiador.

Diagrama característico de microestructura estándar: de acuerdo con el diagrama proporcionado en el Apéndice A, utilizado para la evaluación comparativa.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras se tomarán de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de $< 100 \text{ mm/min}$ para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pule con papel de lija (tamaño de grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pule con pasta de diamante hasta que no queden rayones evidentes en la superficie (rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido y séquela con un paño sin polvo.

4.3.5 Grabe la superficie de la muestra utilizando el reactivo de Murakami (tiempo de grabado 10-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

20 s) para visualizar los límites del grano de WC y de la fase de cobalto, luego enjuague con agua destilada y seque.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Determinación de la porosidad

4.4.1.1 Sobre la superficie pulida no grabada, utilice un microscopio metalográfico (aumento de 200 veces) para observar los poros, el carbono libre y las inclusiones no metálicas.

4.4.1.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$) y evalúe el grado de porosidad (tipo A, tipo B, tipo C) de acuerdo con GB/T 2597-2008.

4.4.1.3 Registre el grado de porosidad y las características de distribución de carbono libre de cada campo de visión.

4.4.2 Determinación del tamaño del grano

4.4.2.1 Observe los granos de WC en la superficie de la muestra grabada utilizando un microscopio metalográfico (aumento de 500 veces).

4.4.2.2 Seleccione aleatoriamente tres campos de visión y utilice el método de intersección lineal para determinar el tamaño del grano:
 μm de longitud) dentro del campo de visión.

Se registró el número de intersecciones (N) de cada línea recta con el límite de grano WC.

计算平均截距长度 L $\frac{\text{总直线长度}}{\text{相交点数}}$

4.4.2.3 Calcule el tamaño de grano promedio de los tres campos de visión en μm .

4.4.3 Determinación de la distribución de fases de cobalto

Observe la distribución de la fase de cobalto en la superficie de la muestra grabada utilizando un microscopio metalográfico (aumento de 200 veces).

4.4.3.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión para observar si la fase de cobalto está distribuida uniformemente y si hay depósitos de cobalto (tamaño $> 5 \mu\text{m}$).

4.4.3.3 Registrar las características de distribución de la fase de cobalto (uniforme, segregación local, depósitos de cobalto).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.4 Examen de tejido anormal

4.4.4.1 Verificar la fase η : La fase η usualmente aparece como triángulos oscuros o formas irregulares y a menudo se encuentra en muestras con contenido de carbono insuficiente.

4.4.4.2 Verificar inclusiones no metálicas: registrar su forma (puntos, tiras) y distribución.

4.4.4.3 Si se encuentra tejido anormal, se deben tomar fotografías microscópicas y se debe registrar su porcentaje de área (%).

4.5 Notas

El tiempo de grabado debe controlarse estrictamente. Un tiempo demasiado largo puede difuminar los límites del grano, mientras que un tiempo demasiado corto puede impedir que se revele la estructura.

Al observar el tamaño del grano, asegúrese de que la cantidad de granos en el campo de visión sea >100 para mejorar la precisión estadística.

Al evaluar la distribución de la fase de cobalto, se debe tener cuidado de distinguir entre depósitos y poros de cobalto para evitar errores de juicio.

Si la muestra tiene una estructura anormal (por ejemplo, una relación de fase $\eta > 1\%$), se debe analizar su causa (por ejemplo, contenido de carbono insuficiente, temperatura de sinterización excesiva).

5 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

Número de muestra y fuente (como marca del material, lote de producción).

Fecha de la prueba y personal de prueba.

Condiciones de prueba: aumento del microscopio, número de campos de visión, agente grabador y tiempo de grabado.

Resultados de la prueba:

Grado de porosidad (Tipo A, Tipo B, Tipo C).

de WC (valor promedio y rango, en μm).

Características de distribución de fases de cobalto.

Descripción y proporción de estructuras anormales (como la fase η e inclusiones no metálicas).

Micrografías (si están disponibles).

Descripción de condiciones anormales (como defectos superficiales de la muestra, dificultad en la evaluación, etc.).

Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

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

A.1 Características de la microestructura

El siguiente es un atlas de referencia de características microestructurales utilizadas para evaluar la microestructura del carburo cementado.

Tamaño de grano WC:

de grano $<0,5 \mu\text{m}$.

Grano fino: tamaño medio de grano $0,5-1,0 \mu\text{m}$.

Mesocrystalino : tamaño promedio de grano $1,0-2,0 \mu\text{m}$.

Grano grueso: tamaño medio de grano $> 2,0 \mu\text{m}$.

de fases de cobalto :

Distribución uniforme: no hay segregación obvia de la fase de cobalto y el conjunto de cobalto es <1 por campo de visión.

Segregación local: 1-3 depósitos de cobalto/campo de visión, tamaño $5-10 \mu\text{m}$.

de cobalto >3 /campo de visión, tamaño $>10 \mu\text{m}$.

fase η :

Sin fase η : no hay triángulos oscuros ni estructuras irregulares en el campo de visión.

Una pequeña cantidad de relación fase η : área $<1\%$, distribución dispersa.

Gran cantidad de fase η : participación del área $>1\%$, distribución concentrada.

A.2 Instrucciones de uso

La evaluación del tamaño de grano debe basarse en el método de intersección lineal. Si se utilizan otros métodos (como el análisis de imágenes), deben explicarse.

La distribución de la fase de cobalto requiere un análisis exhaustivo combinado con las propiedades del material (como la tenacidad y la resistencia al desgaste).

La presencia de la fase η generalmente indica un contenido de carbono insuficiente y se recomienda un análisis más detallado de la composición química y los parámetros del proceso.

Lo anterior presenta el contenido completo en chino de la norma GB/T 3489-2008, Método de Determinación de la Microestructura del Carburo Cementado. Este abarca todas las partes necesarias de la norma, incluyendo su alcance, terminología, métodos de ensayo y apéndices, para garantizar su exhaustividad y viabilidad. Si se requieren ajustes o adiciones adicionales, proporcione información más específica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 5248-2008
carburo cementado
Métodos de análisis químico

Prefacio

Esta norma especifica los métodos de análisis químico de los elementos principales y las impurezas presentes en el carburo cementado, con el objetivo de proporcionar una especificación técnica unificada para el análisis de la composición química del carburo cementado (principalmente carburo cementado WC-Co). Esta norma es aplicable a la determinación de la composición química en la producción, el control de calidad, la investigación y la aplicación del carburo cementado.

Esta norma se refiere a la norma internacional ASTM E352 "Métodos de análisis químico para aceros para herramientas y otros aceros de media y alta aleación" y se revisa de acuerdo con las necesidades reales de la industria nacional del carburo cementado. Esta norma sustituye a las normas pertinentes anteriores.

Esta norma fue propuesta por la Federación de la Industria de Maquinaria de China y gestionada por la Asociación de la Industria del Carburo Cementado de China. Las entidades que la redactaron fueron: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., el Instituto de Investigación de Metales, la Academia China de Ciencias y el Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu.

Los principales redactores de esta norma son:

La presente norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008.

Tabla de contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

4 Requisitos generales

5 métodos de análisis

6 Informe de prueba

Apéndice A (Apéndice informativo) Ámbito de aplicación del método de análisis

1 Alcance

Esta norma especifica los métodos de análisis químico para tungsteno (W), cobalto (Co), carbono (C), titanio (Ti), tántalo (Ta), niobio (Nb) e impurezas comunes (como Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P) en carburo cementado. Esta norma es aplicable a la determinación de la composición química del carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto).

Este método incluye la determinación de los siguientes elementos:

Elementos principales: tungsteno, cobalto, carbono total, carbono libre.

Elementos menores: titanio, tantalio, niobio.

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

Elementos de impureza: hierro, níquel, cromo, molibdeno, silicio, aluminio, azufre, fósforo.
Esta norma se aplica al control de calidad, la evaluación del rendimiento y la investigación de productos de carburo cementado.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Para cualquier documento referenciado con fecha, solo se aplica la versión a la que se hace referencia. Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la versión más reciente (incluidas todas las modificaciones) a esta norma.

GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado

GB/T 223.5-2008 Métodos de análisis químico para acero y aleaciones - Destilación reductora - Método fotométrico de azul de metileno para la determinación del contenido de azufre

GB/T 223.9-2008 Métodos de análisis químico para hierro, acero y aleaciones - Método fotométrico de cromo azul S para la determinación del contenido de aluminio

GB/T 223.11-2008 Métodos de análisis químico para hierro, acero y aleaciones - Método volumétrico de sulfato de amonio-sulfato ferroso de amonio para la determinación del contenido de cromo

GB/T 223.23-2008 Métodos de análisis químico para hierro, acero y aleaciones - Método espectrofotométrico de dimetilglioxima para la determinación del contenido de níquel

GB/T 223.59-2008 Métodos de análisis químico para hierro, acero y aleaciones - Método de titulación de arsenito de sodio -nitrito de sodio para la determinación del contenido de fósforo

GB/T 4698.1-2008 Métodos de análisis químico para esponjas de titanio, titanio y aleaciones de titanio Parte 1: Generalidades

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Aleación dura

Los productos de pulvimetalurgia con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contienen aglutinante metálico (como cobalto) se utilizan generalmente para herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste, etc.

3.2 Carbono total

El contenido de carbono en todas las formas del carburo cementado, incluido el carbono combinado (carbono en WC) y el carbono libre.

3.3 Carbono libre

El carbono en el carburo cementado que no forma carburos con el metal existe en forma de fase C.

3.4 Análisis químico

El proceso de determinar el contenido de cada elemento en el carburo cementado mediante métodos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

químicos o instrumentales.

3.5 Elemento de impureza

Oligoelementos presentes en el carburo cementado derivados de materias primas o procesos, como Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P, etc.

4 Requisitos generales

4.1 Requisitos de la muestra

4.1.1 Las muestras se tomarán de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. Su masa suele ser de 0,5 g a 2,0 g.

4.1.2 La superficie de la muestra debe estar libre de incrustaciones, aceite u otras impurezas. De ser necesario, se pulirá con papel de lija y se limpiará con etanol.

4.1.3 La muestra debe triturarse hasta un tamaño de partícula inferior a 0,15 mm (100 mallas) para evitar la introducción de impurezas.

4.2 Requisitos de reactivos

4.2.1 Todos los reactivos deben ser de grado analítico o de mayor pureza y el agua utilizada debe ser agua destilada o desionizada.

4.2.2 Las soluciones ácidas (como HCl, HNO₃, HF) deben prepararse en concentraciones específicas para garantizar que no haya interferencia de impurezas.

4.3 Requisitos del instrumento

4.3.1 Balanza analítica: sensibilidad 0,0001 g.

4.3.2 Horno de inducción de alta frecuencia: se utiliza para el análisis de combustión de carbono y azufre.

4.3.3 Espectrofotómetro: se utiliza para la determinación fotométrica del contenido de elementos.

4.3.4 Espectrómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES): se utiliza para el análisis simultáneo de múltiples elementos.

4.4 Requisitos de seguridad

4.4.1 Use gafas y guantes protectores durante la operación para evitar salpicaduras de ácido o 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

inhalación de gases nocivos.

4.4.2 Al operar un horno de inducción de alta frecuencia, preste atención a la protección contra altas temperaturas para evitar quemaduras.

5 métodos de análisis

5.1 Determinación de tungsteno (W)

5.1.1 Principio del método

La muestra se descompuso con ácido mixto HCl-HNO_3 , el tungsteno se precipitó en forma de ácido tungstico y el contenido de tungsteno se determinó mediante titulación con sulfato ferroso de amonio.

5.1.2 Reactivos

Clorhidrato (1+1).

HNO_3 (1+1).

Solución estándar de sulfato ferroso de amonio (0,1 mol/L).

Solución de ácido tartárico (10%).

5.1.3 Pasos

5.1.3.1 Pesar 0,5 g de muestra (con una precisión de 0,0001 g) y colocarlo en un vaso de precipitados de 250 mL.

5.1.3.2 Añadir 20 mL de HCl (1+1) y 5 mL de HNO_3 (1+1) y calentar hasta que la muestra esté completamente descompuesta.

5.1.3.3 Agregue 5 mL de solución de ácido tartárico (10%), revuelva uniformemente y enfríe a temperatura ambiente.

5.1.3.4 Titular con solución estándar de sulfato ferroso de amonio hasta el punto final (la solución cambia de amarilla a incolora).

5.1.3.5 Cálculo del contenido de tungsteno:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$W(\%) = \frac{(V \times c \times M_W) \times 100}{m \times 1000}$$

式中：

- V ：硫酸亚铁铵标准溶液消耗体积（mL）；
- c ：硫酸亚铁铵标准溶液浓度（mol/L）；
- M_W ：钨的摩尔质量（183.84 g/mol）；
- m ：试样质量（g）。

5.2 Determinación de cobalto (Co)

5.2.1 Principio del método

Se descompuso con HCl-HNO₃ y el cobalto se determinó mediante espectrofotometría de dimetilglioxima.

5.2.2 Reactivos

Clorhidrato (1+1).

HNO₃ (1+1).

Solución de dimetilglioxima (1%).

Agua amoniacal (1+1).

5.2.3 Pasos

5.2.3.1 Pesar 0,5 g de muestra (con una precisión de 0,0001 g) y colocarlo en un vaso de precipitados de 250 mL.

5.2.3.2 Añadir 20 mL de HCl (1+1) y 5 mL de HNO₃ (1+1) y calentar hasta descomponer.

5.2.3.3 Después de enfriar, agregue 5 mL de solución de dimetilglioxima (1%) y ajuste el pH a 8-9 con amoníaco acuoso.

5.2.3.4 Mida la absorbancia a una longitud de onda de 510 nm en un espectrofotómetro.

5.2.3.5 Calcular el contenido de cobalto según la curva estándar.

5.3 Determinación de carbono total (C) y carbono libre (C)

5.3.1 Principio del método

El carbono total se determina mediante el método de combustión en horno de inducción de alta frecuencia, el carbono libre se determina después de la separación mediante el método de hidrólisis ácida y el carbono combinado se calcula restando el carbono libre del carbono total.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.2 Instrumentos

Horno de inducción de alta frecuencia.

Analizador de carbono y azufre por absorción infrarroja .

5.3.3 Pasos

5.3.3.1 Determinación de carbono total :

Pesar 0,2 g de muestra (con una precisión de 0,0001 g) y colocarla en un horno de inducción de alta frecuencia.

El contenido de carbono del CO₂ generado se determina mediante el método de absorción infrarroja.

5.3.3.2 Determinación de carbono libre:

Pesar 1,0 g de muestra, colocarlo en un vaso de precipitados de 250 mL, agregar 50 mL de HCl (1+1) y calentar hasta que el carbono libre se separe completamente.

El residuo se filtra, se lava y se seca, y se determina el contenido de carbono libre utilizando un horno de inducción de alta frecuencia.

5.3.3.3 Cálculo del carbono combinado:

$$C_{\text{化合}} = C_{\text{总}} - C_{\text{游离}}$$

5.4 Determinación de titanio (Ti), tantalio (Ta) y niobio (Nb)

5.4.1 Principio del método

Las muestras fueron descompuestas por HCl-HF y los elementos fueron determinados por espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

5.4.2 Pasos

5.4.2.1 Pesar 0,5 g de muestra, colocar en un vaso de precipitados de politetrafluoroetileno, añadir 10 mL de HCl (1+1) y 5 mL de HF (40%) y calentar hasta descomponer.

5.4.2.2 Después de enfriar, completar hasta 100 mL.

5.4.2.3 Las intensidades del espectro de emisión de Ti, Ta y Nb se midieron mediante ICP-AES. Las longitudes de onda fueron:

Ti: 334,941 nm;

Ta: 240,063 nm;

Número: 316,340 nm.

5.4.2.4 Calcular el contenido de cada elemento según la curva estándar.

5.5 Determinación de elementos de impureza (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5.1 Principio del método

Los elementos de impureza se determinaron mediante ICP-AES, el azufre se determinó mediante el método de combustión en horno de inducción de alta frecuencia y el fósforo se determinó mediante el método de titulación de arsenito de sodio -nitrito de sodio.

5.5.2 Pasos

5.5.2.1 Determinación de Fe, Ni, Cr, Mo, Si y Al:

Al igual que en el paso 5.4.2, las longitudes de onda son:

Fe: 238,204 nm;

Ni: 231,604 nm;

Cr: 267,716 nm;

Mo: 202.030 nm;

Si: 251,611 nm;

Al: 396,152 nm.

5.5.2.2 Determinación de azufre:

Al igual que el paso 5.3.3.1, determine el contenido de azufre mediante el método de absorción infrarroja.

5.5.2.3 Determinación de fósforo:

Determinar mediante el método de titulación de arsenito de sodio -nitrito de sodio según GB/T 223.59-2008.

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

Número de muestra y fuente (como marca del material, lote de producción).

Fecha de la prueba y personal de prueba.

Condiciones de prueba: modelo del instrumento, método de análisis.

Resultados de la prueba: contenido de cada elemento (%), incluidos tungsteno, cobalto, carbono total, carbono libre, titanio, tantalio, niobio y elementos de impurezas.

Descripción de condiciones anormales (como muestras desiguales, interferencias analíticas, etc.).

Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Ámbito de aplicación del método analítico

Tungsteno (W): 50%-95%, método de titulación de sulfato ferroso de amonio.

Cobalto (Co): 1%-30%, espectrofotometría de dimetilglioxima.

Carbono total (C): 4%-7%, método de combustión en horno de inducción de alta frecuencia.

Carbono libre (C): 0,01%-0,5%, método de hidrólisis ácida.

Titanio (Ti), tantalio (Ta), niobio (Nb): 0,1%-10%, método ICP-AES.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elementos de impureza (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al): 0,001%-1%, método ICP-AES.

Azufre (S): 0,001%-0,05%, método de combustión en horno de inducción de alta frecuencia.

Fósforo (P): 0,001%-0,05%, método de titulación arsenito de sodio-nitrito de sodio.

A.2 Notas

contenido de tungsteno, se debe evitar la precipitación incompleta del ácido túngstico y se puede realizar una precipitación repetida si es necesario.

contenido de cobalto, el método de dimetilglioxima puede verse interferido por Ni y debe separarse antes de la determinación.

Al realizar mediciones con ICP-AES, el instrumento debe calibrarse para garantizar la coincidencia de la matriz.

Lo anterior presenta el contenido completo en chino de la norma GB/T 5248-2008, Métodos de análisis químico para carburo cementado. Este abarca todas las partes necesarias de la norma, incluyendo el alcance, la terminología, los métodos de análisis y los apéndices, para garantizar su exhaustividad y viabilidad. Si se requieren ajustes o adiciones adicionales, proporcione información más específica.

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:

GB/T 5313-2008
carburo cementado
Método de inspección de estructuras metalográficas

Prefacio

Esta norma especifica el método de inspección de la estructura metalográfica del carburo cementado, con el objetivo de proporcionar

Esta norma es aplicable a la producción de carburo cementado, control de calidad,

Análisis metalográfico en investigación y aplicaciones.

Esta norma se refiere a la norma internacional ISO 4499-1:2008 "Métodos para el examen metalográfico de carburos cementados Parte 1: Principios generales".

Esta norma se revisa de acuerdo con las necesidades reales de la industria nacional del carburo cementado. Esta norma sustituye a las normas pertinentes anteriores.

Esta norma fue propuesta por la Federación de la Industria de Maquinaria de China y es administrada por la Asociación de la Industria de Carburo Cementado de China.

Las unidades de redacción incluyen: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Instituto de Investigación de Metales, Academia China de Ciencias, Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu

Los principales redactores de esta norma son:

La presente norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008.

Contenido

1 Rango 3	
2 Referencias normativas 3	
3 Términos y definiciones 3	
3.1 Estructura metalográfica 3	
de grano . . .	
3.3 Distribución de fases de cobalto 3	
3.4 Porosidad . . .	
Carbono libre . . .	
3.6 Inclusión no metálica 4	
3.7 Fase Eta. 4	
4 Métodos de prueba 4	
4.1 Principio . . .	
4.2 Instrumentos y equipos . . .	
4.3 Preparación de probetas . . .	
4.4 Procedimientos de prueba . . .	
4.4.1 Prueba de porosidad . . .	
4.4.2 Inspección del tamaño del grano WC. . .	

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

4.4.3 Prueba de distribución de fases de cobalto. ...

4.4.4 Examen de tejido anormal

4.5 Notas

5. Evaluación de los resultados de las pruebas 6

5.1 Evaluación de la porosidad

5.2 Evaluación del tamaño del grano

5.3 Evaluación de la distribución de fases de cobalto

1

5.4 Evaluación de tejido anormal

6 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método de inspección de la estructura metalográfica del carburo cementado. Características microestructurales, incluido el tamaño del grano de WC, la distribución de la fase de cobalto, la porosidad, el carbono libre, las inclusiones no metálicas y las anomalías.

Esta norma se aplica al carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto).

Carburo cementado.

Este método es adecuado para el control de calidad, la evaluación del rendimiento y la inspección de la estructura metalográfica en la investigación de productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable al examen metalográfico de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado
- GB/T 2597-2008 Método de prueba para la porosidad del carburo cementado
- GB/T 3489-2008 Método de determinación de la microestructura del carburo cementado
- GB/T 5248-2008 Métodos de análisis químico para carburo cementado

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Estructura metalográfica

La microestructura del carburo cementado observada bajo un microscopio metalográfico incluye fase dura (WC), fase aglutinante (Co), poros,

Distribución y morfología del carbono libre y de inclusiones no metálicas.

Tamaño de grano de 3,2 WC

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

El tamaño promedio de partícula de carburo de tungsteno (WC) en carburo cementado se mide en micrómetros (μm), generalmente mediante el método de intersección lineal o Determinación mediante análisis de imágenes.

3.3 Distribución de fases de cobalto

Los estados de distribución de la fase aglutinante de cobalto (Co) en el carburo cementado se dividen en distribución uniforme, segregación local y acumulación de cobalto.

3.4 Porosidad

La fracción de volumen de poros en el carburo cementado, expresada como porcentaje (%), se divide en tipo A (diámetro $<10\ \mu\text{m}$), tipo B ($10\text{-}25\ \mu\text{m}$ de diámetro) y tipo C (carbono libre).

3.5 carbono libre

El carbono del carburo cementado que no forma carburos con el metal existe en forma de fase C, generalmente en forma de partículas negras.

3.6 Inclusión no metálica

Sustancias no metálicas en el carburo cementado, como óxidos o sulfuros, derivadas de materias primas o procesos, generalmente en forma de puntos o tiras.
Existencia.

3.7 Fase Eta

CoWC) formados debido a un contenido insuficiente de carbono en el carburo cementado suelen ser triángulos oscuros o
Forma regular.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

La superficie del carburo cementado después del pulido y grabado se observó mediante un microscopio metalográfico para analizar el tamaño del grano de WC, la distribución de la fase de cobalto y la densidad de poros .
porosidad, carbono libre, inclusiones no metálicas y estructuras anormales (como fases), y compararlas con atlas estándar para su evaluación.

4.2 Instrumentos y equipos

- Microscopio metalúrgico: aumento de 100x a 1000x, equipado con ocular y lente objetivo, con buena resolución ($<0,5\ \mu\text{m}$).
- Equipo de pulido: se utiliza para pulir la superficie de la muestra, la velocidad del disco de pulido es de 200 a 300 rpm, el agente de pulido es pasta de diamante (grano

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diámetro 1-3 μm).

- Equipo de grabado: utilice reactivo de Murakami (solución acuosa al 10 % de KOH + 10 % de $\text{K}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) o 5 %

Mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico.

- Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona como agente de limpieza.
- Diagrama característico de la estructura metalográfica estándar: de acuerdo con el diagrama proporcionado en el Apéndice A, se utiliza para la evaluación comparativa.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 5 mm.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de <100 mm/min para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pulió con papel de lija (grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pulió con pasta de diamante hasta que la superficie Sin arañazos evidentes (rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido. Seque con un paño.

4.3.5 Grabe la superficie de la muestra utilizando el reactivo de Murakami (tiempo de grabado 10-20 s) para revelar los granos de WC y las fases de cobalto. Luego se enjuagaron los bordes con agua destilada y se secaron.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Prueba de porosidad

4.4.1.1 Sobre la superficie pulida sin grabar, utilice un microscopio metalográfico (aumento de 200 veces) para observar los poros y el carbono libre. e inclusiones no metálicas.

4.4.1.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$) y evalúe la porosidad de acuerdo con GB/T 2597-2008. Grado de calificación (Tipo A, Tipo B, Tipo C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.1.3 Registre el grado de porosidad y las características de distribución de carbono libre de cada campo de visión.

4.4.2 Inspección del tamaño del grano de WC

Observe los granos de WC en la superficie de la muestra grabada utilizando un microscopio metalográfico (aumento de 500 veces) .

4.4.2.2 Seleccione aleatoriamente tres campos de visión y utilice el método de intersección lineal para determinar el tamaño del grano:

- Dibuje 10 líneas rectas aleatorias (cada una de aproximadamente 100 μm de longitud) dentro del campo de visión.

- Registrar el número de intersecciones (N) de cada línea con el límite de grano WC.

- Calcular la longitud de intersección promedio $L = \text{longitud total de la línea recta}$

Puntos de intersección totales.

- Tamaño de grano $d = 1,56 \times L$.

4.4.2.3 Calcule el tamaño de grano promedio de los tres campos de visión en μm .

4.4.3 Prueba de distribución de fases de cobalto

Observe la distribución de la fase de cobalto en la superficie de la muestra grabada utilizando un microscopio metalográfico (aumento de 200 veces) .

4.4.3.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión para observar si la fase de cobalto está distribuida uniformemente y si hay depósitos de cobalto (tamaño $> 5 \mu\text{m}$).

4.4.3.3 Registrar las características de distribución de la fase de cobalto (uniforme, segregación local, depósitos de cobalto).

4.4.4 Examen de tejido anormal

4.4.4.1 Fase de inspección: La fase generalmente aparece como triángulos oscuros o formas irregulares y se encuentra a menudo en muestras con un contenido de carbono insuficiente.

4.4.4.2 Verificar inclusiones no metálicas: registrar su forma (puntos, tiras) y distribución.

4.4.4.3 Si se encuentra tejido anormal, se deben tomar fotografías microscópicas y se debe registrar su porcentaje de área (%).

4.5 Notas

El tiempo de grabado debe controlarse estrictamente. Un tiempo demasiado largo puede difuminar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

los límites del grano, mientras que un tiempo demasiado corto puede impedir que se revele la estructura.

- Al observar el tamaño del grano, asegúrese de que la cantidad de granos en el campo de visión sea >100 para mejorar la precisión estadística.
- Al evaluar la distribución de la fase de cobalto, se debe tener cuidado de distinguir entre depósitos de cobalto y poros para evitar errores de juicio.
- Si la muestra tiene una estructura anormal (por ejemplo, una relación de fases $>1\%$), se debe analizar la causa (por ejemplo, un contenido de carbono insuficiente, sinterización). la temperatura es demasiado alta).

5. Evaluación de los resultados de las pruebas

5.1 Evaluación de la porosidad

Según GB/T 2597-2008, la porosidad se divide en tipo A, tipo B y tipo C. Los resultados de la evaluación se basan en 5 campos de visión.

Se indica nota media.

5.2 Evaluación del tamaño del grano

El tamaño de grano de WC se clasifica en los siguientes grados:

- Grano ultrafino: $<0,5\ \mu\text{m}$;
- Grano fino: $0,5-1,0\ \mu\text{m}$;
- Mesograno : $1,0-2,0\ \mu\text{m}$;
- Grano grueso: $>2,0\ \mu\text{m}$.

5.3 Evaluación de la distribución de la fase de cobalto

La distribución de fases de cobalto se divide en:

- Distribución uniforme: sin segregación evidente, reserva de cobalto $<1/\text{campo de visión}$;
- Segregación local: 1-3 depósitos de cobalto/campo de visión, tamaño $5-10\ \mu\text{m}$;
- Segregación severa: depósitos de cobalto $>3/\text{campo}$, tamaño $>10\ \mu\text{m}$.

5.4 Evaluación de tejido anormal

La relación de áreas entre fases e inclusiones no metálicas debe ser inferior al 1% . Si supera el 1% , se debe marcar como no cualificado y analizar la causa.

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones experimentales: aumento del microscopio, número de campos de visión, agente grabador y tiempo de grabado.
- Resultados de la prueba:
 - Clase de porosidad (Tipo A, Tipo B, Tipo C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Tamaño de grano WC (valor medio y rango, μm).
- Características de distribución de fases de cobalto.
- Descripción y proporción de estructuras anormales (ej. fases, inclusiones no metálicas).
- Micrografías (si están disponibles).
- Descripción de condiciones anormales (como defectos superficiales de la muestra, dificultad en la evaluación, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Características de la estructura metalográfica

El siguiente es un atlas de referencia de las características de la estructura metalográfica, que se utiliza para evaluar la microestructura del carburo cementado.

• Tamaño de grano WC:

- Grano ultrafino: tamaño medio de grano $<0,5 \mu\text{m}$.
- Grano fino: tamaño medio de grano $0,5-1,0 \mu\text{m}$.
- Mesocristalino : tamaño medio de grano $1,0-2,0 \mu\text{m}$.
- Grano grueso: tamaño medio de grano $>2,0 \mu\text{m}$.

• Distribución de fases de cobalto:

- Distribución uniforme: no hay segregación obvia de la fase de cobalto y el depósito de cobalto es <1 por campo de visión.
- Segregación local: 1-3 depósitos de cobalto/campo de visión, tamaño $5-10 \mu\text{m}$.
- Segregación severa: depósitos de cobalto >3 /campo de visión, tamaño $>10 \mu\text{m}$.

• Mutuamente:

- Sin fase: No se observan triángulos oscuros ni estructuras irregulares en el campo de visión.
- Fase menor: participación en el área $<1\%$, distribución dispersa.
- Fase masiva: representa $>1\%$ del área y está distribuida de manera concentrada.

A.2 Instrucciones de uso

La evaluación del tamaño del grano debe basarse principalmente en el método de intersección lineal. Si se utiliza análisis de imágenes, debe indicarse.

- La evaluación de la distribución de la fase de cobalto requiere un análisis exhaustivo combinado con las propiedades del material (como tenacidad y resistencia al desgaste).
- La presencia de fases generalmente indica un contenido de carbono insuficiente y se recomienda un análisis más detallado de la composición química y de los parámetros del proceso.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 7997-2008
carburo cementado
Método de prueba de dureza Vickers

Prefacio

Esta norma especifica el método de prueba para la dureza Vickers del carburo cementado, que está destinado al carburo cementado (principalmente aleación dura WC-Co).

Esta norma es aplicable a la producción, control de calidad e investigación de carburo cementado. Determinación de la dureza Vickers en aplicaciones.

Esta norma se refiere a la norma internacional ISO 3878:1987 "Ensayo de dureza Vickers y dureza Rockwell para carburo cementado" y combina

Industria nacional del carburo cementado. Esta norma sustituye a las normas pertinentes anteriores.

Esta norma fue propuesta por la Federación de la Industria de Maquinaria de China y es administrada por la Asociación de la Industria de Carburo Cementado de China.

Las unidades de redacción incluyen: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Instituto de Investigación de Metales, Academia China de Ciencias, Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu

Lugar.

Los principales redactores de esta norma son:

La presente norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008.

Contenido

1 Rango 2
2 Referencias normativas2
3 Términos y definiciones2
3.1 Dureza Vickers 2
3.2 Sangría
3.3 Cargar
3.4 Tiempo de permanencia
4 Método de prueba 2
4.1 Principio
4.2 Instrumentos y equipos
4.3 Preparación de probetas
4.4 Condiciones de prueba
4.5 Procedimientos de prueba
4.6 Notas
5 Cálculo y presentación de resultados 4
5.1 Cálculo 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

5.2 Expresión de resultados

6 Informe de prueba 4

1 Alcance

Esta norma especifica el método de prueba para la dureza Vickers del carburo cementado, que es aplicable al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene

Carburo cementado con aglutinante metálico (como cobalto). El método de ensayo incluye la preparación de la muestra, la selección de la condición de ensayo, la medición de la indentación y... Cálculo del valor de dureza.

Esta norma se aplica a las pruebas de dureza Vickers en el control de calidad, la evaluación del rendimiento y la investigación de productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable a la determinación de la dureza de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado
- GB/T 4340.1-2009 Prueba de dureza Vickers para materiales metálicos Parte 1: Método de prueba

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Dureza Vickers

El penetrador de pirámide tetraédrica de diamante se presiona en la superficie de la muestra y se mide la longitud diagonal de la sangría bajo una carga específica para calcular

El valor de dureza se expresa en HV.

3.2 Sangría

En la prueba de dureza Vickers, el penetrador de pirámide cuadrangular de diamante deja una hendidura cuadrada en la superficie de la muestra.

3.3 Carga

La fuerza aplicada al penetrador, en Newtons (N), se selecciona de acuerdo con la dureza y el espesor de la muestra.

3.4 Tiempo de permanencia

El tiempo que el penetrador retiene la carga después de aplicarla, medido en segundos (s),

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

generalmente 10-15 segundos.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

Utilizando un probador de dureza Vickers, se presiona un penetrador de pirámide cuadrangular de diamante (ángulo de vértice de 136°) en la superficie de la muestra bajo una carga específica para medir la dureza.

La longitud diagonal de la sangría se utiliza para calcular el valor de dureza según la fórmula.

4.2 Instrumentos y equipos

- Probador de dureza Vickers: de acuerdo con GB/T 4340.1-2009, el rango de carga es de 1 kgf a 120 kgf (9,807 N hasta 1177 N), con una precisión de medición de $0,5 \mu\text{m}$.
- Equipo de pulido: se utiliza para pulir la superficie de la muestra, el agente de pulido es pasta de diamante (tamaño de partícula $1-3 \mu\text{m}$).
- Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona como agente limpiador.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5$ veces la profundidad de sangría.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de $<100 \text{ mm/min}$ para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pulió con papel de lija (grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pulió con pasta de diamante hasta que la superficie Sin arañazos evidentes (rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido. Seque con un paño.

4.4 Condiciones de prueba

4.4.1 Selección de carga: Seleccione la carga según la dureza y el espesor de la muestra, consulte el Apéndice A.

- Carburo cementado de grano fino (tamaño de grano $<1 \mu\text{m}$): 5 kgf-10 kgf.
- Carburo mesocristalino (tamaño de grano $1-2 \mu\text{m}$): 10 kgf-30 kgf.
- Carburo cementado de grano grueso (tamaño de grano $> 2 \mu\text{m}$): 30 kgf-120 kgf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.2 Tiempo de retención: 10-15 segundos.

4.4.3 Entorno de prueba: temperatura (23(5) ° C), humedad relativa <65%, evitar vibraciones e interferencias de luz fuerte.

4.5 Pasos de prueba

4.5.1 Fije la muestra preparada en la mesa de trabajo del probador de dureza Vickers.

4.5.2 Seleccione una carga adecuada y un tiempo de retención, y aplique la carga a la superficie de la muestra.

4.5.3 Después de retirar la carga, utilice un microscopio para medir las longitudes de las dos diagonales de la sangría (d1 y d2) y tome el valor promedio d.

4.5.4 Repita la prueba y realice al menos 5 mediciones en la muestra, siendo la distancia entre los puntos de medición al menos 3 veces la diagonal de la sangría.
Evite la influencia mutua.

4.6 Notas

- La superficie de la muestra debe ser plana, libre de grietas, rayones o contaminación, de lo contrario puede dar lugar a mediciones inexactas.
- Una carga excesiva puede provocar que la sangría sea demasiado profunda, afectando la estructura de la muestra; una carga demasiado pequeña puede provocar errores de medición.
Ajustar según las características de la muestra.
- Al medir la longitud diagonal, asegúrese de que la sangría esté clara y evite la interferencia de los reflejos de luz.

5 Cálculo y presentación de resultados

5.1 Cálculo de dureza

El valor de dureza Vickers se calcula según la siguiente fórmula:

$$HV = 1,8544 \times P$$

d 2 , donde:

- HV: Valor de dureza Vickers (unidad: kgf / mm²) ;
- P: carga aplicada (unidad: kgf) ;
- d: longitud diagonal media de la sangría (unidad: mm);
- 1.8544: Constante del probador de dureza Vickers (relacionada con un ángulo piramidal de 136°).

5.2 Resultados

El valor de dureza se expresa en HV con dos decimales. Por ejemplo: HV 1600,25. Al reportar el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

valor de dureza, tome el valor de las cinco mediciones.

Valor medio aritmético, desviación admisible se determina según el tamaño de la carga:

- Carga <10 kgf : Desviación 5%;
- Carga 10-30 kgf : Desviación 3%;
- Carga >30 kgf : Desviación 2%.

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones de prueba: carga (kgf), tiempo de retención (s), temperatura ambiente y humedad.
- Resultados de la prueba:
 - Longitud diagonal de la sangría para cada medida (mm).
 - Valor medio de dureza (HV).
 - Rango de desviación (%).
- Descripción de condiciones anormales (como defectos en la superficie de la muestra, dificultades de medición, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Rango de tamaño de grano de carburo cementado (μm) Carga recomendada (kgf) Tiempo de retención (s) Observaciones

Carburo cementado de grano ultrafino <0,5 5-10 10-15 Adecuado para materiales de alta dureza

Carburo cementado de grano fino 0,5-1,0 10-20 10-15 Dureza y tenacidad equilibradas

Carburo de cristal medio 1,0-2,0 20-50 10-15 Carburo de uso general

Carburo de grano grueso >2,0 50-120 10-15 Adecuado para piezas resistentes al desgaste

Tabla 1: Tabla de referencia de condiciones de prueba

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Tabla de referencia de condiciones de prueba

A.2 Instrucciones de uso

La selección de la carga debe ajustarse según el espesor de la muestra. Si el espesor es inferior a 1 mm, la carga no debe superar los 5 kgf .

- Si la dureza de las muestras varía mucho, se recomienda medirlas en diferentes áreas y reportar los resultados por separado.
- Si durante la prueba se encuentran hendiduras irregulares, es necesario verificar la calidad de la superficie de la muestra o ajustar la carga.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 18376-2008
carburo cementado
Método de determinación del tamaño del grano

Prefacio

Esta norma especifica el método para determinar el tamaño de grano del carburo cementado y está destinada al carburo cementado (principalmente carburo cementado WC-Co).

Esta norma es aplicable a la producción de carburo cementado, control de calidad,

Determinación del tamaño de grano en investigación y aplicaciones.

Esta norma se refiere a la norma internacional ISO 4499-2:2008 "Métodos para el examen metalográfico de carburo cementado Parte 2: Tamaño de grano".

La norma sustituye a las normas anteriores pertinentes.

permitir.

Esta norma fue propuesta por la Federación de la Industria de Maquinaria de China y está bajo la gestión unificada de la Asociación de la Industria de Carburo Cementado de China.

Las organizaciones redactoras de esta norma incluyen: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Instituto de Investigación de Metales, Academia China de Ciencias, Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu.

Lugar.

Los principales redactores de esta norma

La presente norma entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008.

Contenido

1 Rango 2

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Tamaño del grano

3.2 Método de intersección lineal

3.3 Método de análisis de imágenes

3.4 Tamaño medio de grano

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

4.2 Instrumentos y equipos

4.3 Preparación de la muestra

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Método de intersección lineal

4.4.2 Análisis de imágenes

4.5 Notas

5 Cálculo y presentación de resultados

5.1 Cálculo del tamaño del grano

5.2 Resultados

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 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método para determinar el tamaño de grano del carburo de tungsteno (WC) en carburo cementado utilizando el método de observación por microscopio metalográfico. y el método de intersección lineal o el método de análisis de imágenes, que es aplicable al carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como Carburo cementado (cobalto)).

Este método es adecuado para el control de calidad, la evaluación del rendimiento y la determinación del tamaño de grano de productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable a la determinación del tamaño de grano de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- GB/T 1997-2008 Terminología de carburo cementado
- GB/T 3489-2008 Método de determinación de la microestructura del carburo cementado
- GB/T 5313-2008 Método de prueba de estructura metalográfica de carburo cementado

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Tamaño del grano

El tamaño promedio de partícula de los granos de carburo de tungsteno (WC) en carburo cementado, en micrómetros (μm), generalmente se mide mediante el método de sección transversal o Determinado por el método de intersección lineal.

3.2 Método de intersección lineal

Bajo un microscopio metalográfico, se dibujaron líneas rectas aleatorias en la sección transversal de la muestra y se contó el número de intersecciones entre las líneas rectas y los límites de grano.

Método para calcular el tamaño medio de grano.

3.3 Método de análisis de imágenes

Un método para identificar y medir automáticamente el tamaño del grano mediante el análisis de la imagen de la sección transversal de una muestra bajo un microscopio metalográfico utilizando un software de procesamiento de imágenes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 Tamaño medio de grano

La media aritmética de todos los tamaños de grano de WC en la muestra representa las características típicas de la microestructura del material.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

La sección transversal del carburo cementado pulido y grabado se observó mediante un microscopio metalográfico y se utilizó el método de intersección lineal o el método de análisis de imágenes para medir.

Determinar el tamaño del grano WC.

4.2 Instrumentos y equipos

- Microscopio metalúrgico: aumento de 100x a 1000x, equipado con ocular y lente objetivo, con buena resolución ($<0,5$ micras).
- Equipo de pulido: se utiliza para pulir la superficie de la muestra, la velocidad del disco de pulido es de 200 a 300 rpm, el agente de pulido es pasta de diamante (grano 1-3 micras).
- Equipo de grabado: utilizar reactivo de Murakami (solución acuosa al 10 % de KOH + 10 % de $K[Fe(CN)]$).
- Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona como agente de limpieza.
- Sistema de análisis de imágenes (opcional): equipado con software de adquisición y procesamiento de imágenes.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de <100 mm/min para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pulió con papel de lija (grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pulió con pasta de diamante hasta que la superficie Sin arañazos evidentes (rugosidad $Ra < 0,1 \mu m$).

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido.
Seque con un paño.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.5 Utilice el reactivo de Murakami para grabar la superficie de la muestra (tiempo de grabado 10-20 s) para revelar los límites de grano de WC.

Luego enjuagar con agua destilada y secar.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Método de intersección lineal

4.4.1.1 Coloque la muestra bajo un microscopio metalográfico y ajuste el aumento (generalmente 500 veces) para garantizar que los límites de los granos sean claros y visibles.

Ver.

4.4.1.2 Seleccione aleatoriamente 3 campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$).

4.4.1.3 Dibuje 10 líneas rectas aleatorias (cada una de aproximadamente $100 \mu\text{m}$ de largo) en cada campo de visión y registre la distancia entre cada línea recta y WC.

El número de intersecciones de los límites de grano (N).

4.4.1.4 Calcular la longitud de intersección promedio:

$L = \text{longitud total de la recta} / \text{Total de puntos de intersección}$

4.4.1.5 Tamaño de grano: $d = 1,56 \times L$

4.4.1.6 Calcule el tamaño de grano promedio de los tres campos de visión como resultado final.

4.4.2 Análisis de imágenes

4.4.2.1 Coloque la muestra bajo un microscopio metalográfico, ajuste el aumento (generalmente 500 veces) y tome fotografías de los tres campos de visión.

Microfotografía.

4.4.2.2 Utilice software de análisis de imágenes para identificar automáticamente los límites de los granos de WC y medir el tamaño de al menos 100 granos en cada campo de visión.

pulgada.

4.4.2.3 Calcule el tamaño de grano promedio de cada campo de visión y tome la media aritmética de los tres campos de visión como resultado final.

4.5 Notas

El tiempo de grabado debe controlarse estrictamente. Un tiempo demasiado largo puede difuminar

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

los límites del grano, mientras que un tiempo demasiado corto puede impedir su visualización.

- Durante la observación, asegúrese de que haya suficientes granos (>100) en el campo de visión para mejorar la precisión estadística.
- En el método de intersección lineal, las líneas deben distribuirse aleatoriamente para evitar el sesgo de selección.
- En el método de análisis de imágenes, los parámetros del software deben calibrarse para garantizar la precisión de la medición.

5 Cálculo y presentación de resultados

5.1 Cálculo del tamaño del grano

- Método de intersección lineal: Tamaño de grano $d = 1,56 \times L$, donde 1,56 es el factor de corrección.
- Método de análisis de imágenes: toma directamente el tamaño de grano promedio calculado por el software.

5.2 Resultados

El tamaño del grano se expresa en micrómetros (μm) con dos decimales. Por ejemplo: $0,85 \mu\text{m}$. Al informar,

Se permite que el método (método de intersección lineal o método de análisis de imágenes) y el número de mediciones tengan una desviación de $\pm 0,1 \mu\text{m}$ o $\pm 10\%$ (el que sea mayor). (cualquiera que sea aplicable).

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones experimentales: aumento del microscopio, número de campos de visión, agente grabador y tiempo de grabado.
- Resultados de la prueba:
 - Tamaño de grano (μm) para cada medición.
 - Tamaño medio de grano (μm).
 - Método de medición (método de intersección lineal o análisis de imágenes).
- Descripción de condiciones anormales (como defectos en la superficie de la muestra, dificultades de medición, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Tabla de clasificación de tamaño de grano

Rango de tamaño de grano (μm) Grado Aplicaciones típicas

$<0,5$ Herramientas de corte de grano ultrafino de alta dureza

$0,5-1,0$ Piezas de corte de uso general de grano fino y resistentes al desgaste

$1,0-2,0$ Equilibrio de grano medio en dureza y tenacidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

>2.0 Piezas resistentes al desgaste de carga pesada de grano grueso

Tabla 1: Tabla de clasificación de tamaño de grano

A.2 Instrucciones de uso

- El grado de tamaño de grano se puede utilizar como referencia para la clasificación del rendimiento del material, pero debe combinarse con los requisitos de aplicación reales.
- Para muestras con distribución desigual del tamaño de grano, se recomienda aumentar el número de campos (a 5-10) para mejorar la representatividad.
- Si los resultados de los dos métodos difieren significativamente, se debe utilizar el método de intersección lineal como valor estándar.

apéndice:

ISO 4505:1978
carburo cementado
Determinación metalográfica de porosidad y carbono libre

Prefacio

Esta norma especifica el método de determinación metalográfica de la porosidad y el carbono libre en carburo cementado, y tiene como objetivo proporcionar

Esta norma proporciona especificaciones técnicas unificadas para el control de calidad y la evaluación del desempeño del carburo cementado WC-Co.

Análisis de porosidad y carbono libre en la producción, investigación y aplicaciones de aleaciones.

Esta norma fue desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y publicada por primera vez en 1978. Se aplica al carburo de tungsteno (WC).

Carburo cementado con níquel como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto).

Contenido

- 1 Alcance
- 2 Referencias normativas
- 3 Términos y definiciones
 - 3.1 Porosidad
 - 3.2 Carbono libre
 - 3.3 Examen metalográfico
- 4 Métodos de prueba
 - 4.1 Principio
 - 4.2 Instrumentos y equipos
 - 4.3 Preparación de la muestra
 - 4.4 Pasos de prueba
 - 4.5 Notas
- 5 Evaluación de resultados
 - 5.1 Evaluación de la porosidad
 - 5.2 Evaluación gratuita de carbono
- 6 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método de determinación metalográfica de la porosidad y el carbono libre en carburo cementado, utilizando el método de observación con microscopio metalográfico, adecuado para

Para carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto). El método incluye la muestra.

Preparación, observación microscópica y evaluación de resultados.

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

Esta norma se aplica a la determinación de la porosidad y el carbono libre en el control de calidad y la evaluación del rendimiento de los productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable al análisis de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Esta norma no hace referencia directa a otras normas internacionales, sino que está relacionada con la serie de normas ISO 4499 "Examen metalográfico del carburo cementado".

La última versión puede utilizarse como referencia.

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Porosidad

La fracción de volumen de poros en el carburo cementado, expresada como porcentaje (%), se divide en tipo A (diámetro $<10\text{ }\mu\text{m}$), tipo B (10-25 μm de diámetro) y tipo C (poros libres relacionados con el carbono).

3.2 Carbono libre

El carbono del carburo cementado que no forma carburos con el metal existe en forma de fase C, generalmente en forma de partículas negras.

3.3 Examen metalográfico

Observe la microestructura de la superficie pulida o después del grabado del carburo cementado a través de un microscopio metalográfico para identificar poros y carbono libre.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

Observar la superficie pulida del carburo cementado mediante un microscopio metalográfico, identificar y clasificar los poros y el carbono libre, y

La evaluación cuantitativa o cualitativa se puede realizar utilizando métodos numéricos.

4.2 Instrumentos y equipos

- Microscopio metalúrgico: aumento de 100x a 500x, equipado con ocular y lente objetivo, con buena resolución ($<0,5\text{ }\mu\text{m}$).
- Equipo de pulido: se utiliza para pulir la superficie de la muestra, el agente de pulido es pasta de diamante (tamaño de partícula 1-3 μm).
- Equipo de limpieza: Utilice etanol o acetona, equipado con una máquina de limpieza ultrasónica.

4.3 Preparación de la muestra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de <100 mm/min para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pule con papel de lija (grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pule con pasta de diamante hasta que la superficie Sin arañazos evidentes (rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido. Seque con un paño.

4.3.5 No es necesario grabar la superficie de la muestra y se puede utilizar directamente para observar la porosidad y el carbono libre.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Coloque la muestra bajo un microscopio metalográfico y ajuste el aumento (generalmente 200 veces) para asegurarse de que los poros y el carbono libre estén limpios. Claramente visible.

4.4.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$) y observe y registre la distribución de poros y carbono libre.

4.4.3 Identificar por las siguientes categorías:

- Poros tipo A: diámetro $<10 \mu\text{m}$, de forma redonda o irregular.
- Poros tipo B: $10\text{-}25 \mu\text{m}$ de diámetro, que aparecen como agujeros más grandes.
- Poros tipo C: asociados al carbono libre y distribuidos en forma de partículas negras.

4.4.4 Cuento el número de poros y carbono libre en cada campo de visión, o compárelo y evalúe con el espectro estándar.

4.5 Notas

- La superficie de la muestra debe ser plana y libre de rayones o contaminación, de lo contrario la porosidad puede ser mal calculada.
- Evite la interferencia de la reflexión de la luz durante la observación y asegúrese de que haya límites claros entre los poros y el carbono libre.
- Si la distribución de poros en la superficie de la muestra es desigual, aumente el número de campos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a 10 para mejorar la representatividad.

5 Evaluación de resultados

5.1 Evaluación de la porosidad

Según la norma ISO 4505:1978, la porosidad se clasifica en los siguientes niveles:

- A00: sin poros tipo A;
- A02: Poros tipo A <2 / campo de visión;
- A04: 2-4 poros tipo A/campo;
- B00: sin poros tipo B;
- B02: Poros tipo B <2 / campo de visión;
- C00: sin poros tipo C;
- C02: Poros tipo C <2 / campo de visión.

5.2 Evaluación gratuita de carbono

El carbono libre existe en forma de poros de tipo C, y la clasificación es consistente con la de los poros de tipo C:

- C00: sin carbono libre;
- C02: Carbono libre <2 / campo de visión.

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones experimentales: aumento del microscopio, número de campos de visión.
- Resultados de la prueba:
 - Clase de porosidad (Tipo A, Tipo B, Tipo C).
 - Descripción de la distribución libre de carbono.
- Descripción de condiciones anormales (como defectos superficiales de la muestra, dificultad en la observación, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Diagrama característico de porosidad y carbono libre

A continuación se muestra un gráfico de referencia de porosidad y carbono libre:

- Poros tipo A: diámetro $<10\ \mu\text{m}$, dispersos en forma redonda o irregular.
- Poros tipo B: $10\text{-}25\ \mu\text{m}$ de diámetro, que aparecen como grandes agujeros aislados.
- Poros tipo C (carbono libre): granulares negros, asociados a poros tipo A o tipo B.

A.2 Instrucciones de uso

- Las evaluaciones de porosidad y carbono libre deben basarse en el promedio de cinco campos de visión.

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

- Si se encuentran más poros de tipo C, se recomienda realizar un análisis de composición química adicional para verificar si el contenido de carbono es insuficiente.

apéndice:

ISO 3326:2013

Métodos de muestreo y preparación de muestras de carburo cementado

Prefacio

Esta norma especifica los métodos de muestreo y preparación de muestras para carburo cementado y tiene como objetivo proporcionar

Proporcionar especificaciones técnicas uniformes para pruebas de rendimiento posteriores (como examen metalográfico, medición de dureza y análisis del tamaño de grano) de aleaciones de alta calidad.

La norma se aplica al muestreo y la preparación de muestras en la producción de carburo cementado, control de calidad, investigación y aplicación.

Esta norma fue desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y se publicó por primera vez en 2013, reemplazando a la ISO 3326:1975.

Esto combina las necesidades de la moderna industria del carburo cementado con el desarrollo de la tecnología de pruebas.

Contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Muestreo

3.2 Muestra de prueba

3.3 Superficie pulida

3.4 Representatividad

4 Métodos de muestreo

4.1 Principios de muestreo

4.2 Procedimientos de muestreo

4.3 Notas

5. Método de preparación de la muestra

5.1 Principios de preparación

5.2 Pasos de preparación

5.3 Aplicabilidad

5.4 Notas

6 Requisitos de calidad

7 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica los métodos de muestreo y preparación de muestras para carburo cementado, que es aplicable al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal. Carburo cementado que contiene un aglutinante metálico como el cobalto. El método consiste en tomar una muestra de un producto o materia prima de carburo cementado y prepararla.

Probetas para determinación metalográfica, de dureza, densidad y tamaño de grano.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Esta norma se aplica al control de calidad, las pruebas de rendimiento y la investigación durante el proceso de producción de carburo cementado.

Esta norma no se aplica al muestreo y preparación de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- ISO 4499-1:2008 Métodos de examen metalográfico para carburos cementados Parte 1: Generalidades
- ISO 4505:2017 Determinación metalográfica de la porosidad y el carbono libre en carburos cementados
- ISO 3327:2009 Determinación de la densidad del carburo cementado

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Muestreo

Seleccionar piezas representativas de productos de carburo cementado o materias primas para realizar pruebas de rendimiento posteriores.

3.2 Muestra de prueba

Después del muestreo y la preparación, las muestras de carburo cementado cumplen requisitos de prueba específicos.

3.3 Superficie pulida

Después del tratamiento mecánico o químico, la superficie de la muestra es lisa sin rayones ni defectos evidentes, lo que es adecuado para la observación metalográfica.

Observar.

3.4 Representatividad

El grado en que la muestra refleja las características generales del material original en términos de tamaño, estructura y composición.

4 Métodos de muestreo

4.1 Principios de muestreo

4.1.1 El muestreo debe garantizar que las muestras sean representativas y cubran la homogeneidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y los posibles defectos de los productos o materias primas.

4.1.2 La ubicación del muestreo debe evitar efectos de borde o áreas afectadas por el procesamiento.

4.2 Procedimientos de muestreo

4.2.1 Muestreo de productos terminados:

1 o 2 muestras en dirección longitudinal y transversal . La longitud de la muestra es igual al diámetro del producto.

veces el diámetro o el espesor, y el ancho no es inferior a 5 mm.

– Para productos con formas complejas, seleccione una sección representativa y corte un trozo de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

Muestra.

4.2.2 Muestreo de materias primas:

– Seleccionar aleatoriamente de polvo o cuerpo verde presinterizado, con un peso no inferior a 50 g, mezclar bien y preparar pequeñas piezas de prueba

Muestra .

4.2.3 Herramienta de corte: Utilice una hoja de corte de diamante con una velocidad de corte <100 mm/min para evitar la introducción de daños térmicos o grietas.

4.3 Notas

- Evite la contaminación (como aceite o polvo) durante el muestreo.
- Si la dureza de los productos varía mucho, aumente el número de puntos de muestreo a 5-10 .

5. Método de preparación de la muestra

5.1 Principios de preparación

5.1.1 Las muestras deben prepararse con una superficie plana y libre de defectos, adecuada para los requisitos de pruebas posteriores.

5.1.2 El proceso de preparación debe minimizar los daños materiales, como grietas o deformaciones estructurales.

5.2 Pasos de preparación

5.2.1 Corte inicial:

– Cortar la muestra al tamaño requerido utilizando un disco de corte de diamante, de al menos 5 mm de espesor.

5.2.2 Molienda gruesa:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

– Lijar la superficie de la muestra con papel de lija (grano 400, 800) para eliminar las marcas de corte.

5.2.3 Esmerilado y pulido fino:

– Lijado posterior con papel de lija de grano 1200 seguido de pulido con pasta de diamante (grano de 1-3 μm) en una pulidora.

Pulir hasta una rugosidad de $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

5.2.4 Limpieza:

– Limpie la muestra en un limpiador ultrasónico (etanol o acetona, 5 min) para eliminar el agente de pulido restante y

Secar con paño.

5.2.5 Grabado (opcional):

– Si se requiere observación metalográfica, utilice el reactivo de Murakami (solución acuosa al 10 % de KOH + 10 % de $\text{K}[\text{Fe}(\text{CN})]$)

Grabar la superficie (10-20 s), luego enjuagar con agua destilada y secar.

5.3 Aplicabilidad

- Inspección metalográfica: Es necesario pulirlo hasta obtener un acabado de espejo y grabarlo si es necesario.
- Prueba de dureza: El espesor debe ser al menos 1,5 veces la profundidad de la sangría y la superficie debe ser plana.
- Determinación de la densidad: La muestra tiene una forma regular (como un cubo o un cilindro) y no tiene poros.

5.4 Notas

- Evite el sobrecalentamiento durante el pulido para evitar cambios estructurales.
- Los bordes de la muestra deben estar biselados para evitar la propagación de grietas.
- Si aparecen rayones en la superficie de la muestra, es necesario pulirla nuevamente.

6 Requisitos de calidad

6.1 La superficie de la muestra debe estar libre de rayones, grietas o contaminación evidentes.

6.2 La tolerancia del tamaño de la muestra es de $\pm 0,1 \text{ mm}$ y la planitud es de $< 0,05 \text{ mm}$.

6.3 La rugosidad de la superficie después del pulido es $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, adecuada para pruebas de alta precisión.

7 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha en que se tomó la muestra y quién la preparó.
- Métodos de muestreo: ubicación, cantidad, herramientas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Proceso de preparación: corte, esmerilado, pulido, condiciones de limpieza.
- Calidad de la muestra: tamaño, estado de la superficie.
- Descripción de la situación anormal (como daño, contaminación, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Ejemplos de muestreo y preparación

- Muestreo de barras: Se cortaron longitudinalmente dos muestras de 10 mm de espesor a partir de una barra de 20 mm de diámetro y se prepararon como barras de 10 mm.
× 10 mm × 5 mm.
- Muestreo de placa: tome aleatoriamente 4 muestras de 10 mm × 10 mm de la placa de 5 mm de espesor.
- Proceso de pulido: papel de lija de grano 400 2 min, papel de lija de grano 800 2 min, papel de lija de grano 1200 3 min, pulido con pasta de diamante 5 min
mín.

A.2 Instrucciones de uso

- Los puntos de muestreo deben registrarse para facilitar la trazabilidad.
- Para el carburo cementado multifásico, preste atención a la uniformidad de la distribución de cada fase durante la preparación.
- Si los requisitos de pruebas posteriores son diferentes, se puede ajustar el grado de pulido.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ASTM B657-16

Análisis de la microestructura del carburo cementado

Prefacio

Esta norma especifica el método de análisis de la microestructura del carburo cementado, con el objetivo de proporcionar

Esta norma es aplicable a la producción de carburo cementado, control de calidad,

Análisis microestructural en investigación y aplicaciones.

Esta norma fue desarrollada por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM) y publicada en 2016, reemplazando a la ASTM B657-11.

versión, que combina las necesidades de la moderna industria del carburo cementado con el desarrollo de técnicas microanalíticas.

Contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Carburo cementado

3.2 Microestructura

3.3 Fase aglutinante

3.4 Porosidad

3.5 carbono libre

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

4.2 Instrumentos y equipos

4.3 Preparación de la muestra

4.4 Pasos de prueba

4.5 Notas

5 Evaluación de resultados

5.1 Características microestructurales

5.2 Factores influyentes

6 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método de análisis de la microestructura del carburo cementado, utilizando el método de observación con microscopio metalográfico, aplicable al carburo de tungsteno.

(WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto). El método incluye la preparación de la muestra y la observación microscópica.

Observación e identificación de características microestructurales.

Esta norma es aplicable al control de calidad, evaluación del desempeño y análisis 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

microestructura en la investigación de productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable al análisis microestructural de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

Nota: Esta norma no aborda cuestiones de seguridad. Los usuarios deben tomar las medidas de seguridad necesarias según las condiciones experimentales.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- Métodos ASTM E3 para la preparación de muestras metalográficas de materiales metálicos
- Terminología estándar ASTM E7 para metalografía
- Método ASTM E112 para la determinación del tamaño promedio de grano

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Carburo cementado

Un material compuesto hecho de partículas de carburo de tungsteno (WC) y un aglutinante metálico (como cobalto) mediante pulvimetalurgia.

3.2 Microestructura

Las características estructurales del carburo cementado observadas bajo un microscopio metalográfico incluyen granos de WC, fases de unión y defectos (como poros, carbono libre).

3.3 Fase aglutinante

La fase metálica que conecta las partículas de WC en el carburo cementado es generalmente cobalto (Co) y se distribuye de forma continua o semicontinua.

3.4 Porosidad

Los pequeños agujeros en el carburo cementado se dividen en Tipo A ($<10\ \mu\text{m}$), Tipo B ($10\text{-}25\ \mu\text{m}$) y Tipo C según su tamaño.
(relacionado con el carbono libre).

3.5 carbono libre

El carbono del carburo cementado que no forma carburos con el metal se distribuye en forma de partículas negras.

4 Métodos de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Principio

La sección transversal pulida y grabada del carburo cementado se observó mediante un microscopio metalográfico para identificar granos de WC, fase aglutinante, poros y Características microestructurales como el carbono libre.

4.2 Instrumentos y equipos

- Microscopio metalúrgico: aumento 100x a 1000x, resolución $<0,5 \mu\text{m}$.
- Equipo de pulido: El agente de pulido es pasta de diamante (tamaño de partícula 1-3 μm).
- Grabador: reactivo de Murakami (10% KOH + 10% K[Fe(CN)] en agua).
- Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 5 mm.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de <100 mm/min para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

4.3.3 La superficie de la muestra se pulió con papel de lija (grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pulió con pasta de diamante hasta que la superficie Rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido. Seque con un paño.

4.3.5 Grabe la superficie de la muestra utilizando el reactivo de Murakami (tiempo de grabado 10-20 s) para revelar los límites de grano de WC y Luego las características microestructurales se enjuagaron con agua destilada y se secaron.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Coloque la muestra bajo un microscopio metalográfico, ajuste el aumento (generalmente 500 veces) y observe la microestructura.

4.4.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$) y registre las siguientes características:

- Tamaño y distribución del grano WC.
- Distribución y morfología de la fase aglutinante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Tipo y cantidad de poros (tipo A, tipo B, tipo C).
- Presencia y distribución de carbono libre.

4.4.3 Comparar con el atlas de microestructura estándar y evaluar las características microestructurales.

4.5 Notas

El tiempo de grabado debe controlarse estrictamente. Un tiempo demasiado largo puede difuminar los límites del grano, mientras que un tiempo demasiado corto puede impedir la visualización de las características estructurales.

- Asegúrese de que haya suficientes granos (>100) en el campo de visión para mejorar la precisión estadística.
- Si la microestructura está distribuida de manera desigual, aumente el número de campos a 10.

5 Evaluación de resultados

5.1 Características microestructurales

- Granos WC: evaluar el tamaño del grano (granos ultrafinos <0,5 μm , granos finos 0,5-1,0 μm , granos medianos 1,0-2,0 μm , granos gruesos >2,0 μm) y uniformidad de distribución.
- Fase aglutinante: describe la continuidad de la fase de cobalto (homogénea, discontinua o aglomerada).
- Porosidad: clasificada en tipo A, tipo B y tipo C, y calificada (A00: sin poros tipo A; A02: <2 campo ; B00: sin poros tipo B; C00: sin poros tipo C).
- Carbono libre: evaluar la presencia y distribución (C00: sin carbono libre; C02: <2 por campo de visión).

5.2 Factores influyentes

La microestructura afecta las propiedades mecánicas y físicas del carburo cementado:

- Un tamaño de grano más pequeño generalmente aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, pero puede reducir la tenacidad.
- El aumento de la porosidad puede reducir la resistencia y la durabilidad.
- El exceso de carbono libre puede provocar la fragilización del material.

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones experimentales: aumento del microscopio, número de campos de visión, condiciones de grabado.
- Resultados de la prueba:
 - Descripción del tamaño y distribución del grano de WC.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Morfología de la fase aglutinante.
- Clasificación de porosidad y carbono libre.
- Descripción de condiciones anormales (como defectos superficiales de la muestra, dificultad en la observación, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Características de la microestructura

- Estructura de grano ultrafino: tamaño de grano $<0,5\ \mu\text{m}$, distribución uniforme y fase de unión continua.
- Tipos de poros: Tipo A ($<10\ \mu\text{m}$), Tipo B ($10\text{-}25\ \mu\text{m}$), Tipo C (granular negro).
- Carbón libre: granular negro, a menudo con poros de tipo C.

A.2 Instrucciones de uso

- Esta norma solo se utiliza para la identificación microestructural y no pretende ser una especificación de aceptación para los grados de carburo cementado.
- Los fabricantes y usuarios pueden desarrollar sus propias especificaciones basadas en información microestructural.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ISO 4489:2009

Guía del proceso de sinterización de carburo cementado

Prefacio

Esta norma proporciona orientación sobre el proceso de sinterización de carburo cementado, dirigida al carburo cementado (principalmente carburo cementado WC-Co).

Esta norma es aplicable a la optimización del proceso de sinterización y al control de calidad en la producción de carburo cementado.

Mejoras de control y rendimiento.

Esta norma fue desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y publicada en 2009, reemplazando la versión ISO 4489:1978.

Combina el desarrollo de la tecnología moderna de sinterización y las necesidades industriales.

Contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Sinterización

3.2 Sinterización en fase líquida

3.3 Pacto Verde

3.4 Densidad sinterizada

4 Descripción general del proceso de sinterización

4.1 Principio del proceso

4.2 Flujo del proceso

5 Parámetros del proceso de sinterización

5.1 Temperatura

5.2 Atmósfera

5.3 Tiempo

5.4 Presión (opcional)

5.5 Notas

6 Control de procesos y garantía de calidad

6.1 Monitoreo en línea

6.2 Inspección de calidad

6.3 Manejo de excepciones

7 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método de orientación para el proceso de sinterización de carburo cementado y es aplicable al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene

Carburo cementado con aglutinante metálico (como cobalto). El método incluye la preparación antes de la sinterización, el control del proceso de sinterización y las propiedades posteriores a 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

sinterización.

Evaluar.

Esta norma es aplicable a la optimización del proceso de sinterización, al control de calidad y a la investigación en el proceso de producción de carburo cementado.

Esta norma no se aplica al proceso de sinterización de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- ISO 3326:2013 Métodos de muestreo y preparación de muestras de ensayo para carburos cementados
- ISO 4505:2017 Determinación metalográfica de la porosidad y el carbono libre en carburos cementados
- ISO 4499-1:2008 Métodos de examen metalográfico para carburos cementados Parte 1: Generalidades

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Sinterización

El proceso de calentamiento y prensado del cuerpo de polvo de aleación dura para formar una unión metalúrgica entre las partículas. La temperatura suele ser inferior a...

Punto de fusión del componente principal.

3.2 Sinterización en fase líquida

Durante la sinterización, parte del aglutinante (por ejemplo, cobalto) se funde en la fase líquida, lo que promueve la reorganización y densificación de las partículas.

3.3 Pacto Verde

El cuerpo verde no sinterizado formado mediante prensado de polvo tiene una cierta resistencia inicial.

3.4 Densidad sinterizada

La densidad real del carburo cementado después de la sinterización generalmente se expresa como un porcentaje de la densidad teórica.

4 Descripción general del proceso de sinterización

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Principio del proceso

La sinterización se realiza calentando el tocho verde a una temperatura inferior al punto de fusión del WC (aproximadamente 2870 °C) para fundir el aglutinante de cobalto y formar

La fase líquida promueve la difusión y la unión entre las partículas de WC y finalmente forma una estructura densa de carburo cementado.

4.2 Flujo del proceso

4.2.1 Preparación del polvo: Mezcle polvo de WC y polvo de cobalto, el tamaño de partícula se controla entre 0,5 y 5 µm y el contenido de cobalto suele ser del 6 % al 15 %.

4.2.2 Prensado: El polvo se prensa en una pieza en bruto verde a una presión que varía entre 100 y 400 MPa.

4.2.3 Desparafinado: Eliminación del lubricante de prensado a baja temperatura (300-600°C).

Calentar a 1350-1500 °C en vacío o en atmósfera protectora (como H₂ o Ar) y mantener caliente durante 30-60 minutos.

4.2.5 Enfriamiento: Controlar la velocidad de enfriamiento (5-20°C/min) para evitar el agrietamiento por tensión térmica.

5 Parámetros del proceso de sinterización

5.1 Temperatura

- Rango de temperatura de sinterización: 1350-1500°C, dependiendo del contenido de cobalto y del tamaño del grano WC.
- Temperatura de formación de la fase líquida: aproximadamente 1300 °C (punto de fusión del cobalto), se debe garantizar que la relación de la fase líquida sea del 20 % al 40 %.

5.2 Atmósfera

- Sinterización al vacío: presión <10sup -2P aH₂ o Ar , punto de rocío <-40°C, para evitar la oxidación.

5.3 Tiempo

- Tiempo de mantenimiento en caliente: 30-60 minutos. Un tiempo demasiado prolongado puede provocar la formación de granos.
- Ciclo total: 4-6 horas, incluyendo calefacción y refrigeración.

5.4 Presión (opcional)

- Prensado isostático en caliente (HIP): se aplica una presión de 100 a 200 MPa después de la sinterización para aumentar aún más la densidad al 98 %-99 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Notas

- Evitar temperaturas excesivas que puedan provocar la descomposición del WC o una carbonización excesiva.
- Controlar la humedad atmosférica para evitar la oxidación o descarburación.

6 Control de procesos y garantía de calidad

6.1 Monitoreo en línea

- Precisión de control de temperatura $\pm 5^{\circ}\text{C}$, monitoreo de presión atmosférica.
- Medición de densidad: densidad del tocho verde $>50\%$ densidad teórica, densidad sinterizada $>90\%$.

6.2 Inspección de calidad

- Análisis metalográfico: Verificar porosidad (A00-B00) y carbono libre (C00).
- Prueba de dureza: HRA88 (dependiendo de la marca).

6.3 Manejo de excepciones

- Si la densidad es insuficiente, ajuste el contenido de cobalto o agregue tratamiento HIP.
- Si los granos son demasiado gruesos, reduzca la temperatura de sinterización o acorte el tiempo de mantenimiento.

7 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha y operador de sinterización.
- Parámetros del proceso: temperatura, atmósfera, tiempo, presión.
- Resultados de sinterización: densidad, dureza, estructura metalográfica.
- Descripción de condiciones anormales (como grietas, poros, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Ejemplo de proceso de sinterización

- Marca: YG6 (que contiene 6% de cobalto)
 - Presión de prensado: 200 MPa
 - Temperatura de sinterización: 1420°C
 - Atmósfera: vacío (10sup –3P a40min
 - Densidad: 14,8 g/c3m (98 % de densidad teórica)
- Marca: YG15 (que contiene 15% de cobalto)
 - Presión de prensado: 300 MPa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Temperatura de sinterización: 1450°C
- Atmósfera: H₂ (punto de rocío -50°C)
- Tiempo de espera: 50 min
- Densidad: 13,9 g/cm³ (97% densidad teórica)

A.2 Instrucciones de uso

- Los parámetros de sinterización deben ajustarse según los grados y equipos específicos.
- Se recomienda combinar con el tratamiento HIP para mejorar la densidad y el rendimiento.

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:

ASTM B657-16 Análisis de la microestructura del carburo cementado

Prefacio

Esta norma especifica el método de análisis de la microestructura del carburo cementado, con el objetivo de proporcionar

Esta norma es aplicable a la producción de carburo cementado, control de calidad,

Análisis microestructural en investigación y aplicaciones.

Esta norma fue desarrollada por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM) y publicada en 2016, reemplazando a la ASTM B657-11.

versión, que combina las necesidades de la moderna industria del carburo cementado con el desarrollo de técnicas microanalíticas.

Contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Carburo cementado

3.2 Microestructura

3.3 Fase aglutinante

3.4 Porosidad

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

3,5 carbono libre

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

4.2 Instrumentos y equipos

4.3 Preparación de la muestra

4.4 Pasos de prueba

4.5 Notas

5 Evaluación de resultados

5.1 Características microestructurales

5.2 Factores influyentes

6 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método de análisis de la microestructura del carburo cementado, utilizando el método de observación con microscopio metalográfico, aplicable al carburo de tungsteno. (WC) como componente principal y que contiene un aglutinante metálico (como el cobalto). El método incluye la preparación de la muestra y la observación microscópica. Observación e identificación de características microestructurales.

Esta norma es aplicable al control de calidad, evaluación del desempeño y análisis de microestructura en la investigación de productos de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable al análisis microestructural de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

Nota: Esta norma no aborda cuestiones de seguridad. Los usuarios deben tomar las medidas de seguridad necesarias según las condiciones experimentales.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- Métodos ASTM E3 para la preparación de muestras metalográficas de materiales metálicos
- Terminología estándar ASTM E7 para metalografía
- Método ASTM E112 para la determinación del tamaño promedio de grano

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 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

Un material compuesto hecho de partículas de carburo de tungsteno (WC) y un aglutinante metálico (como cobalto) mediante pulvimetalurgia.

3.2 Microestructura

Las características estructurales del carburo cementado observadas bajo un microscopio metalográfico incluyen granos de WC, fases de unión y defectos (como poros, carbono libre).

3.3 Fase aglutinante

La fase metálica que conecta las partículas de WC en el carburo cementado es generalmente cobalto (Co) y se distribuye de forma continua o semicontinua.

3.4 Porosidad

Los pequeños agujeros en el carburo cementado se dividen en Tipo A ($<10\text{ }\mu\text{m}$), Tipo B ($10\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$) y Tipo C según su tamaño.
(relacionado con el carbono libre).

3.5 carbono libre

El carbono del carburo cementado que no forma carburos con el metal se distribuye en forma de partículas negras.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

La sección transversal pulida y grabada del carburo cementado se observó mediante un microscopio metalográfico para identificar granos de WC, fase aglutinante, poros y Características microestructurales como el carbono libre.

4.2 Instrumentos y equipos

- Microscopio metalúrgico: aumento 100x a 1000x, resolución $<0,5\text{ }\mu\text{m}$.
- Equipo de pulido: El agente de pulido es pasta de diamante (tamaño de partícula 1-3 μm).
- Grabador: reactivo de Murakami (10% KOH + 10% K[Fe(CN)] en agua).
- Equipo de limpieza: Máquina de limpieza ultrasónica, utilizando etanol o acetona.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$.

4.3.2 Utilice una hoja de corte de diamante para cortar la muestra a una velocidad de corte de $<100\text{ mm/min}$ para evitar la introducción de grietas o daños térmicos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.3 La superficie de la muestra se pulió con papel de lija (grano 400, 800, 1200) en secuencia, y luego se pulió con pasta de diamante hasta que la superficie
Rugosidad $Ra < 0,1 \mu m$.

4.3.4 Limpie la muestra con un limpiador ultrasónico (tiempo de limpieza 5 min) para eliminar la suciedad de la superficie y los residuos del agente de pulido.
Seque con un paño.

4.3.5 Grabe la superficie de la muestra utilizando el reactivo de Murakami (tiempo de grabado 10-20 s) para revelar los límites de grano de WC y
Luego las características microestructurales se enjuagaron con agua destilada y se secaron.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Coloque la muestra bajo un microscopio metalográfico, ajuste el aumento (generalmente 500 veces) y observe la microestructura.

4.4.2 Seleccione aleatoriamente 5 campos de visión (cada campo de visión tiene un área de aproximadamente $0,1 \text{ mm}^2$) y registre las siguientes características:

- Tamaño y distribución del grano WC.
- Distribución y morfología de la fase aglutinante.
- Tipo y cantidad de poros (tipo A, tipo B, tipo C).
- Presencia y distribución de carbono libre.

4.4.3 Comparar con el atlas de microestructura estándar y evaluar las características microestructurales.

4.5 Notas

El tiempo de grabado debe controlarse estrictamente. Un tiempo demasiado largo puede difuminar los límites del grano, mientras que un tiempo demasiado corto puede impedir la revelación de las características estructurales.

- Asegúrese de que haya suficientes granos (>100) en el campo de visión para mejorar la precisión estadística.
- Si la microestructura está distribuida de manera desigual, aumente el número de campos a 10.

5 Evaluación de resultados

5.1 Características microestructurales

- Granos WC: evaluar el tamaño del grano (granos ultrafinos $<0,5 \mu m$, granos finos $0,5-1,0 \mu m$, granos medianos $1,0-2,0 \mu m$, granos gruesos $>2,0 \mu m$) y uniformidad de distribución.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Fase aglutinante: describe la continuidad de la fase de cobalto (homogénea, discontinua o aglomerada).
- Porosidad: clasificada en tipo A, tipo B y tipo C, y calificada (A00: sin poros tipo A; A02: <2 campo ; B00: sin poros tipo B; C00: sin poros tipo C).
- Carbono libre: evaluar la presencia y distribución (C00: sin carbono libre; C02: <2 por campo de visión).

5.2 Factores influyentes

La microestructura afecta las propiedades mecánicas y físicas del carburo cementado:

- Un tamaño de grano más pequeño generalmente aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, pero puede reducir la tenacidad.
- El aumento de la porosidad puede reducir la resistencia y la durabilidad.
- El exceso de carbono libre puede provocar la fragilización del material.

6 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones experimentales: aumento del microscopio, número de campos de visión, condiciones de grabado.
- Resultados de la prueba:
 - Descripción del tamaño y distribución del grano de WC.
 - Morfología de la fase aglutinante.
 - Clasificación de porosidad y carbono libre.
- Descripción de condiciones anormales (como defectos superficiales de la muestra, dificultad en la observación, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Características de la microestructura

- Estructura de grano ultrafino: tamaño de grano <0,5 μm , distribución uniforme y fase de unión continua.
- Tipos de poros: Tipo A (<10 μm), Tipo B (10-25 μm), Tipo C (granular negro).
- Carbón libre: granular negro, a menudo con poros de tipo C.

A.2 Instrucciones de uso

- Esta norma solo se utiliza para la identificación microestructural y no pretende ser una especificación de aceptación para los grados de carburo cementado.
- Los fabricantes y usuarios pueden desarrollar sus propias especificaciones basadas en información microestructural.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 3850-2015

Determinación de la densidad teórica del carburo cementado

Prefacio

Esta norma especifica el método de determinación de la densidad teórica del carburo cementado, con el objetivo de proporcionar

Esta norma es aplicable a la producción de carburo cementado, control de calidad, Determinación de la densidad teórica en investigación y aplicaciones.

Esta norma fue desarrollada por la Administración de Normalización de China y emitida en 2015, reemplazando a GB/T 3850-1983.

versión, que combina las necesidades de la moderna industria del carburo cementado con el desarrollo de la tecnología de cálculo de densidad teórica.

Contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Densidad teórica

3.2 Carburo cementado

3.3 Estructura cristalina

3.4 Fracción de masa

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

4.2 Instrumentos y equipos

4.3 Preparación de la muestra

4.4 Pasos de prueba

4.5 Notas

5 Método de cálculo

5.1 Fórmula de cálculo

5.2 Densidad teórica de cada fase

5.3 Pasos de cálculo

6 Evaluación de resultados

7 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método para determinar la densidad teórica del carburo cementado y es aplicable al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y que contiene

Carburo cementado con un aglutinante metálico como el cobalto. El método implica calcular la densidad teórica mediante análisis de composición y datos de estructura cristalina.

grado y métodos auxiliares verificados experimentalmente.

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

Esta norma es aplicable al control de calidad, la evaluación del desempeño y la determinación de la densidad teórica en la investigación durante la producción de carburo cementado.

Esta norma no es aplicable a la determinación de la densidad teórica de recubrimientos de carburo cementado o carburos cementados no basados en WC (como cermets).

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- GB/T 3848-2015 Determinación de la composición química del carburo cementado
- GB/T 4499-2008 Método de inspección metalográfica para carburo cementado
- GB/T 3327-2009 Determinación de la densidad del carburo cementado

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma.

3.1 Densidad teórica

La densidad ideal se calcula en función de la composición química y la estructura cristalina del carburo cementado, en g/cm³.

3.2 Carburo cementado

Un material compuesto hecho de partículas de carburo de tungsteno (WC) y un aglutinante metálico (como cobalto) mediante pulvimetalurgia.

3.3 Estructura cristalina

La disposición atómica de cada fase (como WC y Co) en el carburo cementado generalmente se determina mediante difracción de rayos X (DRX).

3.4 Fracción de masa

El porcentaje de la masa de un determinado componente en carburo cementado con respecto a la masa total, en %.

4 Métodos de prueba

4.1 Principio

La densidad teórica se calcula a partir de la composición química del carburo cementado y de los datos de la estructura cristalina de cada fase.

La densidad de cada fase se determina en función de los parámetros de estructura cristalina conocidos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Instrumentos y equipos

- Difractómetro de rayos X (XRD): se utiliza para determinar parámetros de estructura cristalina.
- Equipo de análisis químico: se utiliza para determinar la composición del carburo cementado (como la fracción de masa de WC y Co).
- Equipo de cómputo: utilizado para el cálculo de la densidad teórica.

4.3 Preparación de la muestra

4.3.1 Las muestras deben tomarse de productos de carburo cementado para garantizar su representatividad. El tamaño suele ser de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 La superficie de la muestra debe estar limpia y libre de aceite u otros contaminantes.

4.3.3 Si se requiere análisis XRD, la superficie de la muestra debe pulirse hasta una rugosidad $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

4.4 Pasos de prueba

4.4.1 Análisis de componentes:

- Determinar la fracción de masa de cada componente en el carburo cementado (como WC, Co y sus otros oligoelementos).
- Registre la fracción de masa de cada componente con una precisión del 0,01%.

4.4.2 Determinación de la estructura cristalina:

- Se utilizó XRD para determinar los parámetros de estructura cristalina (como el volumen de celda unitaria) de WC y Co en carburo cementado.
- Confirmar la estructura hexagonal de WC ($a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$) y la estructura cúbica centrada en las caras de Co ($a=3,544 \text{ \AA}$).
- Si existen otras fases (como fases), también se deben determinar sus estructuras cristalinas.

4.4.3 Cálculo de densidad teórica:

- Calcular la densidad teórica basándose en los datos de composición y estructura cristalina (ver Sección 5 para más detalles).

4.5 Notas

- El análisis de la composición debe repetirse al menos 3 veces y tomar el promedio para mejorar la precisión.
- Las mediciones de XRD deben realizarse en condiciones libres de estrés para evitar la distorsión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reticular causada por el procesamiento de la muestra.

- Si hay trazas de impurezas en el carburo cementado, es necesario evaluar su efecto sobre la densidad teórica.

5 Método de cálculo

5.1 Fórmula de cálculo

La densidad teórica (ρ) del carburo cementado se calcula según la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{\sum (w_i \cdot \rho_i)}{\sum w_i}$$

en:

- ρ : densidad teórica del carburo cementado, en g/cm³;
- w_i : fracción de masa del i-ésimo componente, unidad: %
- ρ_i : densidad teórica del i-ésimo componente, en g/cm³.

5.2 Densidad teórica de cada fase

- Densidad teórica de WC: 15,63 g/cm³ (basada en parámetros de celda unitaria hexagonal).
- Densidad teórica de Co: 8,90 g/cm³ (basada en parámetros de celda unitaria cúbica centrada en la cara).
- Si existen otras fases (como fases, típicamente CoWC), su densidad teórica debe calcularse en función de la estructura cristalina.

5.3 Pasos de cálculo

w_i) de cada componente.

i) de cada componente.

5.3.3 Sustituya en la fórmula y calcule la densidad teórica del carburo cementado.

6 Evaluación de resultados

6.1 La densidad teórica calculada debe tener una precisión de 0,01 g/cm³.

6.2 Si la densidad real (medida según GB/T 3327-2009) difiere en gran medida de la densidad teórica (>2%), es necesario comprobar el producto.
datos analíticos o de estructura cristalina.

6.3 La densidad teórica se puede utilizar para evaluar la compacidad y la estabilidad de la calidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de un material.

7 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones experimentales: método de análisis de composición, parámetros de XRD.
- Resultados de la prueba:
 - Fracción de masa de cada componente.
 - Parámetros de estructura cristalina de cada fase.
 - Resultados del cálculo de densidad teórica.
- Explicación de situaciones anormales (como impacto de impurezas, desviación de datos, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Ejemplo de cálculo de densidad teórica

- Marca: YG8 (contiene 8% de cobalto)
- Composición: WC 92%, Co 8% (fracción másica).
- Densidad teórica WC: 15,63 g/cm³.
- Densidad teórica: 8,90 g/cm³.
- calcular:

$$\rho = \frac{(92 \times 15.63) + (8 \times 8.90)}{92 + 8} = \frac{1437.96 + 71.20}{100} = 15.09 \text{ g/cm}^3$$

结果: 理论密度为 15.09 g/cm³.

- Resultado: La densidad teórica es 15,09 g/cm³.
- Marca: YG15 (que contiene 15% de cobalto)
- Composición: WC 85%, Co 15% (fracción másica).
- Densidad teórica WC: 15,63 g/cm³.
- Densidad teórica: 8,90 g/cm³.
- calcular:

计算:

$$\rho = \frac{(85 \times 15.63) + (15 \times 8.90)}{85 + 15} = \frac{1328.55 + 133.50}{100} = 14.62 \text{ g/cm}^3$$

- Resultado: La densidad teórica es 14,62 g/cm³.

A.2 Instrucciones de uso

- Se requiere el cálculo de densidad teórica para garantizar la precisión del análisis de componentes.
- Si existen fases traza (como fase) en el carburo cementado, el cálculo debe complementarse en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

función de su estructura cristalina.



apéndice:

GB/T 1031-2009

Medición de la rugosidad de la superficie

Prefacio

Esta norma especifica el método de medición de la rugosidad superficial y está destinada a la evaluación de la rugosidad superficial de metales, no metales y materiales compuestos.

Aplicable a la medición de la rugosidad superficial en producción, control de calidad, investigación y aplicación.

cantidad.

Esta norma fue desarrollada por la Administración de Normalización de China y emitida en 2009, reemplazando a GB/T 1031-1995.

Versión que combina los requisitos de la tecnología moderna de medición de superficies y estándares internacionales como ISO 4287:1997.

Contenido

1 Alcance

2 Referencias normativas

3 Términos y definiciones

3.1 Rugosidad de la superficie

3.2 Desviación media aritmética (Ra)

3.3 Altura máxima (Rz)

3.4 Longitud de muestreo

4 Métodos de medición

4.1 Principio de medición

4.2 Instrumentos y equipos

4.3 Pasos de medición

4.4 Notas

5 Condiciones de medición

5.1 Condiciones ambientales.

5.2 Parámetros de medición

5.3 Configuración del instrumento

6 Evaluación de resultados

7 Informe de prueba

1 Alcance

Esta norma especifica el método de medición de la rugosidad superficial y es aplicable a metales (como aleaciones duras, acero), materiales no metálicos y recubrimientos.

Se miden los parámetros de rugosidad de la superficie de la capa. Los métodos incluyen perfilómetros de contacto y técnicas de medición sin contacto, que abarcan Ra, Rz,

Parámetros como Rp.

Esta norma es aplicable al control de calidad en el proceso de producción, evaluación del desempeño

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

de la superficie y medición de rugosidad en investigación.

Esta norma no se aplica a superficies con corrugaciones significativas o desviaciones geométricas macroscópicas, a menos que se indique lo contrario.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

Para cualquier documento referenciado sin fecha, se aplica la última edición (incluidas todas las modificaciones).

Esta norma.

- GB/T 6060.1-1996 Términos, definiciones y parámetros de rugosidad superficial
- GB/T 6062-2006 Probetas para comparación de rugosidad superficial
- ISO 4287:1997 Especificaciones geométricas del producto (GPS) — Textura de la superficie: Método del perfil — Términos, definiciones y parámetros

3 Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma, consulte GB/T 6060.1-1996 para obtener más detalles.

3.1 Rugosidad de la superficie

Desviaciones en la microgeometría de la superficie provocadas por el método de mecanizado, que se manifiestan como pequeñas variaciones de paso y altura.

3.2 Desviación media aritmética (Ra)

La desviación media aritmética del perfil es el parámetro principal de la rugosidad de la superficie y su unidad es μm .

3.3 Altura máxima (Rz)

La altura máxima del perfil es un parámetro complementario de la rugosidad de la superficie y su unidad es μm .

3.4 Longitud de muestreo

Una longitud de referencia utilizada para medir la rugosidad, normalmente 0,25 mm, 0,8 mm o 2,5 mm.

4 Métodos de medición

4.1 Principio de medición

Mida el perfil de la superficie y analice los parámetros de rugosidad (como Ra, Rz) mediante un perfilómetro de contacto o un instrumento óptico sin contacto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Instrumentos y equipos

- Perfilómetro de contacto: radio de la punta de la sonda $<2\text{ }\mu\text{m}$, resolución $0,01\text{ }\mu\text{m}$.
- Instrumentos de medición sin contacto: como escáneres láser o interferómetros de luz blanca, con una resolución de $<0,1\text{ }\mu\text{m}$.
- Muestras estándar: proporcionadas de acuerdo con GB/T 6062-2006, utilizadas para la calibración del instrumento.

4.3 Pasos de medición

4.3.1 Preparación de la muestra:

- La superficie de la muestra debe estar limpia y libre de aceite o polvo.
- Si quedan restos del procesado hay que eliminarlos con papel de lija o disolvente.

4.3.2 Calibración del instrumento:

- Utilice muestras estándar para calibrar el instrumento para garantizar un error de medición $<5\%$.

4.3.3 Ejecución de la medición:

- Determinar la longitud de muestreo ($0,25\text{ mm}$, $0,8\text{ mm}$ o $2,5\text{ mm}$), dependiendo de las características de la superficie.
- 5 o más puntos de medición en la muestra y medir a lo largo de la dirección de procesamiento o dirección perpendicular.
- Registra parámetros como R_a y R_z , mide cada punto 3 veces y toma el valor promedio.

4.4 Notas

- Evite sobrepresurizar la sonda para evitar dañar la superficie.
- El punto de medición debe evitar bordes o áreas con defectos obvios.
- Si la superficie está recubierta, confirme la profundidad de medición.

5 Condiciones de medición

5.1 Condiciones ambientales

- Temperatura: $20\pm 2^\circ\text{C}$.
- Humedad: $30\%-70\%$.
- Evite vibraciones o perturbaciones del flujo de aire.

5.2 Parámetros de medición

- **Longitud** de muestreo: seleccione según el rango de valores R_a ($R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m}$: $0,25\text{ mm}$; $0,1\text{ }\mu\text{m} < R_a < 10\text{ }\mu\text{m}$: $0,8\text{ mm}$; $R_a > 10\text{ }\mu\text{m}$: $2,5\text{ mm}$).
- Longitud de evaluación: 5 veces la longitud del muestreo.
- Longitud de onda de corte: $0,25\text{ mm}$, $0,8\text{ mm}$ o $2,5\text{ mm}$, según la longitud de muestreo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Configuración del instrumento

- Velocidad de la sonda: 0,1-1 mm/s.
- Fuerza de medición: <0,75 mN (contacto).

6 Evaluación de resultados

6.1 El parámetro de rugosidad debe tener una precisión de 0,01 μm .

6.2 La desviación admisible de los valores Ra y Rz es $\pm 10\%$ o $\pm 0,1 \mu\text{m}$ (el que sea mayor).

6.3 Si la diferencia entre múltiples resultados de medición excede la desviación permitida, es necesario verificar la condición de la superficie de la muestra o la calibración del instrumento.

7 Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

- Número y fuente de la muestra (como marca del material, lote de producción).
- Fecha de la prueba y quién la realizó.
- Condiciones de medición: tipo de instrumento, longitud de muestreo, condiciones ambientales.
- Resultados de la medición:
 - Valores Ra y Rz en cada punto de medición.
 - Media y desviación.
- Descripción de condiciones anormales (como defectos de superficie, fallas del instrumento, etc.).
- Firma de la unidad de prueba y del responsable.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Ejemplos de parámetros de medición

- Muestra: Carburo cementado YG6
 - Método de medición: perfilómetro de contacto.
 - Longitud de muestreo: 0,8 mm.
 - Puntos de medición: 5 .
 - Resultado: Ra = 0,32 μm , Rz = 2,15 μm (valor medio).
- Muestra: Superficie de acero inoxidable
 - Método de medición: escáner láser sin contacto.
 - Longitud de muestreo: 2,5 mm.
 - Puntos de medición: 6 .
 - Resultado: Ra = 1,25 μm , Rz = 8,90 μm (valor medio).

A.2 Instrucciones de uso

- Elija la longitud de muestreo y la longitud de onda de corte adecuadas para que coincidan con las características de la superficie.
- Para requisitos de alta precisión, el número de puntos de medición se puede aumentar a 10.

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

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

¿Cuáles son las tecnologías de prensado de carburo cementado?

La tecnología de prensado de carburo cementado es uno de los elementos clave del proceso de pulvimetalurgia. Mediante el moldeo de materias primas en polvo, como el carburo de tungsteno (WC) y el cobalto (Co), bajo una presión específica, se prepara una pieza bruta con la resistencia y forma iniciales, sentando las bases para la sinterización posterior y el procesamiento del producto terminado. El proceso de prensado afecta directamente la densidad, la uniformidad y la tasa de defectos de la pieza bruta, lo que a su vez determina las propiedades del material sinterizado (como la dureza, la resistencia al desgaste y la tenacidad). A continuación, se presenta una clasificación detallada de la tecnología de prensado de carburo cementado y sus detalles técnicos, abarcando métodos tradicionales y tecnologías innovadoras modernas, y detallando exhaustivamente las aplicaciones prácticas y las últimas tendencias.

1. Prensado uniaxial

principio

El prensado unidireccional utiliza una prensa hidráulica unidireccional o una prensa mecánica para aplicar presión verticalmente hacia abajo mediante el cabezal de presión superior y comprimir el polvo cargado en un molde rígido hasta formar un cuerpo verde. La presión se transmite principalmente a lo largo de un eje, y el moldeo se logra mediante la fricción entre las partículas de polvo y la presión de la pared del molde.

equipo:

Prensa hidráulica: rango de presión 100-400 MPa, equipada con sensor de presión de precisión y sistema de monitoreo de desplazamiento.

Molde : Generalmente hecho de acero de alta dureza (como Cr12MoV) o carburo cementado, la pared interna debe pulirse a $Ra < 0,2 \mu m$ para reducir la fricción.

Características:

Adecuado para producir formas geométricas simples, como piezas en bruto de herramientas cilíndricas y bloques rectangulares.

La distribución de la densidad es desigual, con mayor densidad cerca de la carga de presión (hasta un 60%-70% de la densidad teórica) y menor densidad en la parte inferior (posiblemente menos del 50%), lo que puede provocar una contracción desigual después de la sinterización.

El tiempo de prensado suele ser de 5 a 15 segundos, dependiendo del tamaño de las partículas de polvo y de la presión.

solicitud:

Pequeñas piezas de carburo, como piezas brutas de brocas o preformas de insertos de corte.

Producción en masa de bajo costo, especialmente adecuada para pequeñas y medianas empresas.

Detalles técnicos:

Preparación del polvo: el tamaño de partícula de WC suele ser de $0,5$ a $2 \mu m$, el contenido de Co

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

es del 6% al 15% y se debe agregar entre un 1% y un 3% de parafina o ácido esteárico como lubricante para mejorar la fluidez.

Control de presión: Presión inicial de 10-50 MPa para eliminar el aire, seguida de una presión principal de 100-400 MPa. Evite cargar demasiado rápido para evitar la estratificación del polvo.

Nota:

La fricción de la pared del molde puede provocar una densidad lateral insuficiente. Se recomienda optimizar la distribución del tamaño de las partículas de polvo o aumentar la asistencia por vibración lateral.

Al desmoldar el tocho verde, es necesario liberar la presión lentamente para evitar que se agriete.

2. Prensado de doble efecto

principio:

El prensado bidireccional utiliza dos cabezales de presión, uno superior y otro inferior, para aplicar presión simultáneamente, y el polvo se comprime mediante el movimiento ascendente y descendente en el molde. Los cabezales de presión superior e inferior trabajan en conjunto para reducir el gradiente de densidad en el prensado unidireccional.

equipo:

Prensa hidráulica de doble efecto: rango de presión 150-500 MPa, equipada con sistema de control sincrónico.

Molde : Diseño móvil bidireccional, garantiza que el espacio entre los cabezales de presión superior e inferior y la pared interior del molde sea inferior a 0,01 mm.

Características:

La distribución de la densidad del material verde es más uniforme, y la densidad cerca de la parte media puede alcanzar entre el 65 % y el 75 % de la densidad teórica. La consistencia general es mejor que la del prensado unidireccional.

Adecuado para piezas con formas grandes o medianamente complejas, como placas y barras.
El ciclo de prensado es de 10 a 20 segundos, dependiendo de la altura del blank.

solicitud:

Producir barras y láminas de carburo para la fabricación de herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste.

Producción de escala media, teniendo en cuenta tanto la eficiencia como la calidad.

Detalles técnicos:

Distribución de presión: La relación de presión entre los cabezales de presión superior e inferior suele ser de 1:1, con una desviación máxima de <5 % para garantizar la uniformidad.

Lubricación del molde: La pared interior está recubierta con una capa de lubricación de grafito o MoS₂ para reducir la fricción a 0,1-0,2.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nota:

La sincronización del cabezal de presión debe controlarse mediante un servosistema de alta precisión para evitar una carga desequilibrada.

Para polvos con alto contenido de Co (>12%), es necesario extender el tiempo de preensado para eliminar los poros.

3. Prensado isostático en frío (CIP)

principio:

El prensado isostático en frío utiliza un medio líquido (como agua o aceite) para aplicar la misma presión en todas las direcciones a un molde flexible lleno de polvo en un recipiente de alta presión. La presión se transmite uniformemente a través del líquido, asegurando que todas las partes de la pieza en bruto reciban una fuerza uniforme.

equipo:

Prensa isostática en frío: rango de presión 200-600 MPa, temperatura de trabajo desde temperatura ambiente hasta 50°C.

Molde : Fabricado en material de caucho o polímero, la resistencia a la presión debe alcanzar 1,5 veces la presión de trabajo.

Características:

La densidad del cuerpo verde es muy uniforme, alcanzando el 70%-80% de la densidad teórica, adecuada para formas geométricas complejas.

El tiempo de prensado es de 5 a 15 minutos, dependiendo del tamaño del blank y de la presión.

El tocho verde tiene mayor resistencia y una contracción de sinterización constante.

solicitud:

Productos de carburo cementado de formas complejas, como herramientas de formas especiales y moldes de precisión.

Producción de piezas de alto rendimiento, especialmente en el sector aeroespacial.

Detalles técnicos:

Llenado de polvo: la densidad de llenado de polvo se controla entre el 40% y el 50%, evitando burbujas y requiriendo desgasificación al vacío.

Curva de presión: utilice un aumento de presión gradual (por ejemplo, una presión previa de 50 MPa seguida de un aumento a 400 MPa) para reducir la tensión interna.

Nota:

La estanqueidad del molde es fundamental, las fugas pueden generar una presión insuficiente.

Después del prensado, es necesario cortar el exceso de material de caucho, lo que aumenta los pasos de procesamiento posteriores.

4. Prensado isostático en caliente (HIP)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

principio

El prensado isostático en caliente es un proceso que utiliza un gas inerte (como el argón) para aplicar presión isotrópica a alta temperatura (1350-1450 °C) y alta presión (100-200 MPa) para eliminar los microporos en el cuerpo verde después de la sinterización.

equipo:

Prensa isostática caliente: equipada con un horno de calentamiento y un sistema de gas de alta presión, la precisión se controla entre ± 5 °C y ± 5 MPa.

Características:

La densidad puede alcanzar el 99% de la densidad teórica, mejorando significativamente la dureza y la resistencia al desgaste.

Adecuado para tratamiento post-sinterización para eliminar la porosidad al nivel A00-B00.

El ciclo es más largo, de 4 a 8 horas, e incluye calentamiento, presurización y enfriamiento.

solicitud:

Piezas de carburo cementado de alto rendimiento para la industria aeroespacial, como álabes de turbinas.

Las herramientas de corte de precisión requieren una densidad extremadamente alta.

Detalles técnicos:

Control de temperatura: velocidad de calentamiento 5-10°C/min para evitar grietas por tensión térmica.

Pureza del gas: Pureza del argón >99,99%, evita la oxidación.

Nota:

Alto costo, adecuado para productos de alta gama.

La velocidad de enfriamiento debe controlarse con precisión (5-15 °C/min) para evitar la deformación.

5. Prensado de troqueles

principio

El polvo se carga en un molde rígido fijo y se forma mediante prensado unidireccional o bidireccional, dependiendo de la geometría del molde.

equipo:

Máquina de moldeo: rango de presión 100-300 MPa, equipada con sistema de alimentación automático.

Molde : Diseño personalizado, dureza superior a HRC 58.

Características:

Producción en masa de piezas en bruto de formas simples, alta eficiencia, tiempo de ciclo de 5 a 10

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

segundos.

La uniformidad de la densidad depende del diseño del molde, la densidad típica es del 60% al 70% de la densidad teórica.

solicitud:

Piezas de carburo estandarizadas, como insertos de corte y piezas brutas de fresado.

Producción de bajo costo .

Detalles técnicos:

Mantenimiento de la matriz: verifique el desgaste cada 500 prensas y reafile o reemplace si es necesario.

Relleno de polvo: se adopta el llenado por vibración y la desviación de densidad es <2%.

Nota:

La forma compleja del molde es difícil de procesar y la distribución de la tensión debe simularse de antemano.

6. Prensado por extrusión

principio:

El polvo se mezcla con un aglutinante para formar una pasta y se extruye en tiras largas o cuerpos moldeados a través de una extrusora y una matriz personalizada.

equipo:

Extrusora: presión 200-400 MPa, equipada con sistema de calentamiento (50-80°C).

Características:

Adecuado para formas largas y delgadas, como varillas (2-20 mm de diámetro), tubos.

La densidad es de aproximadamente el 55%-65% de la densidad teórica y requiere un desengrasado posterior.

El tiempo del ciclo es de 10 a 30 minutos, dependiendo de la longitud de extrusión.

solicitud:

Fresas largas y varillas de perforación de carburo.

Piezas largas personalizadas.

Detalles técnicos:

Relación del aglutinante: PVA o PMMA representa entre el 15% y el 25% y debe dispersarse uniformemente.

Velocidad de extrusión: 0,5-2 m/min. Una velocidad demasiado rápida puede causar grietas superficiales.

Nota: La temperatura de desengrasado debe controlarse entre 300 y 500 °C y la velocidad de calentamiento debe ser <5 °C/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Moldeo por inyección

principio:

El polvo se mezcla con un aglutinante termoplástico, se calienta a 150-200 °C, se inyecta en un molde de alta precisión y luego se enfría para darle forma.

equipo:

Máquina de moldeo por inyección de metal: presión 50-100 MPa, equipada con sistema de inyección.

Características:

Adecuado para piezas complejas de pequeño tamaño, con una densidad inicial del 50%-60% y hasta el 98% después de la sinterización.

El ciclo es más largo, 10-20 minutos/artículo.

solicitud:

Piezas de microcarburo, como engranajes de precisión y microherramientas.

Detalles técnicos:

Eliminación del aglutinante: dos pasos, desaglomerado térmico a 200-400 °C y desaglomerado químico a 400-600 °C.

del molde : Tolerancia <0,01 mm.

Nota:

Los residuos de aglutinante pueden provocar defectos de sinterización y deben controlarse estrictamente.

8. Prensado de bolsas secas

principio:

El polvo se carga en un molde de goma fijo y se aplica presión a través de un medio líquido, similar al CIP pero el molde es fijo.

equipo:

Prensa isostática de bolsas secas: presión 200-400 MPa.

Características:

Buena uniformidad de densidad, 70%-75% densidad teórica.

El ciclo es de 5 a 10 minutos.

solicitud:

Piezas de carburo de tamaño mediano, como manguitos de cojinetes.

Detalles técnicos: Es necesario revisar periódicamente el molde para comprobar su resistencia a la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

presión.

Nota:

Evite la presión desigual causada por el envejecimiento del molde.

9. Prensado multidireccional (prensado lateral)

principio:

Sobre la base del cabezal de presión vertical, se añaden de 2 a 4 cabezales de presión laterales para aplicar presión horizontalmente y lograr una compresión multidireccional. La presión se coordina mediante un sistema de control de precisión para garantizar el equilibrio de todas las partes del embrión.

equipo:

Prensadora multidireccional: rango de presión 200-500 MPa, equipada con 4-6 cabezales de presión ajustables.

Molde : Diseño móvil multidireccional, con revestimiento de carburo, resistencia al desgaste HRA 88 o superior.

Características:

La distribución de densidad es significativamente mejor que la del prensado bidireccional y la densidad promedio puede alcanzar el 75%-80% de la densidad teórica.

Adecuado para formas de complejidad media, reduciendo la porosidad interna y las concentraciones de tensiones.

El tiempo de prensado es de 10-20 segundos, dependiendo del número de cabezales de prensado y del tamaño del embrión.

solicitud:

Piezas en bruto de herramientas complejas, piezas en bruto de moldes y piezas que requieren alta uniformidad.

Detalles técnicos:

Distribución de la presión: la presión vertical representa el 50%-60%, la presión lateral representa el 40%-50% y la desviación es <3%.

Optimización del polvo: tamaño de partícula 1-2 μm , agregando 0,5%-1% de lubricación de grafito.

Nota:

La sincronización del cabezal de presión lateral debe controlarse mediante un servomotor con un error de <0,5 mm.

Es necesario recubrir la pared interior del molde para reducir la fricción a 0,15.

10. Prensado multiaxial no isostático (como prensado de cuatro y seis vías)

principio:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se aplica presión no isotrópica mediante 4 o 6 cabezales de presión (que incluyen direcciones verticales y múltiples horizontales), y el sistema de control optimiza la distribución de la presión en lugar de ser completamente isotrópica. Cada cabezal de presión puede ajustar la fuerza de forma independiente para aplicar presión adaptativa a diferentes áreas del embrión.

equipo:

Prensa multiteje: rango de presión 300-600 MPa, equipada con sistema hidráulico de 6 ejes y sensor de presión en tiempo real.

Molde : Estructura compuesta multidireccional, capa interna de carburo, capa exterior de acero de alta resistencia, resistencia a la presión de hasta 800 MPa.

Características:

Proporciona más direcciones de presión que el prensado bidireccional y su uniformidad de densidad es mejor que la del prensado multidireccional, que puede alcanzar el 85%-90% de la densidad teórica.

Debido a que no es isostático, es adecuado para la optimización de formas específicas y su densidad es cercana a la CIP, pero el costo es menor.

El ciclo de prensado es de 15 a 30 segundos, dependiendo de la complejidad de la coordinación del cabezal de presión.

solicitud:

Las herramientas de corte de múltiples filos y los moldes de precisión requieren alta densidad y geometría compleja.

Producción de escala media, equilibrando rendimiento y economía.

Detalles técnicos:

Configuración de presión: compresión de cuatro vías (vertical + 3 laterales), relación de presión 1:0,8:0,7:0,7; compresión de seis vías (vertical + 5 laterales), relación de presión 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6.

de partícula de polvo: 1-3 μm , agregando trazas de aditivos a escala nanométrica (como polvo compuesto WC-Co) para mejorar la densidad.

Sistema de control: se adoptan PLC y retroalimentación de circuito cerrado, la desviación de presión es $<1\%$, la precisión de desplazamiento es $<0,01\text{ mm}$.

Nota:

La coordinación de los penetradores requiere una calibración de alta precisión para evitar microfisuras causadas por sobrepresión local .

El diseño de moldes requiere análisis de elementos finitos (FEA) para simular el estrés multidireccional y optimizar la durabilidad.

La mezcla de polvos requiere una mezcla de alto cizallamiento para garantizar una consistencia isotrópica.

Referencias estándar relacionadas

Guía del proceso de sinterización de carburo cementado ISO 4489:2009: enfatiza la influencia de la tecnología de prensado en la densidad del cuerpo verde y las propiedades de sinterización, y recomienda el prensado multidireccional para la optimización de formas complejas.

GB/T 3850-2015 Determinación de la densidad teórica del carburo cementado: el prensado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

multidireccional y multiaxial puede aumentar significativamente la densidad del tocho verde y reducir la desviación de densidad después de la sinterización (<1%).

GB/T 1031-2009 Medición de la rugosidad superficial: La rugosidad superficial del tocho verde después del prensado ($R_a < 1,0 \mu m$) afecta directamente la calidad de la sinterización. El prensado multidireccional puede mejorar la planitud de la superficie.

Puntos técnicos y optimización

Características del polvo:

El tamaño de partícula de WC es de $0,5$ a $5 \mu m$, el contenido de Co es del 6 % al 15 % y el polvo fino ($<1 \mu m$) es adecuado para prensado multidireccional.

El proceso de mezcla utiliza molienda de bolas o molienda planetaria durante 12 a 24 horas para garantizar la uniformidad.

Lubricantes y adhesivos:

Los lubricantes (como parafina al 1%-3%) reducen la fricción y se puede agregar nanogafito (0,5%) para optimizar aún más el prensado multidireccional.

Los aglutinantes (como el PVA) se utilizan para extrusión o moldeo por inyección y requieren un control de desaglutinación térmica.

de molde :

La matriz de prensado multidireccional debe adoptar una estructura segmentada con un espesor de capa resistente al desgaste de 2-3 mm.

El análisis de elementos finitos simula la distribución de tensión multidireccional y optimiza el ángulo de penetración (normalmente entre 45° y 60°).

Tratamiento post-prensado:

La pieza verde debe secarse a $50-80^\circ C$ para evitar la absorción de humedad.

La presinterización ($600-800^\circ C$) puede eliminar el aglutinante y reducir los defectos de sinterización.

Casos prácticos de aplicación

Caso 1: Prensado en cuatro direcciones para producir herramientas de múltiples filos

Material: WC-10%Co, tamaño de partícula $1,5 \mu m$.

Presión: 400 MPa verticalmente, 300 MPa lateralmente.

Resultados: La densidad del tocho verde es del 88% de la densidad teórica, la porosidad después de la sinterización es A00 y la dureza es HRA 92.

Caso 2: Prensado en seis direcciones para producir moldes de precisión

Material: WC-12%Co, tamaño de partícula $2 \mu m$.

Presión: 500 MPa verticalmente, 350-400 MPa lateralmente.

Resultados: La densidad del tocho verde es del 90% de la densidad teórica, la densidad después de la sinterización es del 99% y la resistencia al desgaste se mejora en un 15%.

Tendencias e innovaciones modernas

Automatización e inteligencia: La prensadora multieje integra un algoritmo de IA para ajustar la distribución de la presión en tiempo real con una desviación de <0,5%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Proceso híbrido: combinación de prensado multidireccional y CIP, primero formado y luego densificación, la densidad puede alcanzar más del 95%.

Prensado verde: Desarrollar lubricantes a base de agua para reducir el uso de disolventes orgánicos y cumplir con los requisitos de protección ambiental.

Nanotecnología: utilice polvo nano WC (<100 nm) con prensado de seis vías para producir carburo cementado de grano ultrafino con una dureza de HRA 94 o superior.

apéndice:

Productos de carburo cementado tratados en este capítulo

Tipos, características y aplicaciones de las herramientas de aviación de carburo cementado

Las herramientas de aviación de carburo cementado son herramientas de corte de alto rendimiento hechas de carburo cementado de grano ultrafino (WC + Ni / Co, tamaño de grano $<0,5 \mu\text{m}$) como material base, combinado con tecnología de recubrimiento avanzada (como TiAlN , AlCrN , DLC) y tecnología de mecanizado de precisión. Estas herramientas están diseñadas para el sector aeroespacial y se utilizan para procesar aleaciones de alta resistencia y alta temperatura (como Inconel 718, Ti6Al4V), acero inoxidable y materiales compuestos (como materiales compuestos reforzados con fibra de carbono CFRP). Las herramientas de aviación deben tener una dureza extremadamente alta (1800-2200 HV), resistencia (2,2-2,5 GPa) , resistencia al desgaste (coeficiente de fricción $<0,3$), resistencia a altas temperaturas ($>1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y una precisión geométrica ultraalta ($\pm 0,01\text{-}0,05 \text{ mm}$, de acuerdo con GB/T 345052017) para cumplir con los estrictos requisitos de corte a alta velocidad (500-2000 m/min), alta velocidad de avance (0,1-0,5 mm/rev) y larga vida útil (>60 minutos). Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 79972017) y prácticas de la industria (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) para analizar en detalle los tipos, características y aplicaciones de las herramientas de aviación de carburo cementado.

1. Tipos de herramientas de aviación de carburo

Las herramientas de carburo para aviación se dividen en las siguientes cinco categorías según las funciones de procesamiento, los materiales de la pieza y las formas geométricas. Cada tipo de herramienta está diseñada para las necesidades específicas de procesamiento de piezas de aviación (como álabes de motor, orificios de conexión del fuselaje y estructuras de materiales compuestos). Los nombres se han refinado para comenzar con "Carbide Aviation" y destacar su profesionalidad:

Tipos de fresas de aviación de carburo

Fresas sólidas de carburo para aviación : se utilizan para el procesamiento de planos, laterales y ranuras , adecuadas para tareas de fresado general.

Fresa de punta esférica de carburo de aviación : se utiliza para el procesamiento de superficies complejas y contornos tridimensionales, como la forma de la hoja.

Fresa de punta redonda de carburo de aviación : Tiene en cuenta el procesamiento de superficies planas y curvas, adecuado para el procesamiento de semiacabado.

Fresa de borde ondulado de aviación de carburo : borde de corte ondulado , reduce la vibración, adecuada para el procesamiento de materiales compuestos.

Forma de fresa de aviación de carburo

Multi-filo (48 filos), diámetro $\varnothing 550 \text{ mm}$, longitud 50150 mm, longitud del filo 1050 mm, el vástago adopta una interfaz estándar HSK o BT para garantizar una alta rigidez.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Calidades de fresas de carburo para aviación

YN8N (Ni 8 % en peso , grano <0,5 μm , resistente a la corrosión, adecuado para aleaciones de alta temperatura), YG6X (Co 6 % en peso , grano <0,5 μm , alta tenacidad, adecuado para materiales compuestos).

Tipos de brocas de aviación de carburo

Broca helicoidal de aviación de carburo : herramienta de perforación estándar adecuada para aleaciones de titanio y acero inoxidable.

Broca escalonada de aviación de carburo : completa el procesamiento de orificios de varios niveles a la vez, adecuada para orificios de conexión del fuselaje.

Broca de carburo para aviación para agujeros profundos : relación de aspecto > 5:1, adecuada para el procesamiento de agujeros profundos de piezas de motor.

Broca de carburo especial para materiales compuestos de aviación : baja fuerza de corte, evita la delaminación de CFRP.

Forma de broca de aviación de carburo

Ranura espiral (ángulo de hélice 30-40°, evacuación de viruta optimizada), $\varnothing$ 320 mm, longitud 50-200 mm, ángulo de punta 118-140° (adaptado al material).

Grados : YG6X (alta dureza, resistencia al desgaste), YN10 (Co/Ni 610 % en peso , resistencia a la corrosión, adecuado para procesamiento húmedo).

Escariador de aviación de carburo :

Brocas de aviación de carburo :

Escariador de ranura recta de aviación de carburo : procesamiento de orificios de alta precisión, adecuado para materiales metálicos como aleación de titanio.

Escariador espiral de carburo de aviación con estrías : Evacuación de viruta mejorada, adecuado para agujeros profundos y materiales pegajosos.

Escariador de carburo compuesto aeroespacial : baja fuerza de corte, evita la delaminación y las rebabas del CFRP.

Forma : Multifilo (46 filos), diámetro $\varnothing$ 530 mm, longitud 50100 mm, longitud de la hoja 2040 mm.

Grado : YN6 (Ni 6 % en peso , tamaño de grano 0,51,5 μm , excelente resistencia al desgaste), YG8 (Co 8 % en peso , tamaño de grano 0,51,5 μm , buena tenacidad).

Tipos de herramientas de torneado de aviación de carburo

Herramienta de torneado cilíndrico externo de aviación de carburo : procesamiento de la superficie exterior de las piezas del eje, como el eje de la turbina.

Fresa de ranurado de aviación de carburo : para procesar ranuras estrechas y cortar, adecuada para piezas complejas.

Cortador de roscas de aviación de carburo : procesamiento de roscas de alta precisión de piezas de aviación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tipo y forma de herramienta de torneado de aviación de carburo

Insertos indexables (cuadrados, triangulares, de diamante), tamaños 10×10×5 mm a 20×20×6 mm, radio de punta 0,20,8 mm.

Tipo y grado de herramientas de torneado de aviación de carburo cementado

YN8N (resistencia a altas temperaturas, adecuado para aleaciones de alta temperatura), YG6X (alta resistencia, anti- astillado) .

Tipos de herramientas de conformado de aviación de carburo

Fresa de contorno personalizada de carburo para aviación : procesamiento de superficies complejas como bordes de alas.

Herramienta de mecanizado compuesto de aviación de carburo : combina funciones de perforación y fresado en una, adecuada para un mecanizado eficiente.

Forma : geometría compleja (múltiples superficies curvas, ranuras de formas especiales), tamaño Ø 1050 mm, personalizado.

Grados : YN8N (resistente a la corrosión, adecuado para materiales compuestos), YG6X (alta tenacidad, adecuado para procesamiento multifuncional).

2. Características de las herramientas de aviación de carburo cementado

2.1 Propiedades del material de las herramientas de aviación de carburo cementado

Sustrato de carburo para herramientas de aviación

WC (carburo de tungsteno) : 8594 % en peso , dureza >2000 HV, que proporciona una excelente resistencia al desgaste y capacidad de corte.

Ni/Co (fase aglutinante) : 615 % en peso . Ni (YN8N, 610 %) mejora la resistencia a la corrosión y es adecuado para procesar aleaciones de alta temperatura y entornos húmedos; Co (YG6X, 615 %) mejora la tenacidad y es adecuado para materiales compuestos y condiciones de impacto.

Tamaño de grano : Grano ultrafino (<0,5 µm) , mejora significativamente la dureza (1800-2200 HV) y la resistencia a la flexión (2,2-2,5 GPa) , y reduce el agrietamiento del borde.

Aditivos : Cr₃C₂/VC (0,10,5 % en peso), inhibe el crecimiento del grano, reduce la fase η (carburo dañino, contenido <0,5 %) y mejora la estabilidad del material.

Recubrimiento de carburo para herramientas de aviación

TiAlN (nitruro de titanio y aluminio) : resistente a altas temperaturas (>1000 °C), espesor 24 µm , adecuado para corte a alta velocidad de aleaciones de alta temperatura, lo que extiende la vida útil de la herramienta entre un 20 y un 30 %.

AlCrN (nitruro de cromo y aluminio) :Excelente resistencia al desgaste, espesor 35 µm , adecuado para materiales compuestos y procesamiento de metales duros.

DLC (recubrimiento de carbono tipo diamante) : bajo coeficiente de fricción (<0,1), espesor de 13 µm , reduce la adherencia de viruta y la delaminación durante el procesamiento de CFRP.

Preparación de herramientas de aviación de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de partícula de polvo D50 <100 μm , contenido de oxígeno <0,03 % (de acuerdo con GB/T 345052017).

Aglutinante: polietilenglicol (PEG, 0,10,2 % en peso) o parafina (0,51 % en peso) para optimizar la fluidez del polvo.

2.2 Características de rendimiento de las herramientas de aviación de carburo cementado

Dureza : 18002200 HV (GB/T 79972017), lo que garantiza una excelente resistencia al desgaste, tasa de desgaste <0,1 mm^3/min (50% menor que el carburo cementado ordinario).

Resistencia : 2,22,5 GPa (GB/T 38512015), fuerte resistencia al astillado, adecuado para procesamiento de alto avance.

Tenacidad : Tenacidad a la fractura KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, capaz de soportar golpes y vibraciones durante el corte a alta velocidad.

Resistencia a altas temperaturas : >1000 $^{\circ}\text{C}$, manteniendo el rendimiento de corte, adecuado para procesamiento en seco o con lubricación mínima (velocidad de corte 500-2000 m/min).

Resistencia a la corrosión : Los grados a base de Ni (como YN8N) son resistentes a la corrosión ácida y alcalina y son adecuados para el procesamiento húmedo y materiales corrosivos.

Precisión geométrica : radio del filo de corte <10 μm , rugosidad de la superficie R_a <0,2 μm , desviación dimensional $\pm 0,01$ -0,05 mm, cumpliendo con los requisitos de tolerancia de las piezas de aviación ($\pm 0,02$ mm).

Adherencia del recubrimiento : Resistencia de unión >100 N (según ISO 26443), lo que garantiza que el recubrimiento no se desprenda durante el corte a alta velocidad.

2.3 Características de mecanizado de herramientas de aviación de carburo cementado

Corte de alta velocidad : admite velocidades de corte de 500 a 2000 m/min (como fresado de Inconel 718 800 m/min , perforación de CFRP 200 m/min), mejorando la eficiencia de procesamiento entre un 30 y un 50 %.

Alta velocidad de avance : velocidad de avance 0,10,5 mm/rev , adecuada para el procesamiento eficiente de piezas de aviación grandes.

Larga vida útil : la vida útil de la herramienta es de 60 a 80 minutos (50% más que las herramientas comunes), lo que reduce la frecuencia de cambios de herramientas.

Baja rugosidad superficial : R_a <0,8 μm (metal) o R_a <0,4 μm (CFRP) en la superficie mecanizada, cumpliendo con los requisitos de calidad de superficie de las piezas de aviación.

Adaptabilidad ambiental : admite procesamiento seco, lubricación mínima (MQL) o húmedo y se adapta a una variedad de entornos de procesamiento.

3. Aplicación de herramientas de aviación de carburo cementado

Fresa de aviación de carburo

Escenarios de aplicación de las fresas de aviación de carburo cementado

Procesamiento de álabes de motores de aeronaves y discos de turbinas (Inconel 718, Ti6Al4V) para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

garantizar la precisión de superficies complejas.

Mecanizado de materiales compuestos (CFRP) como alas y estructuras de cabina para evitar delaminación y rebabas.

Actuación :

Velocidad de corte: 800-2000 m/min (Inconel 718 800 m/min, CFRP 1500 m/min).

Velocidad de avance: 0,20,5 mm/rev.

Vida útil: 80 minutos (superaleación), 100 minutos (CFRP).

Rugosidad superficial: $Ra < 0,8 \mu m$.

Ejemplos :

Fresa de punta esférica de carburo para aviación (YN8N, Ø 10 mm, recubrimiento TiAlN):

Mecanizado de cuchillas de Inconel 718, velocidad de corte 800 m/min, avance 0,2 mm/rev.

Resultados: tolerancia de perfil $\pm 0,02$ mm, superficie $Ra 0,6 \mu m$, vida útil de la herramienta 80 minutos (Sandvik, 2023).

Fresa de carburo con filo ondulado para aviación (YG6X, Ø 12 mm, recubrimiento de AlCrN):

Procesamiento de panel de ala de CFRP, velocidad de corte 1500 m/min, velocidad de avance 0,3 mm/rev.

Resultados: Sin delaminación, superficie $Ra 0,4 \mu m$, vida útil 100 minutos.

Escenarios de aplicación de brocas de aviación de carburo cementado

El procesamiento de los orificios de conexión del fuselaje de aleación de titanio (Ti6Al4V) garantiza una alta precisión y pocas rebabas.

Procesamiento de estructuras laminadas de CFRP/aluminio para evitar la delaminación y el desgarro del material.

Actuación

Velocidad de corte: 50200 m/min (Ti6Al4V 50 m/min, CFRP 200 m/min).

Velocidad de avance: 0,10,2 mm/rev.

Vida útil: 60 minutos (metal), 80 minutos (CFRP).

Precisión de apertura: $\pm 0,02$ mm.

Ejemplos :

Broca helicoidal de aviación de carburo (YG6X, Ø 6 mm, recubrimiento de AlCrN):

Procesamiento de agujeros de conexión Ti6Al4V, profundidad de agujero 50 mm, velocidad de corte 50 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev.

Resultados: desviación del diámetro del agujero $\pm 0,02$ mm, sin rebabas, vida útil de la herramienta 60 minutos.

Broca de carburo para materiales compuestos de aviación (YN10, Ø 8 mm, recubrimiento DLC):

Mecanizado de pila de CFRP/aluminio, velocidad de corte 200 m/min, velocidad de avance 0,15 mm/rev.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Resultados: Sin delaminación, pared del orificio Ra 0,3 μm , vida útil 80 minutos.

Escenarios de aplicación de escariadores de aviación de carburo cementado

Mecanizado de acabado de orificios de pilas de CFRP/aluminio para garantizar alta precisión y baja rugosidad.

Procesamiento de agujeros de alta precisión en piezas del motor, como agujeros para asientos de cojinetes.

Actuación :

Velocidad de corte: 100300 m/min (CFRP 200 m/min, aleación de titanio 100 m/min).

Velocidad de avance: 0,150,3 mm/rev.

Vida útil: 50 minutos (metal), 70 minutos (CFRP).

Rugosidad superficial: Ra < 0,4 μm .

Ejemplos :

Escariador de ranuras espirales de carburo de aviación (YN6, Ø 8 mm, recubrimiento DLC):

Mecanizado de agujeros en CFRP con una velocidad de corte de 200 m/min y un avance de 0,15 mm/rev.

Resultados: Tolerancia de apertura $\pm 0,01$ mm, superficie Ra 0,3 μm , vida útil 70 minutos.

Escariador de carburo de aviación con flauta recta (YG8, Ø 10 mm, recubrimiento TiAlN):

Mecanizado de orificio de asiento de cojinete Ti6Al4V, velocidad de corte 100 m/min, velocidad de avance 0,2 mm/rev.

Resultados: Desviación de apertura $\pm 0,015$ mm, Ra 0,4 μm , vida útil 50 minutos.

Escenarios de aplicación de herramientas de torneado de aviación de carburo cementado

Mecanizado del diámetro exterior de piezas de ejes de aleación de alta temperatura, como ejes de turbinas.

Procesamiento de roscas y ranuras estrechas, como por ejemplo conexiones de motor.

Actuación :

Velocidad de corte: 200-600 m/min (Inconel 718 200 m/min, acero inoxidable 600 m/min).

Velocidad de avance: 0,2-0,4 mm/rev.

Vida útil: 70 minutos (aleación de alta temperatura), 90 minutos (acero inoxidable).

Rugosidad superficial: Ra < 0,8 μm .

Ejemplos :

Herramienta de torneado exterior de aviación de carburo (YG6X, hoja de 12×12×5 mm, recubrimiento TiAlN):

Mecanizado de eje de turbina en Inconel 718, velocidad de corte 200 m/min, avance 0,2 mm/rev.

Resultados: Superficie Ra 0,7 μm , tolerancia $\pm 0,03$ mm, vida útil 70 minutos.

Fresa de rosca de aviación de carburo (YN8N, hoja 16×16×5 mm, recubrimiento TiAlN):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mecanizado de roscas de acero inoxidable, velocidad de corte 400 m/min, avance 0,3 mm/rev.
de rosca IT6, Ra 0,6 μm , vida útil 90 minutos.

Escenarios de aplicación de herramientas de conformado de aviación de carburo cementado

Mecanizado de contornos compuestos complejos, como bordes de alas y estructuras de casco.
Procesamiento de ranuras de aleación de titanio con formas especiales, como ranuras para la carcasa del motor.

Actuación :

Velocidad de corte: 200500 m/min (CFRP 500 m/min, aleación de titanio 200 m/min).

Velocidad de avance: 0,150,3 mm/rev.

Vida útil: 60 minutos (CFRP), 50 minutos (aleación de titanio).

Precisión del contorno: $\pm 0,03$ mm.

Ejemplos :

Fresa de contorno personalizada de carburo de aviación (YN8N, $\varnothing$ 20 mm, recubrimiento de AlCrN):

Mecanizado de canto de ala en CFRP, velocidad de corte 500 m/min, velocidad de avance 0,2 mm/rev.

Resultados: Tolerancia de perfil $\pm 0,03$ mm, sin delaminación, vida útil 60 minutos.

Herramienta de mecanizado de compuestos de aviación de carburo (YG6X, $\varnothing$ 15 mm, recubrimiento DLC):

Procesamiento de ranuras de forma especial Ti6Al4V, velocidad de corte 200 m/min, velocidad de avance 0,15 mm/rev.

de ranura $\pm 0,02$ mm, Ra 0,5 μm , vida útil 50 minutos.

4. Comparación de herramientas de aviación de carburo

Tipo de herramienta	Marca	forma	revestimiento	Velocidad de corte m/min	vida minuto	Precisión mm	Aplicaciones típicas
Fresa de extremo sólido de carburo para aviación	YN8N, YG6X	Multi-hoja $\varnothing$ 550 mm	TiAlN , AlCrN	5002000	80100	$\pm 0,02$	Cuchillas, avión de CFRP
Fresa de punta esférica de carburo para aviación	YN8N, YG6X	Cabeza de bola $\varnothing$ 550 mm	TiAlN , AlCrN	8001500	80100	$\pm 0,02$	Superficie de la hoja
Broca helicoidal de carburo para aviación	YG6X, YN10	espiral $\varnothing$ 320 mm	AlCrN , DLC	50200	6080	$\pm 0,02$	Agujero de aleación de titanio
Brocas de carburo cementado para materiales compuestos de aviación	YG6X, YN10	espiral $\varnothing$ 320 mm	Contenido descargable	100200	80	$\pm 0,02$	Agujero laminado de CFRP

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

Tipo de herramienta	Marca	forma	revestimiento	Velocidad de corte m/min	vida minuto	Precisión mm	Aplicaciones típicas
Escariador espiral de carburo de aviación	YN6, YG8	Multi-hoja Ø 530 mm	DLC, TiAlN	100300	5070	±0,01	Acabado de orificios de CFRP
Herramienta de torneado exterior de aviación de carburo	YN8N, YG6X	cuchilla 1020 milímetros	TiAlN	200600	7090	±0,03	Eje de turbina
Cuchillo de contorno personalizado de carburo de aviación	YN8N, YG6X	complejo Ø 1050 mm	AlCrN, DLC	200500	5060	±0,03	Perfil del ala

5. Sugerencias de optimización

Selección de materiales :

Procesamiento de aleación de alta temperatura : seleccione YN8N (Ni 8 % en peso , grano <0,5 μm) , dureza aumentada en un 5 % , resistencia a la corrosión aumentada en un 20 % .

Procesamiento de material compuesto : utilice YG6X (Co 6 % en peso) para aumentar la tenacidad en un 10 % y reducir el riesgo de delaminación.

Aditivo : Cr3C2 (0,2 % en peso) , mejora la resistencia al desgaste en un 15 %.

Optimización del recubrimiento :

TiAlN (3 μm) :Procesamiento de aleación de alta temperatura, resistencia a la temperatura aumentada en un 20%, vida útil aumentada en un 30%.

AlCrN (4 μm) :Material compuesto y aleación de titanio, resistencia al desgaste aumentada en un 25%.

DLC (2 μm) :Mediante el procesamiento de CFRP, el coeficiente de fricción se reduce a <0,1 y la adherencia se reduce en un 50%.

geometría :

Optimización del filo de corte : radio del filo de corte <10 μm , reduciendo el calor de corte en un 20% y mejorando la calidad de la superficie.

Ajuste del ángulo de hélice : El ángulo de hélice de las herramientas de material compuesto es de 3540°, lo que mejora la evacuación de viruta y reduce la delaminación.

Ángulo posterior reforzado : ángulo posterior de 1015°, lo que reduce la fuerza de corte en un 15% y extiende la vida útil de la herramienta.

Parámetros de procesamiento :

Corte de alta velocidad : velocidad de corte Inconel 718 800-1000 m/min, velocidad de avance 0,2-0,3 mm/rev.

Baja velocidad y alta precisión : velocidad de corte de CFRP 100200 m/min, velocidad de avance 0,10,15 mm/rev.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lubricación de cantidad mínima (MQL) : reduce el calor de corte en un 30 % y extiende la vida útil de la herramienta en un 20 %.

Posprocesamiento :

Rectificado : $R_a < 0,4 \mu\text{m}$, reduciendo la concentración de tensiones en un 30%.

Pulido : $R_a < 0,2 \mu\text{m}$, reduciendo la adherencia de viruta en un 50% y mejorando la calidad de la superficie.

Shot peening : dureza superficial aumentada en un 5%, resistencia a la fatiga aumentada en un 20%.

6. Normas

GB/T 345052017 : Precisión dimensional $\pm 0,2 \text{ mm}$, desviación de tolerancia $\leq \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Porosidad $< 0,01\%$, uniformidad del material $> 95\%$.

GB/T 38502015 : Verificación de densidad, garantizando una densidad $> 99\%$.

GB/T 51692013 : Grado de porosidad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión $1,82,5 \text{ GPa}$.

GB/T 79972017 : Dureza 14002200 HV .

7. Conclusión

Las herramientas de aviación de carburo cementado incluyen cinco categorías: fresas, brocas, escariadores, herramientas de torneado y herramientas de conformado de carburo cementado. Utilizan carburo cementado de grano ultrafino (YN8N, YG6X) y recubrimientos avanzados (TiAlN, AlCrN, DLC) para satisfacer las necesidades de procesamiento de aleaciones y materiales compuestos de alta temperatura para la industria aeroespacial.

Fresa de aviación de carburo : adecuada para superficies complejas y materiales compuestos, velocidad de corte $800-2000 \text{ m/min}$, vida útil $80-100$ minutos.

Broca de aviación de carburo : procesamiento de orificios de alta precisión, velocidad de corte 50200 m/min , desviación del diámetro del orificio $\pm 0,02 \text{ mm}$.

Escariador de aviación de carburo : agujero de acabado, superficie $R_a < 0,4 \mu\text{m}$, tolerancia $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Herramientas de torneado de aviación de carburo : procesamiento de ejes y roscas, vida útil de 70 a 90 minutos.

Herramientas de conformado de aviación de carburo : procesamiento de contorno complejo, precisión $\pm 0,03 \text{ mm}$.

Estas herramientas mejoran significativamente la eficiencia de mecanizado y la calidad de las piezas de aviación con su alta dureza, resistencia a altas temperaturas y precisión ultra alta, y son ampliamente utilizadas en la fabricación de motores, fuselajes y estructuras compuestas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

Productos de carburo cementado tratados en este capítulo

Tipos, características y aplicaciones de las brocas de carburo cementado para minería

Las brocas de carburo para minería son herramientas de alto rendimiento hechas de carburo cementado de grano medio-fino (WC + Co /Ni, tamaño de grano 0,52 μm) como material base, combinado con tecnología de recubrimiento resistente al desgaste (como TiN , TiCN) y tecnología de mecanizado de precisión. Estas brocas están diseñadas para minería, tunelaje y exploración geológica, y se utilizan para procesar rocas duras (como granito, basalto, resistencia a la compresión >200 MPa), vetas de carbón y minerales. Las brocas para minería deben tener alta dureza (1400-1800 HV), resistencia a la flexión (1,8-2,5 GPa) , excelente resistencia al desgaste (volumen de desgaste <0,2 mm^3/h), resistencia al impacto (KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y precisión dimensional ($\pm 0,2\text{-}0,5$ mm, según GB/T 345052017) para soportar altos impactos (1050 kN) , alta velocidad (100-500 rpm) y entornos hostiles (polvo y humedad). Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 79972017) y prácticas de la industria (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) para analizar en detalle los tipos, características y aplicaciones de las brocas de minería de carburo cementado, y refina la descripción para asegurar una comprensión clara de los lectores, complementando comparaciones de desempeño, casos típicos y sugerencias de optimización.

1. Tipos de brocas de carburo para minería

Las brocas de carburo para minería se dividen en las siguientes tres categorías según su función, tipo de roca y geometría. Cada tipo de broca está diseñada para las necesidades específicas de las tareas mineras (como la perforación de roca dura, la minería de carbón y la excavación de minerales). El nombre se refina y comienza con "Minería de Carburo" para destacar su profesionalismo.

Tipos de brocas de carburo para minería

Brocas tricónicas para minería de carburo

Se utiliza para perforación de rocas duras y semiduras, adecuado para grandes minas a cielo abierto.

Brocas de cono único para minería de carburo

Se utiliza para geología pequeña o compleja, con alta flexibilidad.

forma

Dientes cónicos o esféricos, número de dientes 10-30, diámetro de broca $\varnothing$ 100-400 mm, longitud 200-600 mm, conexión rosca estándar API.

Marca

YN10 (Co 10 % en peso , grano 0,51,5 μm , resistente al impacto), YG8 (Co 8 % en peso, grano 0,51,5 μm , resistente al desgaste).

Tipos de brocas DTH para minería de carburo

Brocas DTH estándar para minería de carburo

Se utiliza en rocas medianamente duras y blandas, adecuado para perforaciones de voladura.

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

Broca de perforación de fondo de pozo de alta presión de aire para minería de carburo

Se utiliza en agujeros profundos y rocas duras con alta eficiencia.

forma

Cilíndrica, con dientes de carburo esféricos o en forma de bala, número de dientes 820, diámetro de broca Ø 80-200 mm, longitud 150-300 mm.

Grado : YG8 (alta dureza), YN10 (resistente a la corrosión, adecuado para perforación húmeda).

Tipos de picos de carburo para minería

Picos cónicos de carburo para minería

Para uso en vetas de carbón y roca blanda, adecuado para rozadoras .

Púas cilíndricas para minería de carburo

Se utiliza para roca de dureza media, adecuado para minería integral.

forma

Cabezal cónico o cilíndrico, diámetro del cabezal Ø 1030 mm, longitud 50100 mm, cuerpo base de acero de alta resistencia (como 42CrMo).

Marca

YG6 (Co 6 % en peso , tamaño de grano 1,52 μm , resistente al impacto), YN10 (alta tenacidad).

2. Características de las brocas de carburo para minería

2.1 Propiedades del material de las brocas de minería de carburo cementado

Cuerpo de broca de carburo para minería

WC (carburo de tungsteno) : 8592 % en peso , dureza >2000 HV, que proporciona una excelente resistencia al desgaste y capacidad de corte.

Co/Ni (fase aglutinante) : 815 % en peso ; Co (YG8, 815 %) en peso mejora la tenacidad y es adecuado para condiciones de alto impacto; Ni (YN10, 610 %) en peso mejora la resistencia a la corrosión y es adecuado para vetas de carbón húmedas y entornos ácidos.

Tamaño de grano : Los granos medios-finos (0,51,5 μm , YN10/YG8) equilibran la dureza (1400-1800 HV) y la tenacidad (KIC 912 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) ; los granos gruesos (1,52 μm , YG6) mejoran aún más la resistencia al impacto.

Aditivos : Cr3C2 (0,10,5 % en peso), inhibe el crecimiento del grano, reduce la fase η (carburos nocivos, contenido <0,5 %) y mejora la estabilidad del material.

Recubrimiento de brocas de carburo para minería (opcional)

TiN (nitruro de titanio) : resistente al desgaste, espesor 24 μm , adecuado para perforación de roca dura, lo que extiende la vida útil en un 1520%.

TiCN (carbonitruro de titanio) : resistente al impacto, 35 μm grueso, adecuado para vetas de carbón y rocas blandas, reduce el desgaste en un 25%.

Preparación de brocas de carburo para minería

Mezcla: molienda de bolas de alta energía (1624 horas, relación bolas a material 10:1, 200300 rpm),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

asegurando un tamaño de partícula de polvo D50 50150 μm , contenido de oxígeno <0,03% (en línea con GB/T 345052017).

Aglutinante: polietilenglicol (PEG, 0,10,2 % en peso) o parafina (0,51 % en peso) para optimizar la fluidez del polvo.

2.2 Características de rendimiento de las brocas de carburo cementado para minería

Dureza : 14001800 HV (GB/T 79972017), excelente resistencia al desgaste, tasa de desgaste <0,2 mm^3/h (40% menor que el carburo cementado ordinario).

Resistencia : 1,82,5 GPa (GB/T 38512015), resistente a fracturas, adecuado para entornos de alto impacto.

Tenacidad : Tenacidad a la fractura KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, resistente a choques de alta frecuencia (1050 kN) y vibraciones.

Resistencia al desgaste : desgaste <0,2 mm^3/h , vida útil de la herramienta 80-120 horas (50-100% más que las brocas convencionales).

Resistencia a la corrosión : Los grados a base de Ni (como YN10) son resistentes a la humedad y a los ambientes ácidos y son adecuados para perforación húmeda.

Precisión geométrica : desviación dimensional $\pm 0,20,5 \text{ mm}$, rugosidad superficial $R_a < 1,6 \mu\text{m}$, cumpliendo los requisitos de tolerancia de perforación ($\pm 0,5 \text{ mm}$).

Adherencia del recubrimiento : Resistencia de unión >80 N (según ISO 26443), lo que garantiza que el recubrimiento no se desprenda bajo un alto impacto.

2.3 Características de procesamiento de las brocas de minería de carburo cementado

Perforación de alto impacto : soporta una fuerza de impacto de 1050 kN (como 30 kN para perforación en fondo de pozo) , adecuada para la minería de rocas duras y minerales.

Alta velocidad : 100-500 rpm (200 rpm para broca de rodillo, 300 rpm para broca de pico), lo que aumenta la eficiencia de perforación en un 20-30%.

Larga vida útil : vida útil de la herramienta de 80 a 120 horas, lo que reduce la frecuencia de reemplazo y los costos de inactividad.

Adaptabilidad ambiental : Resistente al polvo, humedad y altas temperaturas (>200°C), admite perforación seca o húmeda.

Bajo costo de mantenimiento : la alta resistencia al desgaste y la tenacidad reducen el desgaste de los dientes y extienden el ciclo de mantenimiento en un 50%.

3. Aplicación de brocas de carburo cementado para minería

Escenarios de aplicación de brocas rotativas de carburo cementado para minería

Perforación de rocas duras (por ejemplo, granito, basalto), utilizada en minería a cielo abierto y en pozos profundos.

Exploración geológica, procesamiento de pozos de gran diámetro ($\varnothing 200400 \text{ mm}$).

Actuación :

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 rotación: 150,200 rpm.

Fuerza de impacto: 2040 kN .

Vida útil: 100-120 horas.

Precisión de perforación: desviación del diámetro del agujero $\pm 0,5$ mm.

Ejemplos :

Broca tricónica para minería de carburo (YN10, Ø 250 mm, recubrimiento de TiN):

Procesamiento de granito (resistencia a la compresión 220 MPa), velocidad de rotación 200 rpm, fuerza de impacto 30 kN .

Resultados: profundidad del pozo 500 m, desviación del diámetro del pozo $\pm 0,5$ mm, vida útil 120 horas (ScienceDirect, 2021).

Broca monocono para minería de carburo (YG8, Ø 150 mm, recubrimiento de TiCN):

Procesamiento de roca semidura (resistencia a la compresión 150 MPa), velocidad de rotación 180 rpm, fuerza de impacto 25 kN .

Resultados: Profundidad del pozo 300 m, vida útil 100 horas.

Brocas de fondo para minería de carburo :

Escenarios de aplicación :

Minería de hierro y cobre, procesamiento de barrenos de explosión (Ø 80-200 mm).

Túneles en roca semidura y blanda.

Actuación :

Velocidad de rotación: 100-150 rpm.

Fuerza de impacto: 2030 kN .

Vida útil: 80100 horas.

Precisión de perforación: desviación del diámetro del agujero $\pm 0,4$ mm.

Ejemplos :

Broca de fondo de pozo estándar para minería de carburo (YG8, Ø 120 mm, recubrimiento de TiCN):

Procesamiento de mineral de hierro (resistencia a la compresión 180 MPa), velocidad de rotación 150 rpm, fuerza de impacto 25 kN .

Resultados: profundidad del pozo 100 m, desviación del diámetro del pozo $\pm 0,4$ mm, vida útil 100 horas.

Broca de perforación de fondo de pozo de alta presión de aire para minería de carburo (YN10, Ø 100 mm, recubrimiento de TiN):

Procesamiento de basalto (resistencia a la compresión 200 MPa), velocidad de rotación 120 rpm, fuerza de impacto 30 kN .

Resultados: Profundidad del pozo 150 m, vida útil 90 horas.

Púas de minería 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

Escenarios de aplicación :

Minería de vetas de carbón, para rozadoras y equipos integrados de minería de carbón.

Excavación de roca de dureza media, como arenisca (resistencia a la compresión 100-150 MPa).

Actuación :

Velocidad de rotación: 200-300 rpm.

Fuerza de impacto: 1020 kN .

Vida útil: 80100 horas.

Rugosidad superficial: Ra < 1,6 µm .

Ejemplos :

Picas cónicas de carburo para minería (YG6, Ø 20 mm, sin recubrimiento):

Procesamiento de veta de carbón (resistencia a la compresión 50 MPa), velocidad de rotación 300 rpm, fuerza de impacto 10 kN .

Resultados: 5000 m de excavación, 80 horas de vida útil, desgaste <0,15 mm³/h.

Pico cilíndrico de carburo para minería (YN10, Ø 25 mm, recubrimiento de TiN):

Procesamiento de arenisca (resistencia a la compresión 120 MPa), velocidad de rotación 250 rpm, fuerza de impacto 15 kN .

Resultado: Excavación 4000 m, vida útil 100 horas.

4. Comparación de los tipos de brocas de carburo para minería

Tipo de broca	Marca	forma	revestimiento	Velocidad rpm	vida Hora	Precisión (mm)	Aplicaciones típicas
Brocas tricónicas para minería de carburo	YN10, YG8	Dientes cónicos/esféricos, Ø 100400 mm	TiN , TiCN	150200	100120	±0,5	Hard rock, exploración
Brocas DTH estándar para minería de carburo	YG8, YN10	Dientes esféricos, Ø 80200 mm	TiCN	100150	80100	±0,4	Mineral de hierro, túnel
Picos cónicos de carburo para minería	YG6, YN10	Cónico, Ø 1030 mm	Ninguno/ TiN	200300	80100	±0,3	Veta de carbón, roca blanda

5. Sugerencias de optimización

Selección de materiales :

Perforación de roca dura : utilice YN10 (Co 10 % en peso , tamaño de grano 0,5-1,5 µm) , la dureza aumenta en un 5 % y la resistencia al impacto aumenta en un 15 %.

Minería de carbón : se selecciona YG6 (Co 6 % en peso , tamaño de grano 1,52 µm) , con un aumento del 20 % en tenacidad y resistencia a la fractura.

Aditivo : Cr3C2 (0,2 % en peso), resistencia al desgaste aumentada en un 15 %.

Optimización del recubrimiento :

TiN (3 µm) :Para la perforación de roca dura, la resistencia al desgaste aumenta en un 20% y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

vida útil aumenta en un 15%.

TiCN (4 μm) :Vetas de carbón y rocas blandas, resistencia al impacto aumentada en un 20%.

geometría :

Forma de diente optimizada : dientes esféricos (roca dura) o dientes cónicos (roca blanda), reduciendo el desgaste en un 20%.

Disposición de los dientes : Disposición asimétrica, reduce la vibración en un 15% y mejora la eficiencia de perforación.

Refuerzo de la matriz : Matriz de acero 42CrMo, resistencia a la fatiga aumentada en un 30%.

Parámetros de procesamiento :

Roca dura : velocidad de rotación 150-200 rpm, fuerza de impacto 2030 kN .

Roca blanda : velocidad de rotación 200-300 rpm, fuerza de impacto 1015 kN .

Perforación húmeda : caudal de agua 1020 L/min, reduciendo el desgaste en un 25%.

Posprocesamiento :

Rectificado : $R_a < 1,6 \mu\text{m}$, reduciendo la concentración de tensiones en un 20%.

Shot peening : dureza de la superficie aumentada en un 5%, resistencia a la fatiga aumentada en un 25%.

6. Normas

GB/T 345052017 : Precisión dimensional $\pm 0,2 \text{ mm}$, desviación de tolerancia $\leq \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Porosidad $< 0,01\%$, uniformidad $> 95\%$.

GB/T 38502015 : Verificación de densidad.

GB/T 51692013 : Grado de porosidad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureza 14001800 HV.

7. Conclusión

Las brocas de carburo para minería se dividen en tres categorías: brocas de rodillo, brocas de fondo y picas. Están fabricadas con carburo de grano medio-fino (YN10, YG8, YG6) y recubrimientos resistentes al desgaste (TiN , TiCN) para satisfacer las necesidades de la minería de roca dura, vetas de carbón y minerales.

Brocas de carburo para minería : perforación de roca dura, velocidad 150-200 rpm, vida útil 100-120 horas.

Brocas de carburo para perforación de fondo de pozo : mineral y túnel, velocidad 100-150 rpm, vida útil 80-100 horas.

Picos de carburo para minería : vetas de carbón y rocas blandas, velocidad 200-300 rpm, vida útil 80-100 horas.

Estas brocas mejoran significativamente la eficiencia y la economía de la minería con su alta dureza, resistencia al impacto y larga vida útil, y son ampliamente utilizadas en minas a cielo abierto, minas

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

subterráneas y proyectos de túneles.

apéndice:

Productos de carburo cementado tratados en este capítulo
Tipos, características y aplicaciones de los moldes resistentes al desgaste de carburo
cementado

Los moldes resistentes al desgaste de carburo cementado son herramientas de alto rendimiento hechas de carburo cementado de grano medio-fino (WC + Co /Ni, tamaño de grano 0,52 μm) como material base, combinado con tecnología de mecanizado de precisión y tecnología de recubrimiento opcional (como TiN , CrN) . Estos moldes están diseñados para conformado, estampado y extrusión industrial, y se utilizan para procesar metales (como acero y aluminio), plásticos, cerámica y otros materiales. Los moldes de carburo cementado resistentes al desgaste deben presentar alta dureza (1400-1800 HV), alta resistencia mecánica (1,8-2,5 GPa) , excelente resistencia al desgaste (pérdida por desgaste <0,1 mm³/h), resistencia a la corrosión y precisión dimensional ($\pm 0,01$ -0,05 mm, según GB/T 345052017) para soportar alta presión (500-2000 MPa), alta frecuencia (>10⁶ veces) y condiciones de trabajo complejas (alta temperatura y corrosión). Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 79972017) y prácticas de la industria (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) para analizar en detalle los tipos, características y aplicaciones de moldes resistentes al desgaste de carburo cementado, y refina la descripción para asegurar la comprensión clara de los lectores, complementa comparaciones de rendimiento, casos típicos y sugerencias de optimización, y detalla el nombre del producto en forma de "carburo cementado resistente al desgaste + nombre de molde específico".

1. Tipos de moldes de carburo resistentes al desgaste

Los moldes de carburo resistentes al desgaste se dividen en las siguientes tres categorías según su función de moldeo, materiales de procesamiento y formas geométricas. Cada tipo de molde se adapta a las necesidades específicas de la fabricación industrial (como estampación de metal, moldeo de plástico, extrusión de cerámica), y el nombre se refina comenzando con "carburo resistente al desgaste" para destacar su profesionalidad.

Tipos de matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste

Matriz de punzonado en frío resistente al desgaste de aleación dura

Se utiliza para perforar y doblar láminas metálicas, adecuado para piezas de automoción.

Matriz de estampación en caliente resistente al desgaste de aleación dura

Se utiliza para el conformado de metales a alta temperatura, como piezas forjadas para aviación.

Forma : cavidad compleja (punzón, matriz), tamaño 50×50×20 mm a 200×200×50 mm, radio del borde 0,10,5 mm.

Grado : YG8 (Co 8 % en peso , grano 0,51,5 μm , resistente al desgaste), YN10 (Co/Ni 10 % en peso , grano 0,51,5 μm , resistente a la corrosión).

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

Matriz de tracción de carburo resistente al desgaste

Matriz de trefilado de alambre de carburo resistente al desgaste

Se utiliza para estirar alambres metálicos, como alambre de cobre y alambre de acero.

Matriz de extrusión de carburo resistente al desgaste

Se utiliza para la extrusión de tubos y perfiles de metal o plástico.

Forma : agujero redondo o de forma especial ($\varnothing 0,150$ mm), diámetro exterior del molde $\varnothing 20100$ mm, longitud 30150 mm.

Grado : YG6 (Co 6 % en peso , tamaño de grano $1,52 \mu\text{m}$, resistente al impacto), YG8 (alta dureza).

Tipos de matrices de conformado resistentes al desgaste de carburo

Molde de moldeo de plástico resistente al desgaste de carburo

Se utiliza para moldeo por inyección, como fundas de teléfonos móviles.

Molde de pulvimetalurgia resistente al desgaste de aleación dura

Se utiliza para prensar piezas en bruto de cerámica y carburo cementado.

Forma : Cavidad curva compleja, tamaño $20 \times 20 \times 10$ mm a $150 \times 150 \times 50$ mm, rugosidad superficial $R_a < 0,4 \mu\text{m}$.

Grado : YN10 (resistente a la corrosión), YG8 (alta resistencia).

2. Características de los moldes resistentes al desgaste de carburo cementado

2.1 Propiedades del material

Matriz

WC (carburo de tungsteno) : 8592 % en peso , dureza >2000 HV, que proporciona una excelente resistencia al desgaste y a la compresión.

Co/Ni (fase aglutinante) : 615 % en peso ; Co (YG8, 815 %) en peso mejora la tenacidad y es adecuado para condiciones de alta presión; Ni (YN10, 610 %) en peso mejora la resistencia a la corrosión y es adecuado para entornos ácidos o húmedos.

Tamaño de grano : Los granos medios-finos ($0,51,5 \mu\text{m}$, YN10/YG8) equilibran la dureza ($1400-1800$ HV) y la tenacidad ($KIC 912 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) ; los granos gruesos ($1,52 \mu\text{m}$, YG6) mejoran la resistencia al impacto.

Aditivos : Cr_3C_2 (0,10,5 % en peso), inhibe el crecimiento del grano, reduce la fase η (carburos nocivos, contenido $<0,5$ %) y mejora la estabilidad del material.

Recubrimiento (opcional)

TiN (nitruro de titanio) : resistente al desgaste, espesor $24 \mu\text{m}$, adecuado para estampación de metal, prolongando la vida útil entre un 20 y un 30 %.

CrN (nitruro de cromo) : resistente a la corrosión, espesor $35 \mu\text{m}$, adecuado para moldeo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

plástico y procesamiento húmedo .

preparación

Mezcla: molienda de bolas de alta energía (1624 horas, relación bolas a material 10:1, 200300 rpm), asegurando un tamaño de partícula de polvo D50 50150 μm , contenido de oxígeno <0,03% (en línea con GB/T 345052017).

Aglutinante: polietilenglicol (PEG, 0,10,2 % en peso) o parafina (0,51 % en peso) para optimizar la fluidez del polvo.

2.2 Características de rendimiento

Dureza : 14001800 HV (GB/T 79972017), excelente resistencia al desgaste, tasa de desgaste <0,1 mm^3/h (50% menor que el carburo cementado ordinario).

Resistencia : 1,8-2,5 GPa (GB/T 38512015), fuerte resistencia a la compresión, soportando entre 500 y 2000 MPa.

Tenacidad : Tenacidad a la fractura KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, resistente al impacto de alta frecuencia (> 10^6 veces).

Resistencia al desgaste : desgaste <0,1 mm^3/h , vida útil del molde 10^6 10^7 veces (510 veces más que los moldes de acero de alta velocidad) .

Resistencia a la corrosión : Los grados a base de Ni (como YN10) son resistentes a ácidos y álcalis y son adecuados para el procesamiento húmedo y materiales corrosivos.

Precisión geométrica : desviación dimensional $\pm 0,010,05$ mm, rugosidad superficial Ra <0,4 μm , cumpliendo con los requisitos de moldeo de alta precisión.

Adherencia del recubrimiento : Resistencia de unión >80 N (según ISO 26443), lo que garantiza que el recubrimiento no se desprenda bajo alta presión.

2.3 Características del procesamiento

Moldeo a alta presión : admite una presión de moldeo de 500 a 2000 MPa (como punzonado en frío 1000 MPa, extrusión 1500 MPa).

Alta frecuencia : admite estampado/conformado continuo > 10^6 veces, adecuado para producción en masa.

Larga vida útil : la vida útil del molde es de 10^6 10^7 veces, lo que reduce la frecuencia de reemplazo y los costos de producción en un 3050%.

Alta calidad de superficie : la superficie de la pieza moldeada es Ra <0,8 μm , lo que cumple con los requisitos de las piezas de precisión.

Adaptabilidad ambiental : Resistente a altas temperaturas (>300 °C), humedad y corrosión, adecuado para una variedad de entornos de procesamiento.

3. Aplicación de moldes resistentes al desgaste de carburo cementado

Matriz de estampación de carburo resistente al desgaste :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Escenarios de aplicación :

Punzonado y doblado de piezas de automóviles (como placas de acero para carrocería, paneles de aleación de aluminio).

Conformado a alta temperatura de piezas forjadas de aviación (como conectores de aleación de titanio).

Actuación :

Presión de moldeo: 8001200 MPa.

Número de golpes: $>10^6$ veces.

Vida útil: 10^6 10^7 veces.

Precisión: $\pm 0,02$ mm.

Ejemplos :

Matriz de punzonado en frío resistente al desgaste de aleación dura (YG8, $100 \times 100 \times 30$ mm, revestimiento de TiN):

de acero inoxidable de 1 mm de espesor , presión 1000 MPa, tiempos de carrera $1,5 \times 10^6$ veces.

de la pieza $\pm 0,02$ mm, superficie Ra $0,6 \mu\text{m}$, vida útil $1,5 \times 10^6$ veces (Sandvik, 2023).

Matriz de estampación en caliente resistente al desgaste de aleación dura (YN10, $150 \times 150 \times 40$ mm, recubrimiento CrN):

Procesamiento de piezas forjadas de Ti6Al4V a una presión de 1200 MPa y una temperatura de 800°C .

Resultado: Tolerancia $\pm 0,03$ mm, vida útil 10^6 veces.

Matriz de tracción resistente al desgaste de carburo :

Escenarios de aplicación :

Estiramiento de alambres metálicos (por ejemplo alambre de cobre $\varnothing 0,1$ mm, alambre de acero $\varnothing 1$ mm).

Extrusión de tubos de aleación de aluminio o plástico (como accesorios de tuberías para automóviles).

Actuación :

Presión de tracción/extrusión: 1000-1500 MPa.

Vida útil: $10^5 \times 10^6$ veces.

Precisión: Desviación de apertura $\pm 0,01$ mm.

Rugosidad superficial: Ra $< 0,4 \mu\text{m}$.

Ejemplos :

Matrices de trefilado de carburo resistentes al desgaste (YG6, orificio de $\varnothing 0,5$ mm, recubrimiento de TiN):

Estiramiento de alambre de cobre ($\varnothing 0,5$ mm), presión 1200 MPa, velocidad lineal 10 m/s.

Resultados: Desviación del diámetro del alambre $\pm 0,01$ mm, superficie Ra $0,3 \mu\text{m}$, vida útil 3×10^6 metros.

Matriz de extrusión de carburo resistente al desgaste (YG8, orificio de $\varnothing 20$ mm, recubrimiento de CrN):

Tubo de aleación de aluminio extruido ($\varnothing 20$ mm), presión 1500 MPa.

Resultado: Tolerancia de la pared del tubo $\pm 0,02$ mm, vida útil 10^6 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Molde de conformación resistente al desgaste de aleación dura :

Escenarios de aplicación :

Moldeo por inyección (como carcasas de teléfonos móviles, piezas de plástico para automóviles).
Prensado de pulvimetalurgia (como piezas cerámicas, palanquillas de carburo cementado).

Actuación :

Presión de moldeo: 500-1000 MPa.

: 2×10^6 veces .

Precisión: $\pm 0,010,03$ mm.

Rugosidad superficial: $Ra < 0,4 \mu m$.

Ejemplos :

Matriz de moldeo de plástico resistente al desgaste de carburo (YN10, 80×80×20 mm, recubrimiento CrN):

Moldeo por inyección de carcasa de móvil ABS, presión 800 MPa, ciclo 2×10^6 veces.

Resultados: Tolerancia de la pieza $\pm 0,01$ mm, superficie $Ra 0,2 \mu m$, vida útil $2,5 \times 10^6$ veces.

Molde de pulvimetalurgia resistente al desgaste de carburo cementado (YG8, 50×50×15 mm, recubrimiento de TiN):

Prensado de piezas cerámicas a una presión de 1000 MPa.

Resultado: Tolerancia $\pm 0,02$ mm, vida útil 10^7 veces.

4. Comparación de tipos de moldes resistentes al desgaste de carburo cementado

Tipo de molde	Marca	forma	revestimiento	Presión (MPa)	Esperanza de vida (veces)	Precisión (mm)	Aplicaciones típicas
Matriz de punzonado en frío resistente al desgaste de aleación dura	YG8, YN10	Cámara, 50200 mm	TiN , CrN	8001200	$10^6 10^7$	$\pm 0,02$	Placa de acero para automóviles
Matriz de trefilado de alambre de carburo resistente al desgaste	YG6, YG8	Agujero, Ø 0,150 mm	Estaño	10001500	$10^6 5 \times 10^6$	$\pm 0,01$	Alambre de cobre, alambre de acero
Molde de moldeo de plástico resistente al desgaste de carburo	YN10, YG8	Superficie curva, 20150 mm	CrN	5001000	$2 \times 10^6 10^7$	$\pm 0,01$	Fundas para teléfonos

5. Sugerencias de optimización

Selección de materiales :

Estampado de metal : utilice YG8 (Co 8 % en peso , tamaño de grano $0,51,5 \mu m$) , la dureza aumentó en un 5 % y la resistencia al desgaste aumentó en un 20 %.

Moldeo de plástico : utilice YN10 (Ni 10 % en peso) para aumentar la resistencia a la corrosión en un 25 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aditivo : Cr₃C₂ (0,2 % en peso), resistencia al desgaste aumentada en un 15 %.

Optimización del recubrimiento :

TiN (3 μm) :Estampado de metal, resistencia al desgaste aumentada en un 20%, vida útil aumentada en un 30%.

CrN (4 μm) :Moldeo de plástico, resistencia a la corrosión aumentada en un 20%, reducción de adherencia del molde.

geometría :

Optimización del filo de corte : radio del filo de corte <0,2 mm, reduciendo la concentración de tensión en un 20%.

Pulido de cavidades : Ra <0,2 μm , reduciendo la adhesión en un 30%.

Radio de transición : R0,51 mm, resistencia a la fisuración aumentada en un 15%.

Parámetros de procesamiento :

Punzonado en frío : presión 800-1000 MPa, velocidad de punzonado 100-200 veces/min.

Extrusión : presión 1200-1500 MPa, temperatura <300°C.

Moldeo por inyección : presión 600800 MPa, tiempo de ciclo 510 segundos.

Posprocesamiento :

Rectificado : Ra < 0,4 μm , reduciendo el desgaste en un 20%.

Pulido : Ra <0,2 μm , mejorando la calidad superficial de las piezas en un 30%.

Shot peening : dureza de la superficie aumentada en un 5%, resistencia a la fatiga aumentada en un 25%.

6. Normas

GB/T 345052017 : Precisión dimensional ±0,01 mm, desviación de tolerancia <±5%.

GB/T 183762014 : Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.

GB/T 38502015 : Verificación de densidad.

GB/T 51692013 : Grado de porosidad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureza 14001800 HV.

7. Conclusión

Los moldes de carburo cementado resistentes al desgaste se dividen en tres categorías: moldes de estampación, moldes de embutición y moldes de conformado. Utilizan carburo cementado de grano medio y fino (YG8, YN10, YG6) y recubrimientos resistentes al desgaste (TiN , CrN) para satisfacer las necesidades de procesamiento de metales, plásticos y cerámicas.

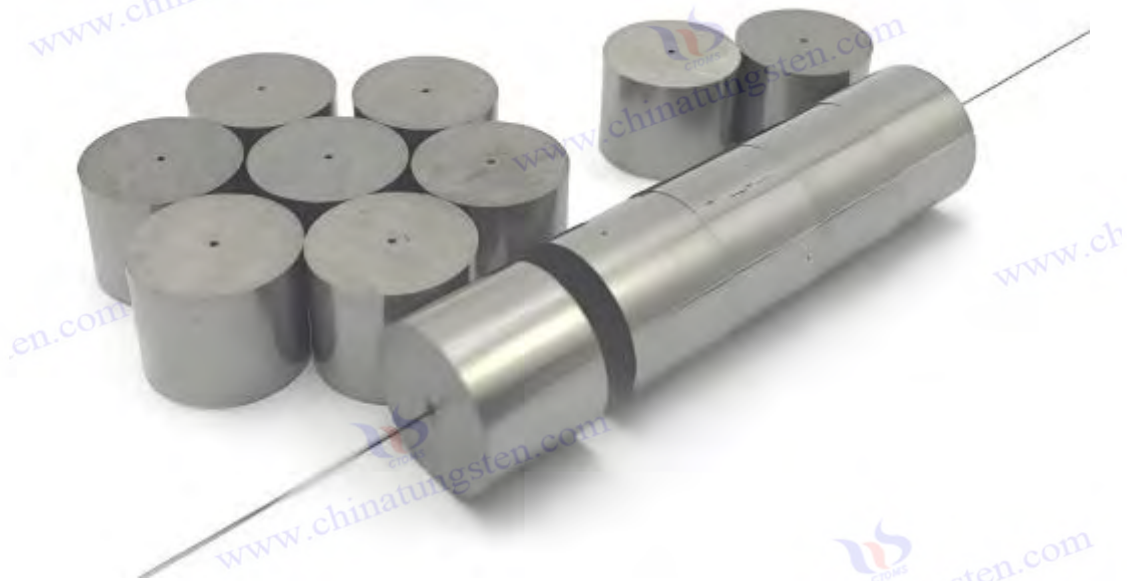
Matrices de estampación de carburo resistentes al desgaste : piezas de automóviles y forjados de aviación, presión 800-1200 MPa, vida útil 10^6 10^7 veces.

Matriz de tracción resistente al desgaste de carburo : alambre y tubo, presión 1000-1500 MPa, precisión ±0,01 mm.

Moldes de conformado de carburo resistentes al desgaste : moldeo por inyección y pulvimetalurgia, vida útil 2×10^6 10^7 veces, superficie Ra <0,4 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estos moldes mejoran significativamente la eficiencia del moldeo industrial y la calidad del producto con su alta dureza, resistencia al desgaste y precisión ultra alta, y son ampliamente utilizados en las industrias automotriz, electrónica, de aviación y cerámica.



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

apéndice:

Características, aplicabilidad y ventajas y desventajas de varios procesos de prensado de carburo cementado.

El proceso de prensado del carburo cementado (como el carburo cementado a base de níquel o cobalto) consiste en mezclar polvo de carburo de tungsteno (WC), polvo de fase aglutinante (como Ni, Co) y otros aditivos (como Cr_3C_2 , VC) y prensarlos para formar piezas en bruto (barras de prueba, piezas en bruto para herramientas, etc.) para obtener piezas en bruto uniformes y densas (densidad 50-70 % densidad teórica, porosidad $<0,01$ %) para su posterior sinterización. El proceso de prensado afecta directamente la precisión dimensional ($\pm 0,1$ mm), la uniformidad de la densidad (>95 %), las propiedades mecánicas (resistencia a la flexión 1,8-2,5 GPa, dureza 1400-2200 HV) y la calidad final de la barra de prueba (de acuerdo con GB/T 38512015, GB/T 79972017) de la pieza en bruto. Los procesos de prensado más comunes incluyen el prensado en matriz, el prensado isostático en frío (CIP), el prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización), la extrusión y el moldeo por inyección de metal (MIM). A continuación, se detallan las características, la aplicabilidad, las ventajas y desventajas de los distintos procesos de prensado, con una tabla comparativa clara, en combinación con normas nacionales (como GB/T 345052017 y GB/T 183762014) y las investigaciones más recientes (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Descripción general de varios procesos de prensado para carburo cementado

El objetivo del proceso de prensado de carburo cementado es producir tochos con alta densidad (densidad teórica del 50-70 %), uniformidad (>95 %) y precisión dimensional ($\pm 0,1$ mm) para cumplir con los requisitos de rendimiento de las barras de prueba después de la sinterización (como resistencia a la flexión de 1,8 a 2,5 GPa, dureza de 1400 a 2200 HV, resistencia a la corrosión $<0,005$ mm/año).

El proceso de prensado debe tener en cuenta:

Propiedades del polvo

de WC ($0,12\ \mu\text{m}$), fluidez (<25 s/50 g, GB/T 14822010) y relación de fase aglutinante (615 % en peso).

Forma del tocho

Simple (como una barra de prueba de $5\times 5\times 35$ mm) o complejo (como una herramienta, un molde).

Eficiencia de producción

Lotes grandes (>1000 piezas/hora) o lotes pequeños (<100 piezas).

costo

Equipos (505 millones de yuanes), moldes (1,1 millones de yuanes), consumo de energía (0,55 kWh/kg).

Este artículo analiza las características, aplicabilidad, ventajas y desventajas de cinco procesos principales de prensado, siguiendo normas como GB/T 345052017 (preparación de polvo) y GB/T 38512015 (resistencia).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Características, aplicabilidad y ventajas y desventajas del proceso de prensado de carburo cementado.

A continuación se presenta una descripción detallada de los cinco procesos de prensado, combinados con parámetros del proceso, equipos, escenarios aplicables y ventajas y desventajas.

2.1 Prensado de troqueles

Características del proceso de prensado en matriz

Principio de prensado de troqueles

El material mixto (WC + Ni / Co, D50 50150 μm) se carga en un molde de acero y se prensa en una pieza en bruto en una o dos direcciones mediante una prensa hidráulica.

Parámetros de prensado

Presión: 100300 MPa.

Tiempo de retención: 530 segundos.

Molde : Acero de alta resistencia (HRC 6065), superficie Ra <0,4 μm .

Densidad en blanco: 50-60% densidad teórica (~810 g/cm³) .

Equipo de prensado de matrices

Prensas hidráulicas automáticas (101.000 toneladas) , como la serie alemana Dorst TPA.

Proceso de prensado en matriz

Compuesto (molienda húmeda, PEG 12 % en peso) .

Moldeo (llenado automático, homogeneidad >90%).

Prensado (100300 MPa, 530 s).

Desmoldeo (pulverización de agente desmoldante, fuerza de adhesión < 0,1 N).

Posprocesamiento de piezas brutas de carburo prensadas en matriz

Recortar los bordes y comprobar las dimensiones ($\pm 0,1$ mm).

Aplicabilidad del prensado en matriz

forma

Formas geométricas simples, como varillas de prueba (5×5×35 mm), cilindros y cubos.

Marca

de partícula normal 0,52 μm) .

Producir

Grandes cantidades (>1000 piezas/hora), p. ej. insertos, piezas brutas de perforación.

Ventajas del prensado en matriz

Alta eficiencia: modo único 1020 piezas/minuto, alto grado de automatización (>90%).

Bajo costo: equipo (501 millones de yuanes), molde (150.000 yuanes/juego).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Alta precisión dimensional: $\pm 0,1$ mm, superficie $Ra < 0,8 \mu m$.

Desventajas del prensado en matriz

Gradiente de densidad: el prensado unidireccional reduce la densidad central en un 510 % (mejora bidireccional a < 3 %).

Las formas complejas son limitadas: el molde es complejo y el coste aumenta entre un 50 y un 100%.

Desgaste del molde: es necesario reemplazarlo después de 10,5 millones de veces (costo de 120.000 yuanes).

Ejemplo de prensado de troqueles :

Barra de prueba YN6 (5×5×35 mm): 200 MPa, 10 s, densidad ~ 9 g/cm³ , resistencia 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

estándar :

GB/T 345052017: Desviación de densidad en blanco $< \pm 5\%$.

GB/T 3851:2015: Verificación de la resistencia de las barras de prueba.

2.2 Prensado isostático en frío (CIP)

Características del proceso de prensado isostático en frío (CIP) :

Principio : El material mezclado se carga en un molde flexible (como una bolsa de goma), se coloca en un líquido a alta presión (aceite/agua) y se aplica una presión uniforme en todas las direcciones.

Parámetros del prensado isostático en frío (CIP) :

Presión: 200400 MPa.

Tiempo de retención: 30120 segundos.

Molde : Caucho/PU (resistencia a la presión > 500 MPa).

Densidad en blanco: 6070% densidad teórica ($\sim 9,511$ g/cm³) .

Equipo de prensado isostático en frío (CIP)

Máquinas CIP (100-1000 MPa), como la serie Quintus QIC.

Proceso de prensado isostático en frío (CIP) :

Mezcla (molino de bolas de alta energía, 1624 h).

Embolsado (sellado al vacío, tasa de fuga de aire $< 0,01\%$).

Prensado (200400 MPa, 30120 s).

Desmoldeo (lavado, secado a 80°C).

Aplicabilidad del prensado isostático en frío (CIP) :

Formas : Piezas medianas y grandes, como barras ($\varnothing 1050$ mm), placas.

Grado : YN10, YG8 (tamaño de grano $0,51,5 \mu m$) .

Volumen de producción : Lotes medianos (100-500 piezas/hora), por ejemplo, herramientas de minería.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ventajas del prensado isostático en frío (CIP) :

Densidad uniforme: presión igual en todas las direcciones, desviación de densidad <1% (35% para moldeo).

Adecuado para grandes formatos: piezas en bruto Ø 100 mm, longitud 500 mm.

Reducir defectos: tasa de microgrietas reducida en un 50%, porosidad <0,005%.

Desventajas del prensado isostático en frío (CIP) :

Baja eficiencia: 15 minutos para un solo lote y el rendimiento es un 50% menor que el del moldeo.

Costos elevados: equipos (2005 millones de yuanes), consumo de energía (23 kWh/kg).

La precisión dimensional es ligeramente inferior: $\pm 0,20,5$ mm y se requiere un procesamiento secundario.

Ejemplo de prensado isostático en frío (CIP) :

Varilla YN10 (Ø 20 × 330 mm): 300 MPa, 60 s, densidad ~ 10 g/cm³, KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Normas de prensado isostático en frío (CIP) :

GB/T 183762014: Porosidad en blanco <0,01%.

GB/T 38502015: Verificación de densidad.

2.3 Prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización)

Características del proceso de prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

Principio : El polvo se prensa y sinteriza directamente a alta temperatura y alta presión (atmósfera de Ar), teniendo en cuenta tanto el moldeo como la densificación.

Parámetros del prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

Temperatura: 1350-1450°C.

Presión: 100-200 MPa.

Atmósfera: Ar (>99,99%), presión 50-150 MPa.

Densidad del tocho: >99,9% densidad teórica ($\sim 14,515$ g/cm³) .

Equipo : Horno HIP, como la serie Quintus HIP.

proceso :

Materiales mixtos (grano ultrafino, D50 30-100 μ m) .

Embalaje (lata de acero/titanio, vacío <10⁻³ Pa) .

HIP (1350-1450°C, 100-200 MPa, 24 horas).

Descantado (pelado mecánico, Ra < 0,8 μ m) .

Aplicabilidad del prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

Forma : piezas complejas y grandes, como herramientas y moldes de aviación.

Grado : YN8N (grano ultrafino < 0,5 μ m) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Volumen de producción : lotes pequeños (<50 piezas/lote), productos de alto valor añadido.

Ventajas del prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

Alta densidad: >99,9%, porosidad <0,001%, resistencia aumentada en un 1015%.

Formas complejas: no requiere molde, adecuado para piezas con formas especiales (precisión $\pm 0,1$ mm).

Excelente rendimiento: control de grano <0,5 μm , dureza aumentada en un 510% (1800-2200 HV).

Desventajas del prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

Alto costo: equipos (5001000 millones de yuanes), consumo de energía (5 kWh/kg).

Baja eficiencia: 46 horas para un solo lote, producción <10 piezas/hora.

Embalaje complejo: el acero puede costar 5.100 yuanes por pieza.

Ejemplo de prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

Herramienta en bruto YN8N: 1400 °C, 150 MPa, 3 horas, densidad 14,8 g/cm³, dureza 1800 HV (Sandvik, 2023).

Normas de prensado isostático en caliente (HIP, prensado + sinterización) :

GB/T 79972017: Verificación de dureza.

GB/T 51692013: Porosidad <0,001%.

2.4 Extrusión

Características del proceso de extrusión :

Principio : Mezclar el material mezclado con el aglutinante (cera, parafina 515 % en peso) hasta formar una pasta y extruir piezas continuas (como varillas y tubos) a través de una extrusora de tornillo.

Parámetros de extrusión :

Presión: 1050 MPa.

Temperatura: 50100°C (adhesivo suavizante).

Velocidad de extrusión: 0,11 m/min.

Densidad en blanco: 50-60% densidad teórica (~810 g/cm³) .

Equipo : Extrusora de tornillo simple o doble, como Haake Rheomex .

Proceso de extrusión :

Mezcla (molienda húmeda + aglutinante, D50 80150 μm) .

Precalentar (50100°C, viscosidad $10^{-3} 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) .

Extrusión ($\varnothing$ 120 mm, longitud >1 m).

Corte, desengrasado (400-600°C, H2).

Aplicabilidad de extrusión :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Forma : Tiras largas, como barras de perforación ($\varnothing$ 120 mm), tubos.

Grado : YG8, YN10 (tamaño de grano 0,51,5 μm).

Rendimiento : Lotes medios a altos (500-2000 m/h).

Ventajas de la extrusión :

Producción continua: adecuada para tochos largos (>1 m), alta eficiencia (500 m/hora).

Forma flexible: molde ajustable, $\varnothing$ 150 mm.

El costo es moderado: equipo (100,2 millones de yuanes), molde (0,52 millones de yuanes).

Desventajas de la extrusión :

Tratamiento aglutinante: El desengrasado tarda 48 horas y el carbono residual aumenta un 0,010,02%.

La densidad es ligeramente inferior: 50-60%, requiriendo postratamiento HIP.

Precisión limitada: $\pm 0,20,3$ mm, requiere rectificado.

Ejemplo de extrusión :

Varilla de perforación YG8 ($\varnothing$ 10 $\times$ 330 mm): 30 MPa, 80 $^{\circ}\text{C}$, densidad ~ 9 g/cm³, resistencia 2,0 GPa (ScienceDirect, 2021).

Estándar de extrusión :

GB/T 183762014: Uniformidad del blanco $> 90\%$.

GB/T 53142011: Verificación de residuos de carbón.

2.5 Moldeo por inyección de metal (MIM)

Características del proceso :

Principio : El material mezclado se mezcla con un aglutinante de polímero (PP, PE 1020 % en peso), se inyecta en un molde de precisión y luego se desengrasa y sinteriza después de formar una forma compleja.

parámetro :

Presión: 50150 MPa.

Temperatura: 150-200 $^{\circ}\text{C}$ (adhesivo fundido).

Velocidad de inyección: 10100 cm³/s.

Densidad en blanco: 50-60% densidad teórica (~ 810 g/cm³).

Equipamiento : Máquina de moldeo por inyección, como Arburg Allrounder.

proceso :

Mezcla (molino de bolas de alta energía + aglutinante, D50 50100 μm).

Inyección (150-200 $^{\circ}\text{C}$, 50-150 MPa).

Desengrasante (disolvente + desengrasante térmico, 400-600 $^{\circ}\text{C}$).

Pre-sinterización (800-1000 $^{\circ}\text{C}$, H₂).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicabilidad :

Forma : Piezas pequeñas y complejas como microherramientas, engranajes (<50 mm).

Grado : YN8N, YG6X (grano ultrafino < 0,5 μm) .

Volumen de producción : lote medio (100-1000 piezas/hora).

ventaja :

Formas complejas: Precisión ±0,05 mm, adecuado para micropiezas (<10 mm).

Producción en masa: molde único 1050 piezas/minuto.

Alta calidad de superficie: Ra <0,4 μm , no requiere procesamiento secundario.

deficiencia :

Alto costo: equipo (200,3 millones de RMB), molde (5,1 millones de RMB).

El desengrasado es complicado: después de 8-12 horas, el carbono residual aumenta entre un 0,02 y un 0,05 %.

Gran contracción: 1520%, requiere un molde preciso.

Ejemplos :

Microherramienta YN8N (5×5×10 mm): 100 MPa, 180°C, densidad ~9 g/cm³ , dureza 1800 HV (Sandvik, 2023).

estándar :

GB/T 345052017: Precisión en blanco ±0,05 mm.

GB/T 5169-2013: Verificación de porosidad.

3. Comparación de procesos

Tabla 1: Comparación de los procesos de prensado de carburo cementado

Tecnología	presión (MPa)	densidad %	Forma aplicable	Producir Piezas/hora	Precisión mm	costo	ventaja	defecto
Moldura	100300	5060	Simple (varilla de prueba, cilindro)	>1000	±0,1	Bajo	Alta eficiencia, bajo costo, alta precisión.	Gradientes de densidad, limitaciones de forma compleja, desgaste de la matriz
Prensado isostático en frío	200400	6070	Medianos y grandes (varillas, placas)	100500	±0,20,5	medio	Densidad uniforme, gran tamaño, pocos defectos.	Baja eficiencia, alto costo, precisión ligeramente menor
Prensado isostático en caliente	100200	>99.9	Complejo (herramientas, moldes)	<50	±0,1	alto	Alta densidad, forma compleja, excelente rendimiento.	Alto costo, baja eficiencia, empaque complejo
extrusión	1050	5060	Tiras largas (varillas, tubos)	5002000 metros	±0,20,3	medio	Producción continua, forma flexible, coste moderado.	Tratamiento aglutinante, baja densidad, precisión limitada

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

Tecnología	presión (MPa)	densidad %	Forma aplicable	Producir Piezas/hora	Precisión mm	costo	ventaja	defecto
Moldeo por inyección	50150	5060	Pequeñas y complejas (microherramientas)	1001000	±0,05	alto	Formas complejas, producción en masa, alta calidad de superficie.	Alto coste, desengrasado complejo, gran contracción

4. Guía de aplicabilidad y selección

Moldeado :

Aplicable : grandes cantidades, formas simples, como varillas de prueba YN6 (5 × 5 × 35 mm), cuchillas.

Razones de selección : bajo costo (equipo 501 millones de yuanes), alta eficiencia (>1000 piezas/hora), precisión ±0,1 mm.

Ejemplo : Hoja YG15, 200 MPa, densidad ~9 g/cm³, resistencia 2,0 GPa .

Prensado isostático en frío :

Aplicable a : tochos medianos y grandes, como barras YN10 (Ø 20 × 330 mm), herramientas de minería.

Razones de selección : densidad uniforme (desviación <1%), adecuado para tamaños largos (>500 mm), pocas microfisuras.

Ejemplo : varilla YN10, 300 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2} .

Prensado isostático en caliente :

Aplicable : piezas complejas de alto rendimiento, como herramientas y moldes de aviación YN8N.

Motivo de la selección : Densidad > 99,9%, dureza aumentada entre un 5 y un 10% (1800-2200 HV), no requiere sinterización secundaria.

Ejemplo : pieza bruta de herramienta YN8N, 1400 °C, 150 MPa, dureza 1800 HV.

extrusión :

Aplicable a : tiras largas, como varillas de perforación YG8 (Ø 120 mm).

Razones de selección : Producción continua (500 m/hora), costo moderado, adecuado para barras/tubos.

Ejemplo : varilla YG8, 30 MPa, densidad ~9 g/cm³ .

Moldeo por inyección :

Aplicable : piezas pequeñas complejas, como microherramientas YN8N (<10 mm).

Motivo de la selección : Alta precisión (±0,05 mm), superficie Ra <0,4 µm , adecuado para productos de alto valor añadido.

Ejemplo : microherramienta YN8N, 100 MPa, dureza 1800 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tabla 2: Idoneidad del proceso de prensado

Tecnología	Grados aplicables	Forma aplicable	Producir	Aplicaciones típicas
Moldura	YN6, YG15	Varillas de prueba, cuchillas, cilindros	Lotes grandes (>1000)	Cuchillos, varillas de prueba
Prensado isostático en frío	YN10, YG8	Barras y platos	Lote mediano (100500)	Herramientas de minería, palos largos
Prensado isostático en caliente	YN8	Herramientas y moldes complejos	Lotes pequeños (<50)	Herramientas de aviación, moldes de alta gama.
extrusión	YG8, YN10	Varillas y tubos	Lote medio a alto (500-2000 m)	Varilla de perforación, matriz de trefilado de alambre
Moldeo por inyección	YN8N, YG6X	Microherramientas, engranajes	Lote mediano (1001000)	Herramientas de precisión, micropiezas

5. Conclusión

Cada proceso de prensado de carburo cementado tiene sus propias características y debe seleccionarse en función de la forma, el rendimiento, el rendimiento y el costo:

Moldeo : alta eficiencia, bajo costo, adecuado para grandes cantidades de formas simples (barras de prueba YN6), pero el gradiente de densidad es del 35%.

Prensado isostático en frío : densidad uniforme, adecuado para tochos medianos y grandes (barras YN10), pero con una precisión ligeramente menor ($\pm 0,2$ mm).

Prensado isostático en caliente : densidad>99,9%, adecuado para piezas complejas de alto rendimiento (herramientas YN8N), pero alto costo y baja eficiencia.

Extrusión : Producción continua de tiras largas (barras YG8), pero se requiere desengrasado y la precisión es limitada ($\pm 0,2$ mm).

Moldeo por inyección : piezas pequeñas complejas de alta precisión (microherramienta YN8N), pero el desengrasado es complicado y costoso.

estándar :

GB/T 345052017 : Desviación de densidad en blanco $\leq \pm 5\%$, precisión $\pm 0,1$ mm.

GB/T 183762014 : Porosidad $< 0,01\%$, uniformidad $> 95\%$.

GB/T 14822010 : Fluidez < 25 s/50 g.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión (barra de prueba 1,8-2,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureza (1400-2200 HV).

GB/T 51692013 : Porosidad (A02B00C00).

Tendencias futuras : el moldeo automatizado (eficiencia aumentada en un 20%), la impresión 3D (precisión de forma compleja $\pm 0,01$ mm) y la tecnología de desengrasado ecológico (carbono residual $< 0,01\%$) mejorarán la eficiencia y el rendimiento del prensado.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


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:

Tipos, rendimiento y adaptabilidad de los equipos de prensado de carburo cementado

El prensado en matriz es el proceso de prensado más común en la preparación de piezas brutas de carburo cementado. El material mixto (WC+Ni /Co, tamaño de partícula 50-150 μm) se carga en una matriz de acero mediante un equipo hidráulico o mecánico, y se aplica una presión unidireccional o bidireccional (100-300 MPa) para formar una pieza bruta de alta densidad (densidad teórica del 50-60 %, aproximadamente 810 g/cm³), adecuada para formas geométricas simples (como barras de prueba de 5×5×35 mm, cuchillas y cilindros), y que cumple con la precisión dimensional ($\pm 0,1$ mm), la uniformidad de densidad (>90 %) y el rendimiento (resistencia a la flexión 1,8-2,5 GPa , dureza 1400-2200 HV) exigidos por las normas nacionales (como GB/T 345052017 y GB/T 38512015). Los equipos de troquelado se dividen en varios tipos según el modo de accionamiento, el grado de automatización y la finalidad, incluyendo prensas mecánicas, prensas hidráulicas, servoprensas y troqueladoras automáticas. A continuación, se detallan los tipos, características y aplicaciones de los equipos de moldeo de carburo cementado.

1. Descripción general

Los equipos de moldeo de carburo cementado deben cumplir los siguientes requisitos:

Presión : 100300 MPa, asegurando una densidad de palanquilla de 5060% (~810 g/cm³) .

Precisión : posicionamiento del molde $\pm 0,01$ mm, tamaño de la pieza en bruto $\pm 0,1$ mm (GB/T 345052017).

Moho : Acero de alta resistencia (HRC 6065), superficie Ra <0,4 μm , vida útil de 10,5 millones de veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eficiencia : producción a gran escala (>1000 piezas/hora), nivel de automatización >90%.

Aplicabilidad : Adecuado para grados de carburo cementado (como YN6, YG15, tamaño de grano 0,52 μm) y formas (varillas de prueba, hojas).

Los equipos de moldeo se dividen en cuatro categorías según su modo de accionamiento y función: prensa mecánica, prensa hidráulica, servoprensa y prensa de moldeo automática. A continuación, se analizan sus tipos, características, aplicaciones, ventajas y desventajas, uno por uno.

2. Tipos de equipos de moldeo de carburo cementado

2.1 Características de la prensa mecánica

Modo de conducción : biela o rueda excéntrica, la transmisión mecánica proporciona presión.

parámetro :

Presión: 50500 toneladas (100300 MPa).

Velocidad de carrera: 30120 veces/minuto.

Potencia: Media (1050 kW).

Molde : Molde simple o múltiple , acero (HRC 6065).

Equipamiento : Como la serie Aida NC de Japón o la serie Schuler MS de Alemania.

Principio de funcionamiento :

El material mezclado (WC + Ni /Co, PEG 12 % en peso) se carga automáticamente en el molde.

Corredera accionada por manivela, prensado unidireccional (100300 MPa, 510 s).

Desmoldeo (neumático/hidráulico, fuerza de adhesión <0,1 N).

Control : Control PLC, desviación de presión $\leq \pm 5$ MPa, precisión de posicionamiento $\pm 0,02$ mm.

solicitud :

Grado : YN6, YG15 (tamaño de grano convencional 0,52 μm) .

Forma : varilla de prueba (5×5×35 mm), disco ($\varnothing$ 1050 mm).

Producción : Alto volumen (1000-5000 piezas/hora).

Escenario: Producción de piezas estandarizadas para insertos y brocas en bruto.

ventaja :

Alta eficiencia: recorrido 60120 veces/minuto, producción aumentada en un 2030% (prensa hidráulica).

Bajo costo: bajos costos de equipamiento y mantenimiento.

Buena estabilidad: La estructura mecánica es duradera y tiene una larga vida útil.

deficiencia :

Regulación de presión limitada: carrera fija, 1020% menos flexibilidad.

Las formas complejas son limitadas: los costos del molde son altos.

Gradiente de densidad: la desviación de compresión unidireccional es del 35 % y se requiere una mejora bidireccional.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ejemplos :

Barra de prueba YN6: 200 MPa, 10 s, densidad $\sim 9 \text{ g/cm}^3$, resistencia 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

estándar :

GB/T 345052017: Desviación de densidad en blanco $< \pm 5\%$.

GB/T 1482-2010: Fluidez de la mezcla $< 25 \text{ s/50 g}$.

2.2 Prensa hidráulica

Características :

Modo de conducción : El cilindro hidráulico proporciona presión, prensado unidireccional o bidireccional.

parámetro :

Presión: 1001000 toneladas (100300 MPa).

Tiempo de retención: 530 segundos, control de presión $\pm 2 \text{ MPa}$.

Potencia: Media-alta (20-100 kW).

Molde : Acero de alta resistencia, superficie $R_a < 0,4 \mu\text{m}$.

Equipamiento : Como las series alemanas Laufer y Dorst TPH.

Principio de funcionamiento :

Mezcla y moldeo (llenado automático, homogeneidad $> 90\%$).

Accionado por cilindro hidráulico, prensado bidireccional (presión superior e inferior 150-250 MPa).

Desmoldeo (expulsión hidráulica, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}$).

Control : Sistema CNC, monitoreo en tiempo real de la curva de presión/desplazamiento, desviación $< \pm 1\%$.

solicitud :

Grado : YN10, YG8 (tamaño de grano $0,51,5 \mu\text{m}$).

Forma : barra de prueba, cubo, placa delgada (espesor 120 mm).

Producción : Volúmenes medios a altos (500-2000 piezas/hora).

Escenario : piezas en bruto de herramientas, piezas en bruto de moldes.

ventaja :

Presión ajustable: 100300 MPa, adecuado para diferentes marcas (YN6, YN10).

Densidad uniforme: prensado bidireccional, desviación $< 2\%$ (mecánica 35%).

Adecuado para formas de complejidad media: 20% más de flexibilidad del molde.

deficiencia :

Eficiencia ligeramente menor: carrera 1.030 veces/minuto (mecánica 60.120 veces).

Mayor costo: El costo de mantenimiento de los equipos y del sistema hidráulico es medio a alto.

Alto consumo energético: El consumo energético es entre un 50 y un 100 % superior al de las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

prensas mecánicas.

Ejemplos :

Herramienta en blanco YN10: 250 MPa, 15 segundos, densidad $\sim 9,5 \text{ g/cm}^3$, KIC $9 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2021).

estándar :

GB/T 183762014: Porosidad en blanco $< 0,01\%$.

GB/T 3851:2015: Verificación de la resistencia de las barras de prueba.

2.3 Prensa servo

Modo de conducción : Accionado por servomotor, control preciso de presión, velocidad y desplazamiento.

parámetro :

Presión: 50500 toneladas (100300 MPa).

Velocidad de carrera: ajustable, 1100 veces/minuto.

Potencia: Media (1580 kW).

Molde : Acero (HRC 6065), multiestación.

Equipos : como el Komatsu H1F de Japón y el Schuler ServoLine de Alemania .

Principio de funcionamiento :

Mezcla y moldeo (llenado servo, homogeneidad $> 95\%$).

Corredora servoaccionada, prensado simple/doble (curva de presión programable).

Desmoldeo (expulsión servo, precisión $\pm 0,005 \text{ mm}$).

Control : PLC inteligente + pantalla táctil, desviación de presión $< \pm 0,5 \text{ MPa}$, posicionamiento $\pm 0,005 \text{ mm}$.

solicitud :

Grado : YN8N, YG6X (grano ultrafino $< 0,5 \mu\text{m}$) .

Forma : hojas complejas, piezas de paredes delgadas (espesor $0,510 \text{ mm}$).

Producción : Volúmenes medios a altos (500-3000 piezas/hora).

Escenarios de aplicación : herramientas de aviación, piezas en bruto de moldes de precisión.

ventaja :

Alta precisión: control de presión/desplazamiento $\pm 0,5\%$, tamaño $\pm 0,05 \text{ mm}$.

Alta flexibilidad: carrera programable, adaptable a formas complejas (menor coste de molde).

Alta eficiencia energética: el consumo de energía es entre un 20 y un 30% menor que las prensas hidráulicas.

deficiencia :

Alto costo: Los equipos y servosistemas tienen altos costos de mantenimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Velocidad ligeramente más lenta: 1050 veces/minuto para piezas complejas.

Altos requisitos técnicos: se requiere programación y depuración profesional.

Ejemplos :

Inserto YN8N: 200 MPa, 10 s, densidad $\sim 9,2 \text{ g/cm}^3$, dureza 1800 HV (Sandvik, 2023).

estándar :

GB/T 345052017: Precisión en blanco $\pm 0,05 \text{ mm}$.

GB/T 7997-2017: Verificación de dureza (indirecta).

2.4 Prensa de troquel automática

Características :

Modo de accionamiento : hidráulico o servoaccionamiento, sistema de automatización integrado (llenado, prensado, desmoldeo, transporte).

parámetro :

Presión: 100600 toneladas (100300 MPa).

Ciclo de producción: 520 segundos/pieza.

Potencia: Media-Alta (30-150 kW).

Molde : Multiestación (416 cavidades), acero (HRC 6065).

Equipamiento : Como la serie alemana Dorst TPA, la serie suiza Osterwalder CA.

Principio de funcionamiento :

Llenado automático: llenado por vibración/servo, uniformidad $> 95\%$.

Prensado multiaxial: bidireccional o multidireccional, presión 150300 MPa.

Desmoldeo automático : El brazo robótico extrae las piezas, aumentando la eficiencia en un 30%.

Transportador: Salida del transportador, tamaño de detección ($\pm 0,1 \text{ mm}$).

Control : PC industrial + inspección visual, nivel de automatización $> 95\%$, desviación $< \pm 0,5\%$.

solicitud :

Marca : YN6, YN10, YG15.

Forma : hojas, varillas de prueba, piezas con formas especiales (herramientas en bruto complejas).

Producción : Lotes ultra altos (2000-10000 piezas/hora).

Escenario : Producción a gran escala de herramientas de corte y piezas estándar.

ventaja :

Eficiencia ultraalta: tiempo de ciclo 510 segundos/pieza, producción aumentada en un 50% (prensa hidráulica).

Fuerte automatización: la mano de obra se reduce en un 70-80% y la consistencia es $> 95\%$.

Alta precisión: tamaño $\pm 0,050,1 \text{ mm}$, desviación de densidad $< 1\%$.

deficiencia :

Costo extremadamente alto: El costo de los equipos y moldes es extremadamente alto.

Mantenimiento complejo: la tasa de fallas del sistema de automatización aumenta en un 10% y el

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

costo de mantenimiento es alto.
Aplicación única: se requiere una línea de producción personalizada, flexibilidad 20 % menor.

Ejemplos :
Hoja YG15: 250 MPa, 8 segundos, densidad ~9,5 g/cm³ , resistencia 2,0 GPa (Sandvik, 2023).
estándar :
GB/T 183762014: Uniformidad en blanco > 95%.
GB/T 3851:2015: Verificación de la resistencia de las barras de prueba.

3. Comparación de tipos de dispositivos

Tabla 1: Comparación de los tipos de equipos de moldeo de carburo cementado

Tipo de dispositivo	Modo de conducción	Toneladas de presión	Piezas/hora	Precisión mm	costo	ventaja	defecto
Prensa mecánica	manivela Rueda excéntrica	50500	10005000	±0,1	Bajo	Alta eficiencia, bajo costo y buena estabilidad.	Regulación de presión limitada, formas complejas limitadas, gradientes de densidad
Prensa hidráulica	Cilindro hidráulico	1001000	5002000	±0,1	medio	Presión ajustable, densidad uniforme, adecuada para formas medianas y complejas.	Eficiencia ligeramente menor, mayor costo y alto consumo de energía.
Prensa servo	Servomotor	50500	5003000	±0,05	alto	Alta precisión, flexibilidad y eficiencia energética.	Alto costo, baja velocidad, altos requisitos técnicos
Máquina de moldeo automática	Hidráulico/Servo	100600	200010000	±0,050,1	Muy alto	Eficiencia ultraalta, fuerte automatización y alta precisión.	Costo extremadamente alto, mantenimiento complejo y aplicación única

4. Guía de aplicabilidad y selección

Prensa mecánica :
Aplicable : gran volumen, formas simples, como barras de prueba YN6, discos YG15.
Razones de selección : bajo costo, alta eficiencia (1000-5000 piezas/hora), adecuado para piezas estándar.
Ejemplo : barra de prueba YN6, 200 MPa, densidad ~9 g/cm³ .

Prensa hidráulica :
Aplicable a : lotes medianos a altos, formas medianamente complejas, como piezas en bruto de herramientas YN10, placas delgadas YG8.
Motivo de la selección : Prensado bidireccional, desviación de densidad <2%, adecuado para una variedad de marcas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ejemplo : pieza bruta de herramienta YN10, 250 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Prensa servo :

Aplicable : alta precisión, formas complejas, como hojas YN8N, piezas de paredes delgadas YG6X.

Razones para la selección : Precisión ±0,05 mm, control programable, adecuado para moldes de aviación/precisión.

Ejemplo : inserto YN8N, 200 MPa, dureza 1800 HV.

Máquina de moldeo automática :

Aplicable a : lotes ultra altos, piezas con formas estándar o especiales, como hojas YG15, varillas de prueba YN6.

Motivo de selección : Automatización >95%, producción 2000-10000 piezas/hora, adecuado para producción a gran escala.

Ejemplo : Hoja YG15, 250 MPa, resistencia 2,0 GPa .

Tabla 2: Idoneidad del equipo de moldeo

Tipo de dispositivo	de Grados aplicables	Forma aplicable	Producción (piezas/hora)	Aplicaciones típicas
Prensa mecánica	YN6, YG15	Varillas de prueba, discos	10005000	Cuchillas estándar, varillas de prueba
Prensa hidráulica	YN10, YG8	Piezas en bruto de herramientas, placas delgadas	5002000	Herramientas de corte y piezas en bruto de moldes
Prensa servo	YN8N, YG6X	Cuchillas complejas, piezas de paredes delgadas	5003000	Herramientas de aviación, moldes de precisión.
Máquina de moldeo automática	YN6, YN10, YG15	Cuchillas, varillas de prueba, piezas de formas especiales	200010000	Herramientas de corte de gran tamaño y piezas estándar

5. Conclusión

Los tipos de equipos de moldeo de carburo cementado incluyen:

Prensa mecánica

Bajo costo, alta eficiencia, adecuado para formas simples de gran volumen (barras de prueba YN6), pero con un gradiente de densidad del 35%.

Prensa hidráulica

Presión ajustable, densidad uniforme, adecuada para lotes medianos a altos de formas medianamente complejas (herramientas en blanco YN10) , pero alto consumo de energía.

Prensa servo

Alta precisión, gran flexibilidad, adecuado para piezas complejas y de alta precisión (cuchillas YN8N), pero el costo es alto.

Máquina de moldeo automática

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eficiencia ultra alta, fuerte automatización, adecuado para producción a gran escala (cuchillas YG15), pero extremadamente costoso y complejo de mantener.

estándar :

GB/T 345052017 : Desviación de densidad en blanco $<\pm 5\%$, precisión $\pm 0,1$ mm.

GB/T 183762014 : Porosidad en blanco $<0,01\%$, uniformidad $>95\%$.

GB/T 14822010 : Fluidéz de mezcla <25 s/50 g.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión (barra de prueba 1,8-2,5 GPa) .

Tendencias futuras : Las prensas servo inteligentes (precisión $\pm 0,01$ mm), las máquinas de moldeo automáticas de múltiples estaciones (producción aumentada en un 30%) y la tecnología de eficiencia energética ecológica (consumo de energía reducido en un 20%) dominarán el desarrollo de equipos de moldeo.

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:

Tipos, equipos, características y adaptabilidad del prensado isostático de carburo cementado

El prensado isostático de carburo cementado es un proceso para preparar palanquillas de alta densidad (densidad teórica del 60-70 %, aproximadamente 9,511 g/cm³) mediante el prensado de una mezcla (WC + Ni /Co, tamaño de partícula de 50-150 μm) con presión uniforme en todas las direcciones. Se utiliza ampliamente en la producción de barras de prueba de carburo cementado, piezas brutas para herramientas y moldes. Su principal ventaja es la uniformidad de la densidad (>95 %, desviación <1 %). En comparación con el prensado en matriz (desviación de densidad del 35%), es más adecuado para tochos de tamaño mediano o formas complejas (como barras de Ø 1050 mm, placas) y cumple con la precisión dimensional (±0,20,5 mm), la porosidad (<0,01%) y el rendimiento (resistencia a la flexión 1,8-2,5 GPa , dureza 1400-2200 HV) exigidos por las normas nacionales (como GB/T 345052017 y GB/T 183762014). El prensado isostático se divide en prensado isostático en frío (CIP) y prensado isostático en caliente (HIP) según la temperatura y el proceso.

A continuación, se detallan los tipos, equipos, características, aplicabilidad y comparación con el moldeo por prensado isostático de carburo cementado, se mejora y refina la parte del proceso, se agregan modelos de equipos específicos, optimización de parámetros, casos de aplicación y tablas de comparación, y se combinan estándares nacionales y prácticas de la industria (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Descripción general

El prensado isostático de carburo cementado prensa la pieza en bruto con una presión uniforme (100-400 MPa), elimina el gradiente de densidad (35 %) del prensado en molde, mejora la uniformidad de la pieza en bruto (>95 %) y el rendimiento de sinterización posterior (densidad >99,5 %, porosidad <0,01 %). En comparación con el prensado en molde, el prensado isostático ofrece las ventajas de una densidad uniforme y es adecuado para formas complejas, pero presenta las desventajas de una baja eficiencia y un alto coste. El proceso de prensado isostático debe cumplir los siguientes requisitos:

Presión : 100400 MPa (CIP 200400 MPa, HIP 100200 MPa).

Moho : Molde flexible (CIP: caucho/PU; HIP: tanque de acero/titanio).

Piezas en bruto : de tamaño mediano a grande (Ø 10-100 mm, longitud 500 mm) o formas complejas (por ejemplo, herramientas, moldes).

Eficiencia : lotes bajos a medios (CIP: 100500 piezas/hora; HIP: <50 piezas/lote).

Aplicabilidad : Adecuado para grados de carburo cementado (como YN6, YN10, YN8N, tamaño de grano 0,12 μm).

El prensado isostático se divide en prensado isostático en frío (CIP) y prensado isostático en caliente (HIP), adecuados para diferentes formas, rendimientos y requisitos de producción. A continuación,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se analizan sus tipos, equipos, características, aplicabilidad y se comparan con el moldeo, especialmente el proceso detallado.

2. Tipos, equipos, características y aplicabilidad del prensado isostático de carburo cementado.

2.1 Prensado isostático en frío (CIP)

Tipo y principio :

CIP en bolsa : El material mezclado se carga en un molde flexible (como una bolsa de goma), se sumerge en un líquido a alta presión (agua/aceite) y se prensa con la misma presión en todas las direcciones. Es adecuado para diversas formas (como piezas con formas especiales y varillas).

CIP en bolsa : El material mezclado se carga en un molde flexible fijo y el líquido se presiona a través de la pared del molde. Es adecuado para alta eficiencia y formas estándar (como barras cilíndricas).

equipo :

Modelo específico :

Quintus Technologies QIC 2.4x4.8 : Cámara Ø 600 mm × 1800 mm, presión 200400 MPa, adecuada para barras de gran tamaño.

Avure Technologies V3 CIP : Cámara Ø 400 mm × 1200 mm, presión 250350 MPa, adecuada para piezas de tamaño mediano.

EPSI CIP 400200 : Cámara Ø 300 mm × 1000 mm, presión 200400 MPa, adecuada para lotes pequeños y medianos.

Especificación :

Presión: 200-400 MPa (normalmente 300 MPa).

Dimensiones de la cámara: Ø 100-1000 mm, altura 500-2000 mm.

Potencia: Media-Alta (50-150 kW).

Control: PLC + pantalla táctil, desviación de presión $\leq \pm 2$ MPa, posicionamiento $\pm 0,1$ mm.

Tiempo de ciclo: 15 minutos/lote (25 minutos para el método de bolsa húmeda, 12 minutos para el método de bolsa seca) .

Características :

Parámetros del proceso :

Presión: 200400 MPa (optimización: 300 MPa, densidad aumentada en un 5%).

Tiempo de retención: 30120 segundos (optimización: 60 segundos, uniformidad >95%).

Molde : Caucho/PU (resistencia a la presión >500 MPa, dureza Shore A 7090), vida útil de 1000 a 5000 veces.

Densidad en blanco: 6070% densidad teórica ($\sim 9,511$ g/cm³) .

Medio líquido: agua/aceite (que contiene inhibidor de óxido, pH 78, para reciclaje).

Proceso de prensado isostático en frío (CIP) de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Preparación de la mezcla

Materias primas: WC (D50 50150 μm) , Ni/Co (615 % en peso), aditivos (Cr3C2/VC 0,10,5 % en peso).

Proceso: molienda de bolas de alta energía (1624 h, relación bolas-material 10:1, velocidad de rotación 200300 rpm), añadiendo PEG (0,10,2 % en peso) como agente de moldeo.
de partícula D50 <150 μm , fluidez <25 s/50 g (GB/T 1482-2010), humedad <0,1%.

Relleno de moldes

Molde : Bolsa de caucho/PU (espesor de pared 25 mm, resistencia a la presión >500 MPa), con lubricante (aceite de silicona, 0,01 mm) aplicado en el interior.

Llenado: Llenadora automática (frecuencia de vibración 50100 Hz), densidad de llenado 23 g/cm³ , homogeneidad >90%.

Sellado: sellado al vacío (<10⁻² Pa , tasa de fuga de aire <0,01%), utilizando un sellador térmico (temperatura 150-200°C).

Inspección: Pesaje ($\pm 0,1$ g), inspección por rayos X de la integridad del molde (sin burbujas/grietas).

Prensado de alta presión :

Equipo: Quintus QIC 2.4x4.8 (método de bolsa húmeda) o Avure V3 CIP (método de bolsa seca) .

Parámetros: presión 300 MPa (tasa de presurización 510 MPa/s), mantenimiento de presión 60 segundos, medio líquido (agua + 0,5% inhibidor de óxido).

Proceso: El método de bolsa húmeda sumerge el molde en la cavidad y el método de bolsa seca fija el molde en la cavidad y aplica presión de manera uniforme.

Monitorización: Registro en tiempo real de la curva de presión (desviación $\leq \pm 2$ MPa), temperatura 2030°C.

Desmoldeo y limpieza :

Desmoldeo : manual (método de bolsa húmeda) o neumático (método de bolsa seca , presión 0,51 MPa), tasa de rotura del molde <0,5%.

Limpieza: Limpieza ultrasónica (40 kHz, 10 min) para eliminar residuos de aceite/polvo.

Secado: Secado al vacío (80°C, 2 horas, presión <10⁻¹ Pa), humedad <0,05%.

Pruebas: tamaño ($\pm 0,2-0,5$ mm), densidad (~ 10 g/cm³ , desviación <1%).

Control de calidad :

Aspecto: sin grietas, deformaciones, superficie Ra < 1,6 μm .

Propiedades: densidad (GB/T 38502015), porosidad <0,01% (GB/T 183762014).

Registros: Trazabilidad de lotes (código QR), guardado de parámetros de mezcla/prensado.

Ambiente : Temperatura ambiente (2030°C), sistema de circulación de líquido (precisión de filtración 10 μm , tasa de circulación >95%).

Sugerencias de optimización de parámetros :

Presión: 300 MPa, densidad de equilibrio (~ 10 g/cm³) y vida útil del molde (aumento del 20%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tiempo de retención: 60 segundos, reduce el tiempo en un 30%, mantiene la uniformidad >95%.
Molde : material PU (Shore A 80), resistencia a la presión aumentada en un 10%, costo reducido en un 15%.
Líquido: Añadir 0,5% de inhibidor de óxido para prolongar la vida útil del equipo en 12 años.
Embalaje: frecuencia de vibración 80 Hz, uniformidad aumentada en un 5%.

Aplicabilidad :

Grado : YN10, YG8 (tamaño de grano 0,51,5 μm) .

Forma : Mediana a grande, como varillas ($\varnothing$ 1050 mm, longitud 330500 mm), placas ($50 \times 50 \times 20$ mm), anillos ($\varnothing$ 100 mm).

Producción : Lote mediano (100500 piezas/hora, 100300 para el método de bolsa húmeda, 300500 para el método de bolsa seca) .

Aplicaciones : Herramientas de minería (como barras de perforación), matrices de trefilado de alambre, barras largas (para bases de herramientas).

ventaja :

Densidad uniforme: presión igual en todas las direcciones, desviación <1% (35% para moldeo).

Adecuado para grandes formatos: pieza en bruto $\varnothing$ 100 mm, longitud 500 mm (límite de moldeo $\varnothing$ 50 mm).

Menos microfisuras: tasa de defectos reducida en un 50%, porosidad <0,005% (0,01% para moldeo).

Forma flexible: el método de bolsa húmeda es adecuado para piezas de formas especiales y el costo del molde es un 20 % menor (moldeo).

deficiencia :

Baja eficiencia: 15 minutos para un solo lote y la producción es un 50% menor que la del moldeo (moldeo > 1000 piezas/hora).

Mayor costo: Los costos de equipo y mantenimiento son medios a altos (los costos de moldeo son bajos).

La precisión es ligeramente inferior: $\pm 0,20,5$ mm (moldeo $\pm 0,1$ mm) y se requiere un procesamiento secundario.

Ejemplos de aplicación :

Barra de broca para minería YN10 :

Equipamiento: Quintus QIC 2.4x4.8.

Parámetros: 350 MPa, presión de mantenimiento 90 segundos, cámara $\varnothing$ 600 mm.

Resultados: pieza en bruto $\varnothing$ 20 $\times$ 330 mm, densidad 10,2 g/cm³ , homogeneidad >95%, KIC 9 MPa·m^{1/2} , resistencia sinterizada 2,0 GPa (ScienceDirect, 2021).

Escenario: Perforación de roca dura, producción de 200 piezas/hora.

Matriz de trefilado YG8 en blanco :

Equipamiento: Avure V3 CIP.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Parámetros: 300 MPa, presión de mantenimiento durante 60 segundos, método de bolsa seca.

Resultado: pieza en bruto $\varnothing 50 \times 20$ mm, densidad 10 g/cm³, porosidad <0,005%, dureza después de la sinterización 1500 HV.

Escenario: Trefilado de metal, producción 400 piezas/hora.

Comparación entre el prensado isostático en frío (CIP) y el moldeo :

Uniformidad de densidad : desviación CIP <1%, moldeo 35% (prensado unidireccional).

Aplicabilidad de forma : el CIP es adecuado para piezas de tamaño mediano y grandes/de formas especiales, y el moldeo está limitado a formas simples (como barras de prueba) .

Eficiencia : CIP 100500 piezas/hora, moldeo 100010000 piezas/hora.

Costo : Medio en CIP, bajo en moldeo.

Precisión : CIP $\pm 0,20,5$ mm, moldeo $\pm 0,1$ mm.

estándar :

GB/T 183762014: Porosidad en blanco <0,01%.

GB/T 38502015: Verificación de densidad.

2.2 Prensado isostático en caliente (HIP)

principios del prensado isostático en caliente (HIP) :

HIP directo

El polvo se carga directamente en una lata de metal (acero/titanio), se prensa y se sinteriza a alta temperatura y presión, teniendo en cuenta tanto el moldeo como la densificación, adecuado para piezas de alto rendimiento.

Posprocesamiento HIP

Luego, el tocho presinterizado (sinterización al vacío, 1200-1300 °C, densidad 80-90 %) se somete a un proceso HIP para eliminar la porosidad y mejorar el rendimiento.

equipo :

Modelo específico :

Quintus HIP QIH 122 : Cámara $\varnothing 400$ mm $\times$ 1200 mm, presión 100-200 MPa, temperatura 1350-1450°C.

Bodycote HIP HT 200 : Cámara $\varnothing 300$ mm $\times$ 1000 mm, presión 120180 MPa, temperatura 13001400°C.

ALD HIP V 4 : cámara $\varnothing 500$ mm $\times$ 1500 mm, presión 100200 MPa, adecuada para moldes de grandes dimensiones.

Especificación :

Presión: 100-200 MPa (normalmente 150 MPa).

Temperatura: 1350-1450°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dimensiones de la cámara: Ø 50500 mm, altura 5001500 mm.

Potencia: Alta (100-300 kW).

Control: PC industrial, desviación de temperatura $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$, desviación de presión $\leq \pm 1\text{ MPa}$.

Tiempo de ciclo: 46 horas/lote.

Características :

Parámetros del proceso :

Temperatura: 1350-1450 °C (a base de Ni 1350-1400 °C, a base de Co 1400-1450 °C).

Presión: 100200 MPa (optimizado: 150 MPa, densidad >99,9%).

Atmósfera: Ar (>99,99%, O₂ <0,001%).

Tiempo de aislamiento: 24 horas (optimización: 3 horas, aumento de rendimiento 5%).

Densidad: >99,9% densidad teórica ($\sim 14,515\text{ g/cm}^3$).

Proceso de prensado isostático en caliente (HIP) (detallado)

Preparación de mezcla o en blanco :

HIP directo : mezcla (WC + Ni /Co, D50 30100 μm , grano ultrafino <0,5 μm) , molienda de bolas de alta energía (2436 horas, relación bola-material 15:1, velocidad 300400 rpm), adición de VC (0,2 % en peso) para controlar el tamaño del grano.

Post-tratamiento HIP : tocho pre-sinterizado (sinterización al vacío, 1200-1300°C, 12 horas, densidad 80-90%).

del material mixto D50 <100 μm , O₂ <0,03 % (GB/T 345052017), porosidad en blanco <0,05 %.

Paquete :

Contenedor: Tanque de acero inoxidable (316L, espesor de pared 23 mm) o de titanio (Gr5, resistencia a temperaturas >1500°C).

Relleno: Relleno por vibración (frecuencia 5080 Hz), densidad de relleno 34 g/cm³.

Sellado: soldadura al vacío ($<10^{-3}\text{ Pa}$, soldadura por haz de electrones, ancho de soldadura 12 mm), tasa de fuga <0,001%.

Inspección: Inspección por rayos X de la integridad del tanque (sin grietas/poros), prueba de vacío ($<10^{-3}\text{ Pa}$).

Alta temperatura y alta presión tratamiento :

Equipamiento: Quintus HIP QIH 122 o ALD HIP V4.

Parámetros: 1400 °C (velocidad de calentamiento 510 °C/min), 150 MPa (velocidad de aumento de presión 25 MPa/min), mantenimiento durante 3 horas, atmósfera de Ar (pureza > 99,995 %).

Proceso: El tanque se coloca en un calentador de grafito (C > 99,9 %) y se monitorea la curva de presión/temperatura en tiempo real (desviación $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\text{ MPa}$).

Enfriamiento: Enfriamiento en horno (510°C/min, caudal de Ar 12 L/min) hasta <100°C.

Descantado y post- procesamiento :

Decapado: decapado mecánico (máquina de corte, precisión $\pm 0,5\text{ mm}$) o decapado (HNO₃ 10%, 30

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

minutos), superficie $Ra < 0,8 \mu m$.

Limpieza: Limpieza ultrasónica (40 kHz, 15 min) para eliminar virutas residuales de Ar /metal.

Procesamiento: rectificado ($Ra < 0,4 \mu m$, tamaño $\pm 0,1 mm$), pulido ($Ra < 0,2 \mu m$, requisitos de herramientas de aviación).

Prueba: densidad ($>99,9\%$, $\sim 14,8 g/cm^3$), porosidad $<0,001\%$ (GB/T 51692013).

Control de calidad :

Propiedades: dureza (18002200 HV, GB/T 79972017), resistencia (2,22,5 GPa, GB/T 38512015).

Microestructura: tamaño de grano $<0,5 \mu m$ (GB/T 183762014), fase $\eta <0,5\%$.

Registros: Trazabilidad de lotes (código de barras), almacenamiento de curvas de temperatura/presión.

Ambiente : alta temperatura y alta presión, atmósfera de Ar, enfriamiento del horno ($510^\circ C/min$).

Sugerencias de optimización de parámetros :

Presión: 150 MPa, densidad equilibrada ($>99,9\%$) y consumo energético (reducido un 10%).

Temperatura: $1400^\circ C$ (a base de Co), reduce el crecimiento del grano ($<5\%$).

Tiempo de aislamiento: 3 horas, eficiencia aumentada en un 25%, porosidad $<0,001\%$.

Material del tanque: Acero inoxidable (316L), 20% menos costo, misma resistencia a la presión.

Atmósfera: Pureza de Ar $>99,995\%$, $O_2 <0,0005\%$, reduciendo la oxidación en un 50%.

Aplicabilidad :

Grado : YN8N, YG6X (grano ultrafino $< 0,5 \mu m$).

Forma : compleja, como herramientas de aviación (superficies multicurvas), moldes (cavidades con formas especiales), piezas en bruto de álabes de turbinas.

Producción : lotes pequeños (<50 piezas/lote), productos de alto valor añadido.

Aplicaciones : herramientas aeroespaciales, moldes de alta gama, implantes médicos.

ventaja :

Alta densidad: $>99,9\%$, porosidad $<0,001\%$ (módulo de sinterización 0,0050,01%).

Formas complejas: no requiere molde, precisión $\pm 0,1 mm$ (se requiere molde complejo para el moldeo).

Excelente rendimiento: control de grano $<0,5 \mu m$, dureza aumentada en un 510% (1800-2200 HV), resistencia aumentada en un 1015% (2,2-2,5 GPa).

Menos defectos: la tasa de microfisuras disminuyó en un 50%, el KIC aumentó en un 10% ($912 MPa \cdot m^{1/2}$).

deficiencia :

Alto costo: altos costos de equipos y energía (bajos costos de moldeo).

Baja eficiencia: 46 horas para un solo lote, producción <50 piezas/hora (moldeo >1000 piezas/hora).

Embalaje complejo: las latas de metal son caras y el tiempo de proceso aumenta en 12 horas.

Ejemplos de aplicación :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herramienta de aviación YN8N en blanco :

Equipamiento: Quintus HIP QIH 122.
Parámetros: 1400°C, 150 MPa, 3 horas, atmósfera de Ar .
Resultados: Pieza en bruto de 50×50× 20 mm, densidad 14,8 g/cm³ , porosidad <0,001%, dureza 1800 HV, resistencia 2,2 GPa (Sandvik, 2023).
Escenario: Procesamiento de aleaciones de alta temperatura, producción de 30 piezas/lote.

Molde de precisión YG6X :

Equipamiento: ALD HIP V4.
Parámetros: 1350°C, 120 MPa, 2,5 horas de conservación del calor, postratamiento HIP.
Resultados: Matriz Ø 100 × 50 mm, densidad 14,9 g/cm³ , tamaño de grano < 0,5 μ m , KIC 10 MPa·m^{1/2}.
Escenario: Matriz de estampación de automóviles, producción de 20 piezas/lote.

En comparación con el moldeo :

Uniformidad de densidad : HIP >99,9%, desviación <0,1%, moldeo 5060%, desviación 35%.
Aplicabilidad de forma : el HIP es adecuado para piezas complejas y con formas especiales, mientras que el moldeo está limitado a formas simples (barras de prueba, cuchillas).
Eficiencia : HIP <50 piezas/lote, moldeo 1000-10000 piezas/hora.
Costo : Alto para HIP, bajo para moldeo.
Rendimiento : Dureza HIP 1800-2200 HV, sinterizado después del moldeo 1400-1800 HV.

estándar :

GB/T 79972017: Verificación de dureza.
GB/T 51692013: Porosidad <0,001%.

3. Comparación entre el prensado isostático y el moldeo

Tabla 1: Comparación entre el prensado isostático y el moldeo por compresión

característica	Prensado isostático en frío (CIP)	Prensado isostático en caliente (HIP)	Prensado de troqueles
Presión (MPa)	200400	100200	100300
Temperatura (°C)	Temperatura ambiente	13501450	Temperatura ambiente
Densidad (% teórica)	6070	>99.9	5060
Uniformidad	Desviación <1%	Desviación <0,1%	Desviación 35% (unidireccional)
Forma aplicable	Medianos y grandes (varillas, placas)	Complejo (herramientas, moldes)	Simple (varilla de prueba, cuchilla)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

característica	Prensado isostático en frío (CIP)	Prensado isostático en caliente (HIP)	Prensado de troqueles
Precisión (mm)	±0,20,5	±0,1	±0,1
Producir	100500 piezas/hora	<50 piezas/lote	100010000 piezas/hora
costo	medio	alto	Bajo
ventaja	Densidad uniforme, gran tamaño, pocas microfisuras.	Alta densidad, forma compleja, excelente rendimiento.	Alta eficiencia, bajo costo, alta precisión.
defecto	Baja eficiencia, coste medio, precisión ligeramente menor	Alto costo, baja eficiencia, empaque complejo	Gradientes de densidad, limitaciones de forma compleja, desgaste de la matriz
Equipo típico	Quintus QIC 2.4x4.8, Avure V3 CIP	Quintus HIP QIH 122, ALD HIP V4	Dorst TPA, Aida, Carolina del Norte

4. Comparación de los tipos de prensado isostático

Tabla 2: Comparación de los tipos de prensado isostático de carburo cementado

tipo	presión MPa	temperatura °C	densidad %	Forma aplicable	Producir Pieza/Lote	costo	ventaja	defecto
Prensado isostático en frío (CIP)	200400	Temperatura ambiente	6070	Medianos y grandes (varillas, placas)	100500 (piezas/hora)	medio	Densidad uniforme, gran tamaño, pocas microfisuras.	Baja eficiencia, coste medio, precisión ligeramente menor
isostático en caliente (HIP)	100200	13501450	>99.9	Complejo (herramientas, moldes)	<50 (piezas/lote)	alto	Alta densidad, forma compleja, excelente rendimiento.	Alto costo, baja eficiencia, empaque complejo

5. Guía de aplicabilidad y selección

Prensado isostático en frío (CIP) :

Aplicable a : tochos medianos y grandes, como barras YN10 (Ø 20 × 330 mm), placas YG8.

Razones de selección : densidad uniforme (desviación <1%), adecuado para tamaños largos (>500 mm), pocas microfisuras.

Equipo recomendado : Quintus QIC 2.4x4.8 (tamaño grande), Avure V3 CIP (tamaño mediano).

Ejemplo : varilla YN10, 300 MPa, densidad ~10 g/cm³ , KIC 9 MPa· m^{1 / 2}.

Aplicaciones : Herramientas de minería, matrices de trefilado de alambre, barras largas.

Prensado isostático en caliente (HIP) :

Aplicable : piezas complejas de alto rendimiento, como herramientas y moldes de aviación YN8N.

Motivo de selección : densidad>99,9%, porosidad<0,001%, dureza1800-2200 HV.

Equipo recomendado : Quintus HIP QIH 122 (alto rendimiento), ALD HIP V4 (gran tamaño).

Ejemplo : pieza bruta de herramienta YN8N, 1400 °C, 150 MPa, dureza 1800 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación : Herramientas aeroespaciales, moldes de alta gama.

Tabla 3: Idoneidad para el prensado isostático

tipo	Grados aplicables	Forma aplicable	Producir	Aplicaciones típicas	Equipo recomendado
Prensado isostático en frío (CIP)	YN10, YG8	Varillas, placas, anillos	Lote mediano (100500 piezas/hora)	Herramientas de minería, matrices de trefilado, varillas largas	Quintus QIC 2.4x4.8, Avure V3 CIP
Prensado isostático en caliente (HIP)	YN8N, YG6X	Herramientas y moldes complejos	Lotes pequeños (<50 piezas/lote)	Herramientas de aviación, moldes de alta gama.	Quintus HIP QIH 122, ALD HIP V4

6. Conclusión

El prensado isostático de carburo cementado se divide en:

Prensado isostático en frío (CIP) : densidad uniforme (desviación <1%), adecuada para tochos medianos y grandes (barras YN10), pero baja eficiencia (100500 piezas/hora), precisión ±0,20,5 mm.

Prensado isostático en caliente (HIP) : densidad >99,9 %, adecuado para piezas complejas de alto rendimiento (herramienta YN8N), pero de alto coste y baja producción (<50 piezas/lote).

equipo :

CIP : Quintus QIC 2.4x4.8 (tamaño grande, 350 MPa), Avure V3 CIP (tamaño mediano, 300 MPa), costo medio.

HIP : Quintus HIP QIH 122 (alto rendimiento, 150 MPa), ALD HIP V4 (gran tamaño, 120 MPa), alto costo.

En comparación con el moldeo :

El prensado isostático (CIP/HIP) es superior al moldeo en términos de uniformidad de densidad (<1% vs 35%) y aplicabilidad a formas complejas, pero tiene baja eficiencia (100-500 piezas/hora vs 10-1000 piezas/hora) y alto costo.

El moldeo por compresión es adecuado para formas simples en grandes volúmenes (barras de prueba YN6), el prensado isostático es adecuado para piezas de tamaño mediano a grande o de alto rendimiento (barras YN10, herramientas YN8N).

estándar :

GB/T 345052017 : Desviación de densidad en blanco <±5%, precisión ±0,2 mm.

GB/T 183762014 : Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.

GB/T 38502015 : Verificación de densidad.

GB/T 5169-2013 : Porosidad (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión (1,8-2,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureza (1400-2200 HV).

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

Tendencias futuras

El CIP automatizado (eficiencia aumentada en un 20%), el HIP ecológico (consumo de energía reducido en un 15%) y el control de presión inteligente (desviación $<\pm 0,5$ MPa) mejorarán el proceso de prensado isostático.

apéndice:

Relación de contracción del prensado de carburo

Durante el proceso de prensado y sinterización del carburo cementado, debido a la reorganización de las partículas de polvo, la volatilización del aglutinante y el crecimiento del grano, se produce una contracción significativa del volumen, denominada **índice de contracción**. Este índice es un parámetro clave en la producción de carburo cementado, que afecta directamente al molde en blanco, la precisión dimensional ($\pm 0,20,5$ mm, según GB/T 345052017) y el rendimiento del producto final (como densidad $> 99,5$ %, porosidad $< 0,01$ %, resistencia a la flexión 1,825 GPa). El método de prensado del carburo cementado (como prensado isostático o moldeo) y el posterior proceso de sinterización afectarán el índice de contracción.

Basado en el prensado isostático de carburo cementado (prensado isostático en frío CIP, prensado isostático en caliente HIP) y moldeo, combinado con estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 38502015) y prácticas de la industria (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), este artículo analiza en detalle la definición, los factores influyentes, los valores típicos, los métodos de cálculo y los casos de aplicación práctica de la relación de contracción del prensado de carburo cementado, agrega una comparación con el moldeo y refina la influencia del proceso de prensado isostático en la relación de contracción.

1. Definición de la relación de contracción por prensado de carburo cementado

La relación de contracción se refiere a la relación de cambio dimensional del carburo cementado desde el tocho prensado (compacto verde) hasta el producto terminado sinterizado, generalmente expresado como relación de contracción lineal (relación de contracción lineal), la fórmula es:

$$S = \frac{L_g - L_s}{L_g} \times 100\%$$

SSS: relación de contracción lineal (%).

L_g : Tamaño del tocho verde (mm, después del prensado).

L_s : tamaño después de la sinterización (mm).

La relación de contracción es:

$$S_v = \frac{V_g - V_s}{V_g} \times 100\%$$

S_v : Relación de contracción de volumen (%).

V_g : volumen del blanco verde (mm^3).

V_s : volumen después de la sinterización (mm^3).

Relación aproximada entre la relación de contracción lineal y la relación de contracción volumétrica (contracción isotrópica):

$$S_v \approx 3S - 3S^2 + S^3$$

En la práctica, la tasa de contracción lineal del carburo cementado suele ser **del 15-22 %** y la tasa de contracción volumétrica del **35-50 %**. Los valores específicos se ven afectados por el proceso de prensado (CIP, HIP, moldeo), la composición de la mezcla ($\text{WC} + \text{Ni} / \text{Co}$, tamaño de grano 0,12

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

μm), el contenido de aglutinante (PEG 0,10-2 % en peso) y las condiciones de sinterización (1350-1450 °C, atmósfera de Ar).

2. Factores que afectan la relación de contracción del carburo cementado

La relación de contracción se ve afectada por los siguientes factores, que deben considerarse integralmente en el molde (precisión $\pm 0,1$ mm) y la optimización del proceso:

Composición de la mezcla :

Contenido de fase aglutinante (Ni/Co) : Un alto contenido de Co (1015 % en peso) aumenta la relación de contracción (1822 %) porque el Co tiene un punto de fusión bajo (1495 °C) y la sinterización en fase líquida promueve la densificación; un alto contenido de Ni (610 %) tiene una relación de contracción ligeramente menor (1518 %).

Tamaño de grano : Los granos ultrafinos ($< 0,5 \mu\text{m}$) tienen una alta relación de contracción (20-22%) debido a su alta energía superficial y fuerte fuerza impulsora para la densificación; los granos medio-grosos ($12 \mu\text{m}$) tienen una baja relación de contracción (15-18%).

Aditivos : Cr₃C₂/VC (0,10,5 % en peso) inhibe el crecimiento del grano y reduce ligeramente la relación de contracción (0,51 %).

Proceso de prensado :

Prensado isostático en frío (CIP) : la densidad de la palanquilla es del 6070% ($\sim 9,511 \text{ g/cm}^3$), la presión isotrópica (200400 MPa) hace que la contracción sea uniforme y la relación de contracción lineal es del 1620%.

Prensado isostático en caliente (HIP) : densidad de HIP directo $> 99,9 \%$ ($\sim 14,515 \text{ g/cm}^3$), alta relación de contracción (1822 %); el HIP posterior al procesamiento (palanquilla presinterizada, densidad del 80 al 90 %) tiene una baja relación de contracción (510 %).

Moldeo : La densidad de la pieza en bruto es del 50-60%, la presión uniaxial (100-300 MPa) conduce a un gradiente de densidad (35%), la relación de contracción es del 15-18% y la anisotropía es ligeramente mayor (0,51%).

Contenido del aglutinante :

La volatilización (300-500°C) de PEG (0,10,2 % en peso) o parafina (0,51 % en peso) aumentó la porosidad y la relación de contracción en un 12 %.

El adhesivo optimizado (PEG 0,15 % en peso) puede controlar la desviación de la relación de contracción a $\leq \pm 0,5 \%$.

Condiciones de sinterización :

Temperatura : 1350-1450 °C (a base de Co 1400-1450 °C, a base de Ni 1350-1400 °C), la temperatura alta aumenta la relación de fase líquida y la relación de contracción aumenta en un 12 %.

Tiempo de aislamiento : 24 horas. Extender el tiempo de aislamiento (3 horas) completa la densificación y aumenta la tasa de contracción en un 0,51 %.

Atmósfera : Ar ($> 99,99\%$, O₂ $< 0,001\%$) reduce la oxidación y estabiliza la relación de contracción;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la atmósfera de H₂ puede reducir la relación de contracción (0,5%).

Tamaño y forma del tocho :

En el caso de piezas de gran tamaño (Ø 50-100 mm) la conductividad térmica es ligeramente inferior (15-17 %) debido a una conducción térmica desigual.

Debido a la distribución de la tensión, la desviación de la relación de contracción de formas complejas (como herramientas y moldes) aumenta en ±0,51%.

3. Valor típico de la relación de contracción del prensado de carburo

Tabla 1: Valores típicos de las relaciones de contracción para diferentes procesos de prensado

Proceso de prensado	Marca	Tamaño de grano (μm)	Contenido de Co/Ni (% en peso)	Densidad del tocho (% teórico)	Relación de contracción lineal (%)	Relación de contracción de volumen (%)	Densidad después de la sinterización (g/cm ³)
Prensado isostático en frío (CIP)	YN10	0.51.5	10 (Ni)	6070	1620	4045	14.514.8
Prensado isostático en frío (CIP)	YG8	12	8 (Código)	6070	1518	3540	14.614.9
Prensado isostático en caliente (HIP directo)	YN8	<0,5	8 (Ni)	>99.9	1822	4550	14.815.0
Prensado isostático en caliente (postprocesamiento HIP)	YG6X	<0,5	6 (Código)	8090 (presinterizado)	510	1525	14.915.0
Moldura	YN6	12	6 (Ni)	5060	1518	3540	14.514.8

ilustrar :

CIP : La presión uniforme (300 MPa) estabiliza la relación de contracción, adecuada para tochos medianos y grandes (Ø 20 × 330 mm).

HIP : El HIP directo tiene una alta tasa de contracción debido al moldeo + sinterización en un solo paso; el HIP posterior tiene una baja tasa de contracción y solo elimina los poros.

Moldeo : La presión uniaxial da como resultado una relación de contracción anisotrópica (desviación radial/axial del 0,51 %).

4. Cálculo de la relación de contracción y molde.

Método de cálculo :

dimensiones de tochos verdes y sinterizados :

Tocho verde: Las barras de Ø 20 × 330 mm se miden con un calibre de alta precisión (± 0,01 mm).

Después de la sinterización: Medidas Ø 16,8 × 280 mm (después de la contracción).

Cálculo: $S = 20 - 16,820 \times 100\% = 16\%$ $S = \frac{20 - 16,8}{20} \times 100\% = 16\%$ $S = 20 - 16,8$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\times 100\% = 16\%$ (radial), $S = 330 - 280330 \times 100\% = 15,15\%$ $S = \frac{330 - 280}{330} \times 100\% = 15,15\%$ $S = 330330 - 280 \times 100\% = 15,15\%$ (axial).

Factor de aumento del molde :

Tamaño del molde = tamaño objetivo $\div$ (1 S).

示例: 目标 $\varnothing 16$ mm 零件, $S = 18\%$, 模具 $\varnothing = 16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm.

Control de desviación :

CIP: Desviación de la relación de contracción $\leq \pm 0,5\%$, precisión del molde $\pm 0,1$ mm.

CADERA: Desviación directa de HIP $\pm 0,51\%$ (forma compleja), desviación de HIP posterior al procesamiento $\leq \pm 0,3\%$.

Moldeo: Desviación $\pm 0,51\%$ (influencia de la presión unidireccional).

Requisitos de la norma nacional :

GB/T 345052017 : La precisión dimensional después de la sinterización es de $\pm 0,2$ mm y la desviación de la relación de contracción es $\leq \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Uniformidad de densidad $> 95\%$, porosidad $< 0,01\%$.

5. Efecto del prensado y moldeo isostático sobre la relación de contracción

Prensado isostático en frío (CIP) :

Impacto del proceso :

Mezcla : La molienda de bolas de alta energía (1624 horas, $D_{50} < 150 \mu\text{m}$) garantiza partículas uniformes y una desviación de la relación de contracción $\leq \pm 0,5\%$.

Relleno : El llenado vibratorio (80 Hz) aumenta la densidad de llenado (23 g/cm^3) y estabiliza la relación de contracción (1620%).

Prensado : 300 MPa, 60 segundos, presión uniforme (desviación $\leq \pm 2$ MPa) para garantizar una contracción uniforme en todas las direcciones.

Sinterización : 1400°C , 3 horas, atmósfera de Ar, relación de contracción 1620%.

Ventajas : Contracción isotropa, desviación $< 1\%$, adecuado para tamaños grandes ($\varnothing 100$ mm) / formas especiales.

Desventajas : La volatilización del aglutinante (PEG 0,10,2 % en peso) aumenta ligeramente la relación de contracción (12 %).

Prensado isostático en caliente (HIP) :

Impacto del proceso :

HIP directo :

Material mixto: grano ultrafino ($D_{50} < 100 \mu\text{m}$), alta relación de contracción (1822%).

Embalaje: Lata de acero inoxidable (316L, $< 10^{-3} \text{ Pa}$), densidad de embalaje 34 g/cm^3 .

Tratamiento: 1400°C , 150 MPa, 3 horas, densidad $> 99,9\%$, relación de contracción 1822%.

Postprocesamiento HIP :

Pre-sinterización: $1200-1300^\circ\text{C}$, densidad 80-90%, relación de contracción 10-15% (etapa de pre-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sinterización).

HIP: 1350°C, 120 MPa, 2,5 horas, relación de contracción 510% (sólo eliminación de porosidad).

Ventajas : alta densidad (>99,9%), relación de contracción controlable, adecuado para formas complejas (herramientas aeroespaciales).

Desventajas : embalaje complejo, desviación de la relación de contracción ±0,51% (forma compleja).

Moldeado :

Impacto del proceso :

Mezcla: Similar al CIP, D50 50150 μm .

Prensado: 100300 MPa, presión uniaxial, densidad de palanquilla 5060%, gradiente de densidad 35%.

Sinterización: 1350-1450°C, 23 horas, relación de contracción 1518%, desviación radial/axial 0,51%.

Ventajas : alta eficiencia (1000-10000 piezas/hora), la desviación de la relación de contracción se puede controlar mediante la optimización del molde (±0,5%).

Desventajas : Contracción anisotrópica (desviación 0,51%), no adecuado para formas complejas.

Tabla 2: Comparación de la relación de contracción entre el prensado isostático y el moldeo

Tecnología	Relación de contracción lineal (%)	Relación de contracción de volumen (%)	Uniformidad de contracción	Forma aplicable	Desviación de la relación de contracción (%)
Prensado isostático en frío (CIP)	1620	4045	Desviación <1%	Medianos y grandes (varillas, placas)	±0,5
Prensado isostático en caliente (HIP directo)	1822	4550	Desviación <0,1%	Complejo (herramientas, moldes)	±0,51
Prensado isostático en caliente (postprocesamiento HIP)	510	1525	Desviación <0,3%	Complejo (herramientas, moldes)	±0,3
Moldura	1518	3540	Desviación 35%	Simple (varilla de prueba, cuchilla)	±0,51

6. Casos de aplicación y control de la relación de contracción

Barra de broca para minería YN10 (CIP) :

Proceso : Quintus QIC 2.4x4.8, 350 MPa, 90 seg, pieza en bruto Ø 24 mm × 400 mm.

Sinterización : 1400°C, 3 h, atmósfera de Ar .

Resultados : Después de la sinterización, Ø 20 × 330 mm, relación de contracción lineal 16,67% (radial), 17,5% (axial), densidad 14,6 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Moho : Ø 24 mm (aumento 1,2 veces) , desviación $\pm 0,2$ mm.

Escenario : Perforación de roca dura, producción de 200 piezas/hora.

Herramienta de aviación YN8N en blanco (HIP directo) :

Proceso : Quintus HIP QIH 122, 1400°C, 150 MPa, 3 h, palanquilla 60×60× 25 mm.

Resultados : Después de la sinterización, el tamaño es de 50 × 50 × 20 mm, la relación de contracción lineal es del 20 %, la densidad es de 14,8 g/cm³ y la dureza es de 1800 HV (Sandvik, 2023).

Moho : cuerpo del tanque 60×60× 25 mm (ampliado 1,25 veces), desviación $\pm 0,3$ mm.

Escenario : Procesamiento de aleación de alta temperatura, producción de 30 piezas/lote.

Barra de prueba YG6 (moldeada) :

Proceso : Dorst TPA, 200 MPa, pieza en bruto 20×20× 6 mm.

Sinterización : 1350°C, 2 h, atmósfera de H₂.

Resultados : Después de la sinterización, el tamaño fue de 17 × 17 × 5 mm, la relación de contracción lineal fue del 15%, la densidad fue de 14,5 g/cm³ y la resistencia fue de 1,8 GPa .

Moho : 20×20× 6 mm (aumento 1,18 veces), desviación $\pm 0,1$ mm.

Escenario : Mecanizado de cuchillas, producción 5000 piezas/hora.

7. Sugerencias para optimizar la relación de contracción

CIP :

Mezcla: D50 <100 µm , PEG 0,15 % en peso , desviación de la relación de contracción $\leq \pm 0,5$ %.

Prensado: 300 MPa, 60 s, carga de vibración (80 Hz), relación de contracción 1618%.

Molde : Material PU (Shore A 80), factor de aumento 1.181.20, precisión $\pm 0,1$ mm.

CADERA :

HIP directo: grano ultrafino (<0,5 µm) , 1400°C, 150 MPa, relación de contracción 1820%, desviación $\leq \pm 0,5$ %.

Post-tratamiento HIP: densidad de pre-sinterización >85%, 1350°C, 120 MPa, relación de contracción 58%, desviación $\leq \pm 0,3$ %.

Material del tanque: acero inoxidable 316L, 20% menos de costo, hermeticidad <10⁻³ Pa.

Moldeado :

de grosor medio (12 µm) , PEG 0,1 % en peso , relación de contracción 1517 %.

Prensado: 250 MPa, prensado bidireccional, anisotropía reducida (desviación $\leq \pm 0,5$ %).

Molde : Molde de carburo (HRC >60), factor de aumento 1.151.18, precisión $\pm 0,05$ mm.

8. Conclusión

La tasa de contracción del carburo cementado durante el prensado se ve afectada por la composición de la mezcla, el proceso de prensado, el aglutinante, las condiciones de sinterización y la forma de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la palanquilla. Los valores típicos son los siguientes:

CIP : la relación de contracción lineal es del 1620%, la relación de contracción de volumen es del 4045%, adecuada para palanquillas medianas y grandes (barras YN10).

HIP : HIP directo 1822%, HIP posprocesamiento 510%, adecuado para piezas complejas de alto rendimiento (herramienta YN8N).

Moldeo : 1518%, adecuado para formas simples de gran volumen (barra de prueba YN6), pero ligeramente anisotrópico (desviación 0,51%).

En comparación con el moldeo :

El prensado isostático (CIP/HIP) tiene una contracción uniforme (desviación <1% vs 35%), lo que es adecuado para piezas complejas/de gran tamaño, pero tiene baja eficiencia (100-500 piezas/hora vs 10-1000 piezas/hora).

El moldeo tiene alta eficiencia y bajo costo, pero la relación de contracción es anisotrópica y se limita a formas simples.

estándar :

GB/T 345052017 : Precisión de dimensión $\pm 0,2$ mm, desviación de la relación de contracción $< \pm 5$ %.

GB/T 183762014 : Porosidad $< 0,01\%$, uniformidad $> 95\%$.

GB/T 38502015 : Verificación de densidad.

GB/T 5169-2013 : Porosidad (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión (1,8-2,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureza (1400-2200 HV).

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:

Tipos de matrices de prensado de carburo

de prensado de carburo cementado son herramientas clave para prensar polvo de carburo cementado (como WC+Ni /Co, tamaño de partícula 50150 μm) en piezas en bruto (densidad 5070% densidad teórica, aproximadamente 9,511 g/cm^3) y se utilizan ampliamente en la producción de barras de prueba, piezas en bruto de herramientas y matrices. Los tipos de matrices varían según el proceso de prensado (prensado isostático en frío CIP, prensado isostático en caliente HIP, prensado de matriz), forma de la pieza en bruto (barra $\varnothing$ 1050 mm, placa, herramienta compleja), precisión dimensional ($\pm 0,20,5$ mm, en línea con GB/T 345052017), requisitos de rendimiento (resistencia a la flexión 1,82,5 GPa, dureza 14002200 HV) y eficiencia de producción (CIP 100500 piezas/hora, prensado de matriz 100010000 piezas/hora).

A continuación, se combinan estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 38502015) y prácticas de la industria (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) para analizar en detalle los tipos, materiales, estructuras, aplicabilidad, ventajas y desventajas de las matrices de prensado de carburo cementado, refinar la relación con los procesos de prensado y moldeo isostático, agregar tablas de comparación y casos de aplicación, y mejorar la influencia de las matrices en la relación de contracción (1522%).

1. Descripción general de las matrices de prensado de carburo cementado

Las matrices de prensado de carburo cementado deben cumplir los siguientes requisitos:

a la presión : 100400 MPa (CIP 200400 MPa, HIP 100200 MPa, moldeo 100300 MPa).

Resistencia al desgaste : resistencia al desgaste del polvo de carburo (dureza WC> 2000 HV), vida útil del molde> 1000-5000 veces.

Precisión : Desviación del tamaño del tocho $\pm 0,20,5$ mm (CIP), $\pm 0,1$ mm (moldeo), teniendo en cuenta la relación de contracción (1522%).

Aplicabilidad : Adecuado para diferentes formas (varillas, placas, herramientas complejas) y grados (YN6, YN10, YN8N, tamaño de grano 0,12 μm).

Eficiencia : Admite lotes bajos a medianos (CIP/HIP) o lotes altos (moldeo).

Existen tres tipos principales de moldes, clasificados según el proceso de prensado:

Moldes de prensado isostático en frío (CIP) : Moldes flexibles (caucho/PU).

Moldes de prensado isostático en caliente (HIP) : latas de metal (acero/titanio).

Molde de compresión : Molde rígido (carburo/acero).

2. Tipos y características de las matrices de prensado de carburo cementado

2.1 Tipos de moldes de prensado isostático en frío (CIP) :

Molde de bolsa húmeda

Bolsas flexibles (como caucho, PU), después de llenarse con el material mezclado, se sumergen en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

líquido a alta presión (agua/aceite, 200-400 MPa), adecuadas para piezas de formas especiales, piezas en bruto medianas y grandes ($\varnothing$ 10-100 mm, longitud 500 mm).

Molde para bolsa seca

Molde flexible fijo (PU/silicona), el líquido se presiona a través de la pared del molde, adecuado para formas estándar (por ejemplo barras cilíndricas $\varnothing$ 1050 mm).

Materiales de molde de prensado isostático en frío (CIP)

goma

Caucho natural o caucho sintético (Shore A 7090), resistencia a la presión >500 MPa, bajo costo, vida útil 1000-2000 veces.

Poliuretano (PU)

PU de alta resistencia (Shore A 8095), excelente resistencia al desgaste, vida útil de 2000 a 5000 veces, costo medio.

Silicona

Se utiliza para el método de bolsa seca, alta flexibilidad (Shore A 6080), pero resistencia a la presión ligeramente menor (<300 MPa), vida útil de 1000 a 3000 veces.

Estructura del molde de prensado isostático en frío (CIP)

Método de la bolsa húmeda

Bolsas de una o varias capas (espesor de pared 25 mm), recubiertas internamente con lubricante (aceite de silicona, 0,01 mm), herméticas al vacío (<10⁻² Pa).

Método de bolsa seca

El molde se fija en la cavidad, está revestido con PU/silicona (espesor de pared 310 mm) y una carcasa exterior de acero (316L, resistencia a la presión >600 MPa).

Características del molde de prensado isostático en frío (CIP) :

Presión soportada : 200-400 MPa (normalmente 300 MPa).

Relación de contracción : 1620%, factor de aumento del molde 1.181.20 (considerando el tamaño después de la sinterización, precisión $\pm 0,20,5$ mm).

Relleno : Relleno por vibración (50100 Hz), densidad 23 g/cm³, homogeneidad >90%.

Vida útil : 1000 a 5000 veces, la vida útil del molde de PU aumenta en un 50% (en comparación con el caucho).

Costo : Medio (PU cuesta un 15% más pero tiene una vida útil más larga).

Impacto del proceso :

Llenado : Máquina llenadora automática (frecuencia de vibración 80 Hz) para garantizar una densidad de llenado uniforme y una desviación de la relación de contracción < $\pm 0,5\%$.

Prensado : 300 MPa, manteniendo la presión durante 60 segundos, desviación de presión < ± 2 MPa, contracción isotrópica (1620%).

Desmoldeo : manual (bolsa húmeda) o neumática (bolsa seca, 0,51 MPa), tasa de rotura <0,5%.

Aplicabilidad del molde de prensado isostático en frío (CIP) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grado : YN10, YG8 (tamaño de grano 0,51,5 μm) .

Formas : varillas ($\varnothing$ 1050 mm, longitud 330500 mm), placas ($50 \times 50 \times 20$ mm), anillos ($\varnothing$ 100 mm).

Producción : Lote mediano (100500 piezas/hora, 100300 para el método de bolsa húmeda, 300500 para el método de bolsa seca) .

Aplicaciones : Herramientas de minería (barras de perforación), matrices de trefilado, varillas largas.

Ventajas del molde de prensado isostático en frío (CIP) :

Los moldes flexibles pueden adaptarse a formas complejas y son un 20% más baratos (que el moldeo por compresión).

Presión isótropa (desviación $<1\%$), relación de contracción uniforme, densidad de la palanquilla 6070% ($\sim 9,511 \text{ g/cm}^3$) .

Pocas microfisuras, porosidad $<0,005\%$ (0,01% para moldeo).

molde de prensado isostático en frío (CIP) :

Vida útil más corta (1000-5000 veces vs. moldeo >10000 veces).

La precisión es ligeramente inferior ($\pm 0,20,5$ mm frente a $\pm 0,1$ mm para moldeo) y se requiere un procesamiento secundario.

Menor eficiencia (15 minutos/lote frente a <1 minuto para moldeo).

Ejemplos :

Varilla YN10 :

Molde : Bolsa húmeda de PU (espesor de pared 3 mm, Shore A 80).

Proceso: Quintus QIC 2.4x4.8, 350 MPa, 90 seg., pieza en bruto $\varnothing 24 \times 400$ mm.

Relación de contracción: 16,67% (radial, $\varnothing 20$ mm después de la sinterización), factor de ampliación del molde 1,20.

Resultados: Densidad $10,2 \text{ g/cm}^3$, KIC $9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, producción 200 piezas/hora (ScienceDirect, 2021).

Matriz de trefilado YG8 :

Molde : Bolsa seca de silicona (espesor de pared 5 mm, Shore A 70).

Proceso: Avure V3 CIP, 300 MPa, 60 s, pieza en bruto $\varnothing 50 \times 20$ mm.

Relación de contracción: 15%, factor de ampliación del molde 1,18.

Resultado: Densidad 10 g/cm^3 , dureza 1500 HV, producción 400 piezas/hora.

2.2 Tipos de matrices de prensado isostático en caliente (HIP)

prensado isostático en caliente (HIP) , molde HIP directo : lata de metal (acero/titanio), carga directa de polvo, prensado + sinterización a alta temperatura y alta presión ($1350-1450^\circ\text{C}$, 100-200 MPa), adecuado para piezas complejas de alto rendimiento.

Molde HIP de posprocesamiento : el metal puede encapsular piezas presinterizadas (densidad 80-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

90%), elimina la porosidad, adecuado para herramientas y moldes de aviación.

Material del molde de prensado isostático en caliente (HIP) :

Acero inoxidable (316L)

Espesor de pared 23 mm, resistencia a la temperatura 1500 °C, resistencia a la presión >200 MPa, bajo costo, vida útil 50100 veces (principalmente uso único).

Titanio (Gr5) : Espesor de pared 12 mm, resistencia a la temperatura >1600 °C, resistente a la corrosión, alto costo, vida útil 100-200 veces.

Acero dulce

El espesor de la pared es de 35 mm, con el costo más bajo, resistencia a la temperatura <1400 °C y vida útil de 2050 veces.

Estructura del molde de prensado isostático en caliente (HIP) :

Tanques cilíndricos o de forma compleja (Ø 50-500 mm, altura 500-1500 mm) con pared interior lisa ($R_a < 0,8 \mu m$).

Sellado mediante soldadura al vacío ($<10^{-3}$ Pa, soldadura por haz de electrones, soldadura 12 mm), tasa de fuga <0,001 %.

Relleno interior con polvo ($34 g/cm^3$) o piezas presinterizadas, recubrimiento exterior resistente a altas temperaturas (opcional).

Características del molde de prensado isostático en caliente (HIP) :

Resistencia a la temperatura : 1350-1450 °C (316L 1400 °C, Gr5 1500 °C).

Presión soportada : 100-200 MPa (normalmente 150 MPa).

Relación de contracción : HIP directo 1822% (factor de aumento 1.201.25), HIP posprocesamiento 510% (factor de aumento 1.051.10).

Vida útil : 20.200 veces (principalmente un solo uso).

Costo : Alto (Gr5 cuesta 50% más, 316L es medio).

Impacto del proceso de moldeo por prensado isostático en caliente (HIP) :

Embalaje : Llenado por vibración (5080 Hz), densidad $34 g/cm^3$, inspección por rayos X de la integridad de la lata.

Tratamiento : 1400°C, 150 MPa, 3 horas, atmósfera de Ar (>99,995%), relación de contracción 1822% (HIP directo).

Decantación : decapado mecánico (corte, $\pm 0,5$ mm) o decapado (HNO₃ 10%, 30 min).

Aplicabilidad del molde de prensado isostático en caliente (HIP) :

Grado : YN8N, YG6X (grano ultrafino $< 0,5 \mu m$).

Forma : compleja, como herramientas de aviación (superficies multicurvas) y moldes (cavidades con formas especiales).

Volumen de producción : lotes pequeños (<50 piezas/lote), alto valor añadido.

Escenarios de aplicación : herramientas aeroespaciales, moldes de alta gama, implantes médicos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ventajas de los moldes de prensado isostático en caliente (HIP) :

Admite formas complejas sin moldes tradicionales, con una precisión de $\pm 0,1$ mm.

Alta densidad ($>99,9\%$), porosidad $<0,001\%$ (moldeo $0,01\%$).

Excelente rendimiento: dureza 1800-2200 HV, resistencia 2,2-2,5 GPa .

Desventajas del molde de prensado isostático en caliente (HIP) :

Alto costo (material del tanque + soldadura, el costo es entre un 50 y un 100 % mayor).

Baja eficiencia (46 horas/lote vs. <1 minuto de moldeo).

El paquete es complejo y la desviación de la relación de contracción es de $\pm 0,51\%$ (forma compleja).

Caso de molde de prensado isostático en caliente (HIP) :

Herramienta de aviación YN8N :

Molde : lata 316L (espesor de pared 2 mm, $50 \times 50 \times 25$ mm).

Proceso: Quintus HIP QIH 122, 1400°C , 150 MPa, 3 horas.

Relación de contracción: 20%, factor de ampliación del molde 1,25.

Resultados: Después de la sinterización, $50 \times 50 \times 20$ mm, densidad $14,8 \text{ g/cm}^3$, dureza 1800 HV (Sandvik, 2023).

Molde YG6X :

Molde : Lata Gr5 (espesor de pared 1,5 mm, $\varnothing 100 \times 50$ mm).

Proceso: ALD HIP V4, 1350°C , 120 MPa, 2,5 horas.

Relación de contracción: 8% (posprocesamiento HIP), factor de ampliación del molde 1,09.

Resultados: Densidad $14,9 \text{ g/cm}^3$, KIC $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

2.3 Molde de moldeo

Tipo de molde de compresión :

Molde de compresión unidireccional : Presión unidireccional (100-300 MPa), adecuada para formas simples (barras de prueba, cuchillas).

Matriz de doble actuación : doble presión arriba y abajo, gradiente de densidad reducido (35%), adecuado para piezas de tamaño medio ($\varnothing 1050$ mm).

Molde de compresión de múltiples cavidades : se pueden prensar múltiples piezas en blanco simultáneamente, con alta eficiencia, adecuado para hojas de tamaño pequeño ($10 \times 10 \times 5$ mm).

Material del molde de moldeo :

Carburo cementado (WCCo) : dureza HRC >60 , resistente al desgaste, vida útil $>10,000$ veces, alto costo.

Acero de alta velocidad (HSS) : dureza HRC 5560, resistencia a la presión >500 MPa, vida útil 5000-10000 veces, costo medio.

Acero para moldes (Cr12MoV) : dureza HRC 5055, bajo costo, vida útil de 2000 a 5000 veces.

Estructura del molde de moldeo :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cavidad del molde (precisión $\pm 0,05$ mm), pared interior pulida ($R_a < 0,4$ μm) .
Punzón (carburo/HSS, resistencia a la presión > 600 MPa), columna guía (desviación $< 0,01$ mm).
Mecanismo de desmoldeo (resorte/neumático, fuerza de desmoldeo 0,52 MPa).

Características del molde de compresión :

Presión soportada : 100300 MPa (normalmente 250 MPa).
Relación de contracción : 1518%, factor de aumento del molde 1.151.18 (precisión $\pm 0,1$ mm).
Vida útil : 2000-10000 veces (aleación dura > 10000 veces).
Costo : Bajo (Cr12MoV) a Alto (Carburo).

Impacto del proceso de moldeo por matriz :

Prensado : 250 MPa, ciclo < 1 min, densidad de la pieza 50-60%.
Desmoldeo : Desmoldeo neumático (0,51 MPa), tasa de rotura $< 0,2\%$.
Sinterización : 1350-1450°C, 23 horas, relación de contracción 1518%, anisotropía 0,51%.

Aplicabilidad del molde de moldeo :

Grado : YN6, YG8 (tamaño de grano 12 μm) .
Forma : simple, como varilla de prueba ($20 \times 20 \times 6$ mm), hoja ($10 \times 10 \times 5$ mm).
Producción : Alto volumen (1000-10000 piezas/hora).
Escenario : insertos de mecanizado, varillas de prueba estándar.

Ventajas del moldeo por compresión :

Alta eficiencia (ciclo < 1 minuto) y rendimiento 10 veces mayor (CIP).
Alta precisión ($\pm 0,1$ mm) y larga vida útil del molde (> 10000 veces).
Bajo costo (el costo del molde Cr12MoV es 50% menor).

Desventajas del moldeo por compresión :

Gradiente de densidad (35%), anisotropía de la relación de contracción (0,51%).
No apto para formas complejas (sólo $\varnothing 50$ mm).
La matriz se desgasta rápidamente (abrasión de polvo WC).

Caso del molde de compresión :

Varilla de prueba YN6 :

Matriz: Carburo (HRC > 60 , $20 \times 20 \times 6$ mm).
Proceso: Dorst TPA, 200 MPa, pieza en bruto $20 \times 20 \times 6$ mm.
Relación de contracción: 15%, factor de ampliación del molde 1,18.
Resultados: Después de la sinterización, el tamaño es de $17 \times 17 \times 5$ mm, la densidad es de 14,5 g/cm³ y la producción es de 5000 piezas/hora.

Hoja YG8 :

Molde : HSS (HRC 58, $10 \times 10 \times 5$ mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Proceso: Aida NC, 250 MPa, pieza en bruto 10×10× 5 mm.

Relación de contracción: 16%, factor de ampliación del molde 1,19.

Resultado: Densidad 14,6 g/cm³ , dureza 1400 HV, producción 8000 piezas/hora.

3. Comparación de tipos de moldes

Tabla 1: Comparación de matrices de prensado de carburo cementado

Tipo de molde	Material	Resistencia a la presión (MPa)	La encoger Comparar%	Exactitud mm	vida (De segunda categoría)	costo	Forma aplicable	Producir	ventaja	defecto
CIP Molde de bolsa húmeda	Caucho/PU	200400	1620	±0,20,5	10005000	medio	medianas y grandes/especiales (varillas, placas)	100300 piezas/hora	Forma compleja, contracción uniforme, pocas microfisuras.	Vida corta, precisión ligeramente menor, baja eficiencia.
CIP Molde para bolsa seca	PU/Silicona +Carcasa de acero	200400	1620	±0,20,5	10005000	medio	Formas estándar (varillas)	300500 piezas/hora	Alta eficiencia, contracción uniforme, adaptable a formas estándar.	Limitado a formas estándar, precisión ligeramente menor
CADERA Moho	Acero inoxidable/titanio	100200	522	±0,1	20200	alto	Complejo (herramientas, moldes)	<50 piezas/lote	Alta densidad, forma compleja, excelente rendimiento.	Alto costo, baja eficiencia, empaque complejo
Molde de moldeo	carburo cementado HSSCr12MoV	100300	1518	±0,1	200010000	Bajo Alto	Simple (varilla de prueba, cuchilla)	100010000 piezas/hora	Alta eficiencia, alta precisión y larga vida útil.	Gradiente de densidad, formas simples, anisotropía

4. Relación de moldeo y contracción

Puntos clave :

Factor de aumento : tamaño del molde = tamaño del objetivo ÷ (1 S).

CIP: S = 1620%, aumento 1.181.20.

HIP directo: S = 1822%, ampliificación 1.201.25.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Postprocesamiento HIP: S = 510%, aumento 1.051.10.

Moldeo: S=1518%, ampliación 1.151.18.

Precisión : CIP $\pm 0,20,5$ mm, HIP $\pm 0,1$ mm, moldeo $\pm 0,1$ mm.

Uniformidad de contracción :

CIP/HIP: Isotrópico, desviación $< 1\%$ (CIP), $< 0,1\%$ (HIP).

Moldeo: Anisotrópico, desviación radial/axial 0,51%.

Ejemplo :

Barra de diámetro objetivo 16 mm (CIP, S = 18%):

Diámetro de la matriz = $16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm $16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm.

Precisión: $\pm 0,2$ mm, desviación $< \pm 0,5\%$.

Norma nacional :

GB/T 345052017 : Precisión de dimensión $\pm 0,2$ mm, desviación de la relación de contracción $< \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Uniformidad de densidad $> 95\%$, porosidad $< 0,01\%$.

5. Guía de aplicabilidad y selección

Molde CIP :

Aplicable a : tochos medianos y grandes (barras YN10 $\varnothing 20 \times 330$ mm), piezas de formas especiales.

Razones de selección : Contracción uniforme (desviación $< 1\%$), adaptabilidad a formas complejas y costo medio.

Recomendado : bolsa húmeda de PU (formas complejas), bolsa seca de silicona (varillas estándar).

Escena : herramientas de minería, matrices de trefilado de alambre.

Molde HIP :

Aplicable a : piezas complejas de alto rendimiento (herramienta de aviación YN8N, $50 \times 50 \times 20$ mm).

Razones de selección : densidad $> 99,9\%$, porosidad $< 0,001\%$, precisión $\pm 0,1$ mm.

Recomendado : tanque 316L (costo medio), tanque Gr5 (alto rendimiento).

Escenarios de aplicación : herramientas de aviación, moldes de alta gama.

Molde de moldeo :

Aplicable a : formas simples de gran volumen (barra de prueba YN6, $20 \times 20 \times 6$ mm).

Razones de selección : alta eficiencia (100010000 piezas/hora), precisión $\pm 0,1$ mm, bajo costo.

Recomendado : Carburo (larga vida útil), HSS (equilibrio costo-vida).

Escena : Hoja, varilla de prueba.

Tabla 2: Idoneidad del molde

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tipo de molde	Grados aplicables	Forma aplicable	Producir	Aplicaciones típicas	Materiales recomendados
Molde para bolsas húmedas CIP	YN10, YG8	Barras, placas, piezas de formas especiales	100300 piezas/hora	Herramientas de minería, matrices de trefilado de alambre	PU (Shore A 80)
Molde para bolsa seca CIP	YN10, YG8	Varillas	300500 piezas/hora	Varillas largas	Carcasa de silicona + acero
Molde HIP	YN8N, YG6X	Herramientas y moldes complejos	<50 piezas/lote	Herramientas de aviación, moldes de alta gama.	Tanque de 316L/Gr5
Molde de moldeo	YN6, YG8	Varilla de prueba, cuchilla	100010000 piezas/hora	Mecanizado de cuchillas y varillas de prueba	Carburo/HSS

6. Conclusión

Los tipos de matrices de prensado de carburo cementado incluyen:

Molde CIP

Flexible (caucho/PU), relación de contracción 1620%, adecuado para piezas medianas y grandes/de formas especiales (varillas YN10), pero vida útil corta (1000-5000 veces), precisión $\pm 0,20,5$ mm.

Molde HIP

Las latas de metal (316L/Gr5), con una relación de contracción del 522%, son adecuadas para piezas complejas de alto rendimiento (herramienta YN8N), pero con alto coste y baja eficiencia (<50 piezas/lote).

Molde de moldeo

Rígido (carburo/HSS), relación de contracción 1518%, adecuado para formas simples de gran volumen (barra de prueba YN6), alta eficiencia (1000-10000 piezas/hora), pero anisotrópico (desviación 0,51%).

En comparación con el moldeo :

Los moldes CIP/HIP pueden adaptarse a formas complejas y contraerse uniformemente (desviación <1% vs 35%), pero son ineficientes y costosos.

Los moldes de compresión son eficientes y precisos ($\pm 0,1$ mm), pero están limitados a formas simples y tienen grandes gradientes de densidad.

estándar :

GB/T 345052017 : Precisión de dimensión $\pm 0,2$ mm, desviación de la relación de contracción $< \pm 5$ %.

GB/T 183762014 : Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.

GB/T 38502015 : Verificación de densidad.

GB/T 5169-2013 : Porosidad (A02B00C00).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión (1,8-2,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureza (1400-2200 HV).

apéndice:

Características, aplicabilidad y ventajas y desventajas de varios procesos de sinterización de carburo cementado

El proceso de sinterización de carburo cementado (como el carburo cementado a base de níquel o cobalto) es para convertir el tocho prensado (WC + Ni / Co, densidad 50-70 % densidad teórica) en una barra de prueba o pieza (como una herramienta, molde) con alta densidad (> 99,5 %), alta resistencia (resistencia a la flexión 1,8-2,5 GPa) y alta dureza (1400-2200 HV). El proceso de sinterización utiliza sinterización en fase líquida o sinterización en fase sólida para formar una microestructura uniforme (grano 0,12 μm , porosidad <0,01%) entre partículas de WC y la fase aglutinante (Ni, Co, 615 % en peso), cumpliendo con los estándares nacionales (como GB/T 38512015, GB/T 79972017) y requisitos de rendimiento (como resistencia a la corrosión <0,005 mm/año, GB/T 43342020). Los principales procesos de sinterización incluyen sinterización al vacío, sinterización por prensado isostático en caliente (HIP), sinterización por microondas, sinterización por plasma de chispa (SPS) y sinterización por presión de gas (GPS). A continuación, se detallan las características, aplicabilidad y ventajas y desventajas de cada proceso de sinterización, con una nueva tabla para una comparación clara, combinada con estándares nacionales (como GB/T 345052017, GB/T 183762014) y las últimas investigaciones (como Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), todo en chino para garantizar que el contenido sea preciso, completo y fascinante.

1. Descripción general

El objetivo del proceso de sinterización de carburo cementado es lograr la densificación de la palanquilla (densidad > 99,5%), control de grano (0,12 μm), homogeneidad microestructural (> 95%) y un rendimiento excelente (dureza 1400-2200 HV, resistencia 1,8-2,5 GPa). La sinterización debe tener en cuenta:

Propiedades del material : tamaño de partícula WC (0,12 μm), relación de fase aglutinante (615 % en peso), aditivos (como Cr₃C₂, VC).

Forma del trozo : simple (barra de prueba 5×5×35 mm) o compleja (cuchilla, matriz).

Ambiente de sinterización : vacío, H₂, Ar, N₂ o atmósfera de alta presión (1150 MPa).

Eficiencia y costo : tiempo de sinterización (124 horas), equipo (501 millones de yuanes), consumo de energía (0,55 kWh/kg).

En este artículo se analizan las características, aplicabilidad, ventajas y desventajas de cinco procesos principales de sinterización, siguiendo normas como GB/T 345052017 (preparación de polvo) y GB/T 183762014 (microestructura).

2. Características, aplicabilidad y ventajas y desventajas del proceso de sinterización de carburo cementado.

A continuación se presenta una descripción detallada de los cinco procesos de sinterización, combinada con parámetros del proceso, equipos, escenarios aplicables y ventajas y desventajas.

2.1 Sinterización al vacío

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características del proceso :

Principio : Cuando la pieza en bruto se calienta en un entorno de vacío ($<10^{-2}$ Pa) , la fase aglutinante (Ni, Co) se funde para formar una fase líquida, que promueve la reorganización y densificación de las partículas de WC.

parámetro :

Temperatura: 1350-1450 °C (a base de Ni 1350-1400 °C, a base de Co 1400-1450 °C).

Grado de vacío: $<10^{-2}$ Pa (O₂ $<0,001\%$).

Tiempo de conservación del calor: 14 horas.

Velocidad de calentamiento: 510°C/min.

Densidad: $>99,5\%$ densidad teórica ($\sim 14,515$ g/cm³) .

Equipo : Horno de sinterización al vacío, como ALD Vacuum Technologies.

proceso :

Carga: Los blancos se colocan en bandejas de grafito (C $>99,9\%$).

Vacío: $<10^{-2}$ Pa , excluye O₂ y N₂.

Calefacción: 1350-1450°C, mantener caliente durante 14 horas.

Refrigeración: 510°C/min, protección Ar .

Post- procesamiento : limpieza de superficie (Ra $<0,8$ μm) , inspección de tamaño ($\pm 0,1$ mm).

Aplicabilidad :

Grado : YN6, YG15 (tamaño de grano convencional 0,52 μm) .

Forma : simple a moderadamente compleja, como varillas de prueba (5×5×35 mm), hojas.

Volumen de producción : volumen medio a alto (100-1000 piezas/lote).

ventaja :

Costo moderado: equipo (1.003 millones de yuanes), consumo de energía (12 kWh/kg).

Bajo contenido de oxígeno: O $< 0,03\%$, reduciendo la fase η ($< 0,5\%$) y aumentando la resistencia en un 5%.

Ampliamente aplicable: adecuado para varias marcas (YN6, YG8, YN10).

deficiencia :

La porosidad es ligeramente superior: 0,0050,01% (HIP 0,001%) y se requiere posprocesamiento.

Control de grano limitado: Los granos ultrafinos ($<0,5$ μm) crecen entre un 10 y un 20 % .

Contracción desigual de formas complejas: Desviación $\pm 0,2$ mm.

Ejemplos :

Barra de prueba YN6: 1400 °C, 2 horas, densidad 14,6 g/cm³ , resistencia 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

estándar :

GB/T 183762014: Porosidad $<0,01\%$, fase η $<0,5\%$.

GB/T 3851:2015: Verificación de resistencia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2 Sinterización por prensado isostático en caliente (HIP)

Características del proceso :

Principio : Sinterización a alta temperatura y alta presión. Atmósfera de Ar , aplicando presión igual en todas las direcciones después de la sinterización en fase líquida para eliminar los poros y aumentar la densidad.

parámetro :

Temperatura: 1300-1400 °C (a base de Ni 1300-1350 °C, a base de Co 1350-1400 °C).

Presión: 100150 MPa.

Atmósfera: Ar (>99,99%).

Tiempo de conservación del calor: 13 horas.

Densidad: >99,9% densidad teórica ($\sim 14,815 \text{ g/cm}^3$) .

Equipo : Horno HIP, como la serie Quintus HIP.

proceso :

Pre-sinterización (vacío, 1200-1300°C, 0,51 h).

Carga del horno: bandeja de grafito/cerámica.

CADERA: 1300-1400°C, 100-150 MPa, 13 horas.

Refrigeración: 510°C/min, protección Ar .

Post- procesamiento : rectificado ($R_a < 0,4 \mu\text{m}$) , pruebas de rendimiento.

Aplicabilidad :

Grado : YN8N, YG6X (grano ultrafino $< 0,5 \mu\text{m}$) .

Forma : compleja, como herramientas y moldes de aviación.

Volumen de producción : lotes pequeños (< 100 piezas/lote), productos de alto valor añadido.

ventaja :

Alta densidad: >99,9%, porosidad $< 0,001\%$, resistencia aumentada en un 1015%.

Buen control de grano: Crecimiento de grano ultrafino $< 5\%$, aumento de dureza 510% (1800-2200 HV).

Menos defectos: la tasa de microfisuras disminuyó en un 50%, el KIC aumentó en un 10% ($912 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) .

deficiencia :

Alto costo: equipos (5001000 millones de yuanes), consumo de energía (35 kWh/kg).

Baja eficiencia: 46 horas para un solo lote, producción < 50 piezas/hora.

El mantenimiento de los equipos es complejo: el coste de sustituir los sellos de alta presión es de 10,2 millones de RMB al año.

Ejemplos :

Herramienta YN8N: 1350°C, 120 MPa, 2 horas, densidad $14,8 \text{ g/cm}^3$, dureza 1800 HV (Sandvik, 2023).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

estándar :

GB/T 79972017: Verificación de dureza.

GB/T 51692013: Porosidad <0,001%.

2.3 Sinterización por microondas

Características del proceso :

Principio : Se utilizan microondas (2,45 GHz) para calentar directamente la pieza en bruto. La fase aglutinante absorbe las microondas para generar calor y promover la sinterización en fase líquida.

parámetro :

Temperatura: 1300-1400°C.

Potencia: 110 kW.

Atmósfera: vacío ($<10^{-1}$ Pa) o Ar /H₂.

Tiempo de espera: 1060 minutos.

Densidad: >99,5% densidad teórica (~14,514,8 g/cm³).

Equipo : Horno de sinterización de microondas, como Linn High Therm .

proceso :

Carga del horno: La pieza en bruto se coloca en un crisol cerámico (calentamiento auxiliar de SiC).

Evacuar o pasar Ar /H₂ (caudal 0,51 L/min).

Calentamiento por microondas: 1300-1400°C, 1060 min.

Refrigeración: 1020°C/min, protección Ar .

Post- tratamiento : pulido superficial (Ra < 0,4 μm).

Aplicabilidad :

Grado : YN10, YG8 (tamaño de grano 0,51,5 μm).

Forma : piezas pequeñas y medianas, como cuchillas y brocas.

Volumen de producción : lote medio (100.500 piezas/lote).

ventaja :

Tiempo de sinterización corto: 1060 minutos (14 horas de sinterización al vacío), eficiencia aumentada en un 50%.

Bajo consumo energético: 0,51 kWh/kg (sinterización al vacío 12 kWh/kg).

Tamaño de grano uniforme: crecimiento <10%, aumento de dureza 35% (1500-1800 HV).

deficiencia :

El equipo es caro: 200,5 millones de RMB, y el coste de mantenimiento es alto (5,1 millones de RMB al año).

Restricciones de tamaño: pieza en bruto <100 mm, adecuado para piezas pequeñas y medianas.

Temperatura difícil de controlar: desviación ±20°C, requiere calibración precisa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ejemplos :

Hoja YN10: 1350 °C, 30 min, densidad 14,7 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

estándar :

GB/T 183762014: Desviación de grano <±10%.

GB/T 38502015: Verificación de densidad.

2.4 Sinterización por plasma de chispa (SPS)

Características del proceso :

Principio : La pieza en bruto se calienta rápidamente mediante una corriente de pulso de CC (1000-5000 A) mientras se aplica presión para promover la sinterización en fase sólida/líquida.

parámetro :

Temperatura: 1200-1300°C (100-200 °C menos que la sinterización al vacío) .

Presión: 30100 MPa.

Corriente: 10005000 A, pulso 310 ms .

Tiempo de espera: 530 minutos.

Densidad: >99,8% densidad teórica (~14,715 g/cm³) .

Equipamiento : Horno SPS, como el Dr. Sinter SPS.

proceso :

Carga de la matriz: La pieza en bruto se coloca en una matriz de grafito (C > 99,9%).

Aspiración: <10⁻¹ Pa.

SPS: 1200-1300°C, 30-100 MPa, 530 min.

Refrigeración: 1020°C/min, protección Ar .

Post- procesamiento : rectificado (Ra < 0,2 μm) .

Aplicabilidad :

Grado : YN8N, YG6X (grano ultrafino < 0,5 μm) .

Forma : Piezas pequeñas y complejas como microherramientas (<50 mm).

Volumen de producción : Lotes pequeños (<100 piezas/lote).

ventaja :

Sinterización rápida: 530 minutos, eficiencia aumentada en un 80%.

Excelente control de grano: crecimiento <5%, adecuado para granos ultrafinos (<0,5 μm) , dureza 1800-2200 HV.

Alta densidad: >99,8%, porosidad <0,002%.

deficiencia :

El coste es extremadamente alto: equipo (500,8 millones de yuanes), molde (5,1 millones de yuanes/juego).

Restricciones de tamaño: blanco <50 mm.

Tamaño de lote bajo: 110 piezas a la vez, producción <100 piezas/hora.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ejemplos :

Microherramienta YN8N: 1250 °C, 50 MPa, 10 min, densidad 14,8 g/cm³ , dureza 1800 HV (ScienceDirect, 2021).

estándar :

GB/T 79972017: Verificación de dureza.

GB/T 18376-2014: Control de granos.

2.5 Sinterización por presión de gas (GPS)

Características del proceso :

Principio : La sinterización en fase líquida se lleva a cabo bajo gas a alta presión (N₂, Ar) para inhibir la volatilización y aumentar la densidad.

parámetro :

Temperatura: 1350-1450°C.

Presión: 110 MPa (menor que HIP).

Atmósfera: N₂/ Ar (>99,99%).

Tiempo de conservación del calor: 14 horas.

Densidad: >99,7% densidad teórica (~14,614,9 g/cm³) .

Equipamiento : Horno GPS, tipo FCT Systeme.

proceso :

Carga del horno: La pieza en bruto se coloca sobre una bandeja de grafito.

Ventilación: N₂/ Ar , 110 MPa.

Calefacción: 1350-1450°C, mantener caliente durante 14 horas.

Refrigeración: 510°C/min, protección Ar .

Post- tratamiento : pulido (Ra < 0,4 µm) .

Aplicabilidad :

Grado : YN6, YN10 (tamaño de grano 0,52 µm) .

Forma : Moderadamente compleja, como cuchillos, moldes.

Volumen de producción : lote medio (100.500 piezas/lote).

ventaja :

Alta densidad: >99,7%, porosidad <0,003%, resistencia aumentada en un 510%.

Costo moderado: equipo (2005 millones de yuanes), consumo de energía (1,52,5 kWh/kg).

Baja volatilidad: pérdida de fase adhesiva <0,1%, uniformidad >95%.

deficiencia :

Presión más baja: la porosidad es ligeramente mayor que la del HIP (0,003 % frente a 0,001 %).

El tiempo de sinterización fue más largo: 14 h (530 min para SPS).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La precisión de las formas complejas es ligeramente inferior: ±0,15 mm.

Ejemplos :

Molde YN10: 1400 °C, 5 MPa, 2 horas, densidad 14,7 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (Sandvik, 2023).

estándar :

GB/T 183762014: Porosidad <0,003%.

GB/T 3851:2015: Verificación de resistencia.

3. Comparación de procesos

Tabla 1: Comparación de los procesos de sinterización de carburo cementado

Tecnología	temperatura °C	presión MPa	densidad %	Forma aplicable	Producir Pieza/Lote	costo	ventaja	defecto
Sinterización al vacío	13501450	ninguno	>99.5	Simple moderadamente complejo	1001000	medio	Costo moderado, bajo oxígeno, amplia aplicación.	Porosidad ligeramente mayor, control de grano limitado, contracción desigual
Prensado isostático en caliente	13001400	100150	>99.9	Complejo (herramientas, moldes)	<100	alto	Alta densidad, buen control de grano, pocos defectos.	Alto costo, baja eficiencia, mantenimiento complejo
Sinterización por microondas	13001400	ninguno	>99.5	Pequeños y medianos (cuchillas, brocas)	100500	Medio a alto	Tiempo corto, bajo consumo de energía, granos uniformes.	Equipo costoso, tamaño limitado, control de temperatura difícil
Sinterización por plasma de chispa	12001300	30100	>99.8	Pequeñas y complejas (microherramientas)	<100	alto	Rápido, buen control de grano, alta densidad.	Costo muy alto, tamaño limitado, bajo volumen
Sinterización a presión de gas	13501450	110	>99.7	Complejidad media (herramientas, moldes)	100500	medio	Alta densidad, costo moderado, baja volatilidad	Baja presión, largo tiempo, precisión ligeramente menor

4. Guía de aplicabilidad y selección

Sinterización al vacío :

Aplicable : Lotes medianos a altos, formas simples a medianas, como varillas de prueba YN6, hojas YG15.

Razones de selección : costo moderado (equipo 1003 millones de yuanes), bajo contenido de oxígeno (O <0,03%), adecuado para grados convencionales.

Ejemplo : barra de prueba YN6, 1400°C, densidad 14,6 g/cm³ , resistencia 1,8 GPa .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prensado isostático en caliente :

Aplicable : piezas complejas de alto rendimiento, como herramientas y moldes de aviación YN8N.

Razones de selección : densidad >99,9%, porosidad <0,001%, dureza 1800-2200 HV.

Ejemplo : herramienta YN8N, 1350°C, 120 MPa, dureza 1800 HV.

Sinterización por microondas :

Aplicable a : piezas pequeñas y medianas, como hojas YN10 y brocas YG8.

Razones de selección : corto tiempo de sinterización (1060 minutos) y bajo consumo de energía (0,51 kWh/kg).

Ejemplo : inserto YN10, 1350 °C, 30 min, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Sinterización por plasma de chispa :

Aplicable : piezas pequeñas de alta precisión, como microherramientas YN8N.

Razones de selección : rápido (530 minutos), excelente control de grano (<0,5 μm) , densidad >99,8%.

Ejemplo : microherramienta YN8N, 1250°C, 50 MPa, dureza 1800 HV.

Sinterización a presión de gas :

Aplicable : Piezas de complejidad media, como moldes YN10 y herramientas YG15.

Razones de selección : densidad > 99,7%, coste moderado, baja volatilidad (pérdida de fase aglutinante < 0,1%).

Ejemplo : molde YN10, 1400°C, 5 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Tabla 2: Idoneidad del proceso de sinterización

Tecnología	Grados aplicables	Forma aplicable	Salida (piezas/lote)	Aplicaciones típicas
Sinterización al vacío	YN6, YG15	Varilla de prueba, cuchilla	1001000	Cuchillos, varillas de prueba
Prensado isostático en caliente	YN8N, YG6X	Herramientas y moldes complejos	<100	Herramientas de aviación, moldes de alta gama.
Sinterización por microondas	YN10, YG8	Cuchillas, brocas	100500	Herramientas y brocas pequeñas y medianas
Sinterización por plasma de chispa	YN8N, YG6X	Microcuchillo	<100	Micropiezas de precisión
Sinterización a presión de gas	YN6, YN10	Herramientas de corte y moldes	100500	Moldes y herramientas de corte

5. Conclusión

Cada proceso de sinterización de carburo cementado tiene sus propias características y debe seleccionarse en función del grado, la forma, el rendimiento y el costo:

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

Sinterización al vacío : coste moderado, adecuado para lotes medios y altos de grados convencionales (YN6, YG15), pero con porosidad ligeramente superior (0,0050,01%).

Sinterización por prensado isostático en caliente : densidad > 99,9 %, adecuada para piezas complejas de alto rendimiento (YN8N), pero de alto costo y baja eficiencia.

Sinterización por microondas : tiempo corto, bajo consumo energético, adecuado para piezas pequeñas y medianas (YN10), pero de tamaño limitado (<100 mm).

Sinterización por plasma de chispa : rápido, buen control de grano, adecuado para piezas pequeñas de grano ultrafino (YN8N), pero con un coste extremadamente alto y un tamaño de lote bajo.

Sinterización a presión de gas : alta densidad, costo moderado, adecuado para piezas de complejidad media (YN10), pero baja presión y largo tiempo.

estándar :

GB/T 345052017 : Desviación de densidad sinterizada $\leq \pm 0,5\%$.

GB/T 183762014 : Porosidad $< 0,01\%$, desviación de grano $\leq \pm 10\%$.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión (1,8-2,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureza (1400-2200 HV).

GB/T 51692013 : Porosidad (A02B00C00).

GB/T 43342020 : Resistencia a la corrosión ($< 0,005$ mm/año).

Tendencias futuras

de energía reducido en un 20 %) y la sinterización nanocristalina (granos $< 0,1 \mu\text{m}$) mejorarán el rendimiento y la eficiencia.

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

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



apéndice:

Breve introducción de un horno típico de sinterización de carburo cementado

Los hornos de sinterización de carburo cementado son equipos clave para la sinterización a alta temperatura de palanquillas de carburo cementado (WC + Co /Ni). Mediante un control preciso de la temperatura (1350-1500 °C), la atmósfera (como H₂, Ar), la presión (0,1200 MPa) y el flujo del proceso, las palanquillas prensadas (densidad 50-70 %) se convierten en productos de carburo cementado de alta densidad (>99 %) y alto rendimiento (como perforadoras mineras, herramientas de aviación y moldes resistentes al desgaste). Estos hornos de sinterización deben tener un control de temperatura de alta precisión (± 35 °C), calentamiento uniforme (diferencia de temperatura $< \pm 10$ °C), estabilidad atmosférica (O₂ < 10 ppm), alta confiabilidad y capacidad de producción eficiente para garantizar la dureza del producto (1400-2200 HV), resistencia (1,82,5 GPa), porosidad ($< 0,01$ %) y precisión dimensional ($\pm 0,010,5$ mm, de acuerdo con GB/T 345052017). Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 38502015) y prácticas de la industria (como ALD, PVA TePla, Quintus, 2023) para presentar en detalle los tipos, características, parámetros de proceso, datos de rendimiento, aplicaciones y recomendaciones de selección de hornos de sinterización de carburo cementado típicos.

1. Tipos de hornos de sinterización de carburo cementado

Los hornos de sinterización de carburo cementado se dividen en las siguientes tres categorías según los requisitos del proceso y los métodos de sinterización. Cada categoría tiene requisitos de sinterización específicos para productos de carburo cementado (como perforadoras mineras, herramientas de aviación y moldes resistentes al desgaste):

Horno de sinterización al vacío de carburo cementado :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Horno de sinterización al vacío de una sola cámara para carburo cementado : lotes pequeños y medianos, adecuado para productos con formas complejas (como herramientas de aviación Ø 550 mm).

Horno de sinterización al vacío multicámara para carburo cementado : producción continua a gran escala, adecuado para brocas de minería (Ø 100-400 mm).

Estructura : Cámara simple o múltiple, Ø de cámara 300-1000 mm × 500-2000 mm, elementos de calentamiento de grafito/molibdeno, grado de vacío 10^{-3} 10^{-5} Pa, equipado con condensador y sistema de desparafinado.

Aplicación : desparafinado y sinterización en uno, adecuado para productos de alta precisión.

Horno de prensado isostático en caliente de carburo cementado (HIP) :

Horno de sinterización HIP de alta temperatura de carburo cementado : sinterización de productos de alto rendimiento en un solo paso para eliminar microporos.

Horno de sinterización HIP de baja temperatura de carburo cementado : tratamiento posterior a la sinterización para mejorar el rendimiento.

Estructura : Cámara de alta presión (Ø 200-800 mm × 500-1500 mm), presión 100-200 MPa, elementos de calentamiento de grafito/molibdeno, atmósfera de Ar , equipada con bomba de alta presión y válvula de seguridad.

Aplicación : Herramientas de aviación, moldes resistentes al desgaste, que requieren alta densidad (>99,9%).

Horno de sinterización de atmósfera de carburo cementado :

Horno de sinterización de carburo cementado en atmósfera de hidrógeno : producción en masa de bajo costo, adecuado para picos de minería.

Horno de sinterización de gas inerte de carburo cementado : productos de alta precisión, oxidación reducida, adecuado para moldes.

Estructura : Tipo barco de empuje/rodillo, cámara Ø 5001500 mm × 10003000 mm, atmósfera H₂/Ar , elementos de calentamiento de grafito/cerámica, equipado con sistema de purificación de gases.

Aplicación : Piezas en bruto de gran tamaño, procesamiento de bajo costo .

2. Características del horno de sinterización de carburo cementado

2.1 Estructura y propiedades del material

Material de la cavidad :

Acero inoxidable 316L/molibdeno : resistencia a temperaturas >1500 °C, resistencia a la corrosión, adecuado para vacío/alta presión.

Revestimiento de grafito/cerámica : uniformidad térmica ±10°C, pérdida de calor reducida en un 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elementos calefactores :

Grafito : resistencia a temperaturas $>2000^{\circ}\text{C}$, adecuado para sinterización al vacío/atmósfera, vida útil >5000 horas.

Molibdeno/ Tungsteno : alta pureza (contaminación $<0,01\%$), adecuado para HIP, vida útil >4000 horas.

Material de aislamiento :

Filtro de fibra de carbono : conductividad térmica $<0,1\text{ W/ m}\cdot\text{K}$, eficiencia de aislamiento 95%.

Fibra de alúmina : resistencia a temperaturas $>1600^{\circ}\text{C}$, ahorro de energía 1520%.

Sistema de control :

PLC + pantalla táctil, precisión de control de temperatura $\pm 35^{\circ}\text{C}$, control de presión $\pm 0,1\text{ MPa}$, caudal atmosférico $\pm 0,5\text{ L/min}$.

Admite monitoreo remoto, tasa de diagnóstico de fallas $>98\%$.

Sistema de seguridad :

Protección contra sobretemperatura/sobrepresión, tiempo de respuesta de la válvula de alivio de presión $<0,1$ segundos.

Detección de gas (O_2 , H_2), apagado automático cuando la concentración excede el estándar.

2.2 Características de rendimiento

Rango de temperatura : $1200\text{-}1500^{\circ}\text{C}$ (vacío/HIP), $800\text{-}1400^{\circ}\text{C}$ (atmósfera).

Precisión del control de temperatura : $\pm 35^{\circ}\text{C}$, uniformidad $\pm 510^{\circ}\text{C}$ (medición de temperatura multipunto).

Grado de vacío : $10^{-3}\text{ }10^{-5}\text{ Pa}$ (horno de vacío), 10^{-2} Pa (etapa de desparafinado).

Rango de presión : $0,1200\text{ MPa}$ (HIP), $0,010,1\text{ MPa}$ (atmósfera).

Control de atmósfera : H_2 (99,999%), Ar (99,99%), O_2 $<510\text{ ppm}$.

Velocidad de enfriamiento : 520°C/min (enfriamiento forzado, inyección de Ar/N_2), reducción del estrés térmico 30%.

Rendimiento del producto :

Dureza: $1400\text{ }2200\text{ HV}$ (GB/T 79972017).

Resistencia: $1,82,5\text{ GPa}$ (GB/T 38512015).

Densidad: $>99\%$ (GB/T 38502015) .

Porosidad: $<0,01\%$ (GB/T 51692013).

2.3 Características del proceso

Eficiencia de desparafinado : vacío/baja presión H_2 , tasa de desparafinado $>99,5\%$, carbono residual $<0,05\%$.

Ciclo de sinterización : 824 horas (vacío 1216 horas, HIP 36 horas, atmósfera 1020 horas).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Control de contracción : Relación de contracción 1522% (YG8 1618%, YN10 1820%), desviación $<\pm 0,5\%$.

Consumo de energía : 12 kWh/kg (vacío/HIP), 0,51 kWh/kg (atmósfera).

Automatización : carga y descarga automática, ajuste de la atmósfera, eficiencia de producción aumentada en un 3040%.

Consistencia del producto : desviación de dureza $<\pm 50$ HV, desviación de densidad $<\pm 0,1$ g/cm³.

3. Parámetros del proceso del horno de sinterización de carburo cementado

Horno de sinterización al vacío de carburo cementado :

Etapas de desparafinado :

Temperatura: 200-600°C, velocidad de calentamiento 25°C/min.

Grado de vacío: 10^{-2} Pa, caudal de H₂ 510 L/min.

Tiempo: 24 horas, tasa de desparafinado $>99\%$.

Etapas de sinterización :

Temperatura: 1350-1450°C, velocidad de calentamiento 510°C/min.

Grado de vacío: 10^{-4} 10^{-5} Pa, mantener caliente durante 24 horas.

Enfriamiento: 10°C/min (enfriamiento forzado Ar), hasta 100°C.

Parámetros típicos :

Broca minera YG8: 1400°C, 10^{-4} Pa, 12 horas, densidad 14,6 g/cm³.

Herramienta de aviación YN10: 1450°C, 10^{-5} Pa, 14 horas, dureza 1800 HV.

Horno de prensado isostático en caliente de carburo cementado (HIP) :

Etapas de sinterización :

Temperatura: 1350-1450°C, velocidad de calentamiento 58°C/min.

Presión: 100150 MPa (Ar), mantener caliente durante 13 horas.

Enfriamiento: 15°C/min (alta presión Ar), hasta 200°C.

Etapas de postprocesamiento (HIP de baja temperatura):

Temperatura: 1300-1350°C, presión 80-100 MPa.

Tiempo: 12 horas, porosidad reducida a $<0,001\%$.

Parámetros típicos :

Herramienta de aviación YG6X: 1400 °C, 120 MPa, 4 horas, densidad 14,9 g/cm³.

Molde resistente al desgaste YG8: 1350 °C, 100 MPa, 3 horas, resistencia 2,2 GPa.

Horno de sinterización de atmósfera de carburo cementado :

Etapas de desparafinado :

Temperatura: 200500°C, velocidad de calentamiento 35°C/min.

Flujo de H₂: 2050 L/min, O₂ <10 ppm.

Tiempo: 35 horas, carbono residual $<0,1\%$.

Etapas de sinterización :

Temperatura: 1300-1400°C, velocidad de calentamiento 510°C/min.

Atmósfera: H₂ (99,999%), mantener caliente durante 35 horas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Refrigeración: 510°C/min (protección N₂), hasta 100°C.

Parámetros típicos :

Selección YG6: 1350°C, H₂ 30 L/min, 12 horas, dureza 1400 HV.

Molde YN10: 1400°C, Ar 20 L/min, 15 horas, precisión ±0,01 mm.

4. Datos de rendimiento del horno de sinterización de carburo cementado

Horno de sinterización al vacío de carburo cementado :

Rendimiento del producto :

Densidad: 14,514,9 g/cm³ (YG 8/YG6X), desviación ±0,1 g/cm³.

Dureza: 1400-2000 HV, desviación ±50 HV.

Resistencia: 1,82,3 GPa, porosidad <0,01%.

Rendimiento del equipo :

Precisión del control de temperatura: ±3°C (control PID, medición de temperatura de 10 puntos).

Grado de vacío: 10⁻⁵ Pa (bomba molecular), tasa de fuga <10⁻⁸ Pa·m³ / s.

Consumo de energía: 1,5 kWh/kg, capacidad de producción: 50200 kg/horno.

Consistencia : Desviación de dureza del lote <2%, desviación dimensional ±0,020,5 mm.

Horno de prensado isostático en caliente de carburo cementado (HIP) :

Rendimiento del producto :

Densidad: 14,815,0 g/cm³ (YG 6X/YN10), desviación ±0,05 g/cm³.

Dureza: 1800-2200 HV, desviación ±30 HV.

Resistencia: 2,22,5 GPa, porosidad <0,001%.

Rendimiento del equipo :

Precisión del control de temperatura: ±5°C, control de presión ±0,1 MPa.

Estabilidad de presión: ±0,5% (100150 MPa), consumo de Ar 50100 L/horno.

Consumo de energía: 2 kWh/kg, capacidad de producción: 20100 kg/horno.

Consistencia : Desviación de densidad del lote <0,5%, precisión ±0,010,05 mm.

Horno de sinterización de atmósfera de carburo cementado :

Rendimiento del producto :

Densidad: 14,514,8 g/cm³ (YG 6/YN10), desviación ±0,15 g/cm³.

Dureza: 1400-1800 HV, desviación ±60 HV.

Resistencia: 1,82,2 GPa, porosidad <0,02%.

Rendimiento del equipo :

Precisión del control de temperatura: ±5°C, caudal de aire ±0,5 L/min.

Consumo de H₂: 100200 L/horno, O₂ <10 ppm.

Consumo de energía: 0,8 kWh/kg, capacidad de producción: 100500 kg/horno.

Consistencia : Desviación de dureza del lote <3%, desviación de tamaño ±0,10,5 mm.

5. Aplicación del horno de sinterización de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Horno de sinterización al vacío de carburo cementado :

Escenarios de aplicación :

Las brocas de minería sinterizadas (como las brocas de rodillos de Ø 100-400 mm) requieren una alta tenacidad.

Las herramientas de aviación (por ejemplo, fresas de bolas de Ø 550 mm) requieren una alta precisión.

Actuación :

Temperatura: 1350-1450°C, 10^{-4} 10^{-5} Pa.

Ciclo: 1216 horas, densidad >99%.

Precisión: $\pm 0,020,5$ mm, dureza 14002000 HV.

Ejemplos :

Horno de sinterización al vacío de una cámara para carburo cementado (ALD VKPgr , Ø 400 × 1200 mm):

Sinterización de broca de minería YG8 (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10^{-4} Pa, 12 h.

Resultados: densidad 14,6 g/ cm³, dureza 1400 HV, relación de contracción 16%, porosidad <0,01% (ScienceDirect, 2021).

Horno de sinterización al vacío multicámara para carburo cementado (PVA TePla COD, Ø 600 × 1500 mm):

Sinterización de herramienta de aviación YN10 (Ø 10 × 100 mm), 1400°C, 10^{-5} Pa, 14 h.

Resultados: Densidad 14,8 g/ cm³, dureza 1800 HV, precisión $\pm 0,02$ mm, KIC 10 MPa·m^{1/2}.

Horno de prensado isostático en caliente de carburo cementado (HIP) :

Escenarios de aplicación :

Las herramientas de aviación (como las fresas) pueden eliminar los microporos y mejorar la densidad.

Los moldes resistentes al desgaste (como los moldes de estampación en frío de 100 × 100 × 30 mm) pueden mejorar el rendimiento antifatiga.

Actuación :

Temperatura: 1350-1450°C, 100-150 MPa.

Ciclo: 36 horas, densidad >99,9%.

Precisión: $\pm 0,010,05$ mm, dureza 18002200 HV.

Ejemplos :

Horno de sinterización HIP de alta temperatura de aleación dura (Quintus QIH, Ø 300 × 1000 mm):

Sinterización de herramienta de aviación YG6X (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 horas.

Resultados: Densidad 14,9 g/ cm³, dureza 2000 HV, porosidad <0,001%, resistencia 2,3 GPa .

Horno de sinterización HIP de baja temperatura de carburo cementado (ALD HP, Ø 250 × 800 mm):

Postratamiento de molde resistente al desgaste YG8 (100 × 100 × 30 mm), 1350°C, 100 MPa, 3 h.

Resultados: Porosidad <0,001%, resistencia 2,2 GPa , vida útil aumentada en un 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Horno de sinterización de atmósfera de carburo cementado :

Escenarios de aplicación :

Picas para minería (p. ej. picas cónicas Ø 20 mm), fabricadas en serie.

Moldes resistentes al desgaste (como moldes de moldeo de plástico 80×80×20 mm), procesamiento de bajo costo.

Actuación :

Temperatura: 1300-1400°C, atmósfera de H₂/ Ar .

Ciclo: 1020 horas, densidad>99%.

Precisión: ±0,1-0,5 mm, dureza 1400-1800 HV.

Ejemplos :

Horno de sinterización de carburo cementado en atmósfera de hidrógeno (ECM Lilas, Ø 800 × 2000 mm):

Sinterización de pica YG6 (Ø 20 × 50 mm), 1350°C, H₂ 30 L/min, 12 horas.

Resultados: Densidad 14,5 g/ cm³, dureza 1400 HV, vida 80 horas, porosidad <0,02%.

Horno de sinterización de gas inerte para carburo cementado (Centorr , Ø 600 × 1500 mm):

Sinterización de molde de plástico YN10 (80 × 80 × 20 mm), 1400°C, Ar 20 L/min, 15 horas.

Resultados: Densidad 14,7 g/cm³ , precisión ±0,01 mm, dureza 1600 HV.

6. Comparación de los tipos de hornos de sinterización de carburo cementado

Tipo de horno de sinterización	temperatura °C	presión MPa	atmósfera	ciclo Hora	densidad %	Exactitud mm	Consumo de energía kWh/kg	Aplicaciones típicas
Horno de sinterización al vacío de una sola cámara de carburo cementado	13501450	10 ⁻³ 10 ⁻⁵ Pa	vacío	1216	>99	±0,020,5	1.5	Brocas y cortadores para minería
Horno de sinterización HIP de alta temperatura de carburo cementado	13501450	100150	Arkansas	36	>99.9	±0,010,05	2	Herramientas y moldes de aviación
Horno de sinterización de carburo cementado en atmósfera de hidrógeno	13001400	0.1	H ₂	1020	>99	±0,10,5	0.8	Selecciones, matrices

7. Recomendaciones de selección

Según el tipo de producto

Herramientas de aviación (alta precisión, formas complejas) :

Recomendado: Horno de sinterización al vacío de carburo (cámara única) u horno de sinterización HIP de alta temperatura.

Motivo: El grado de vacío 10⁻⁵ Pa garantiza una baja contaminación, la presión HIP 120 MPa elimina los microporos, precisión ±0,010,05 mm.

Modelo: ALD VKPgr (Ø 400 × 1200 mm, 50100 kg/horno), Quintus QIH (Ø 300 × 1000 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

2050 kg/horno).

Brocas/cortadores para minería (tamaño grande, producción en masa) :

Recomendado: Horno de sinterización al vacío de múltiples cámaras de carburo o horno de sinterización en atmósfera de hidrógeno.

Motivo: La multicámara admite una producción continua (200-500 kg/horno) y el coste de la atmósfera de H₂ es bajo (0,8 kWh/kg).

Modelos: PVA TePla COD (Ø 600 × 1500 mm, 200 kg/horno), ECM Lilas (Ø 800 × 2000 mm, 300 kg/horno).

Molde resistente al desgaste (alta densidad, antifatiga) :

Recomendado: horno de sinterización HIP de alta temperatura para carburo cementado o postratamiento HIP de baja temperatura.

Razón: HIP garantiza una densidad >99,9%, una porosidad <0,001% y un aumento de la resistencia del 1020%.

Modelos: ALD HP (Ø 250 × 800 mm, 2050 kg/horno), Quintus QIH (Ø 300 × 1000 mm).

Según la demanda de producción

Lotes pequeños y medianos (<100 kg/horno) : horno de sinterización al vacío de una sola cámara u horno HIP pequeño, alta flexibilidad, adecuado para I+D o productos personalizados.

Gran lote (>200 kg/horno) : horno de sinterización al vacío de múltiples cámaras u horno de sinterización de atmósfera, alta capacidad de producción, costo unitario reducido en un 2030%.

Según presupuesto de costos

bajo costo

Horno de sinterización de atmósfera de hidrógeno de carburo cementado, consumo de energía 0,8 kWh/kg, costo del equipo 3050% menor (alrededor de 501 millones de dólares estadounidenses).

rendimiento alto

El horno de sinterización HIP de alta temperatura de carburo cementado tiene un consumo de energía de 2 kWh/kg y un alto costo de equipo (alrededor de 2005 millones de dólares estadounidenses), pero el rendimiento del producto mejora en un 20%.

Según los requisitos del proceso :

Alta precisión (±0,010,05 mm) : horno de sinterización al vacío (10⁻⁵ Pa) + HIP (120 MPa), desviación de contracción <±0,5%.

Baja contaminación : se utilizan elementos de calentamiento de Mo/tungsteno y atmósfera de Ar para reducir la contaminación en un 30%.

Producción rápida : horno HIP (36 horas) u horno de vacío multicámara (producción continua).

Medio ambiente y seguridad :

Atmósfera de H₂ : Se requiere detección de gas (O₂ < 10 ppm) y un sistema de alivio de presión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(respuesta < 0,1 s).

HIP alta presión : Elegir equipos con válvula de seguridad y monitorización de presión (tasa de fuga < 10^{-8} Pa·m³/s).

8. Sugerencias de optimización

equipo :

Elemento calefactor : Molibdeno/Tungsteno (HIP/Vacío), reducción de la contaminación en un 30%, vida útil > 4000 horas.

Material de aislamiento : fieltro de fibra de carbono + fibra de alúmina, pérdida de calor reducida en un 20%, ahorro de energía del 15%.

Cámara : acero inoxidable 316L + revestimiento de grafito, resistencia a la corrosión aumentada en un 25%, vida útil > 10 años.

Optimización de procesos :

Control de temperatura : algoritmo PID+AI mejorado, precisión ± 3 °C, uniformidad ± 5 °C.

Desparafinado : Vacío (10^{-2} Pa) + H₂ (510 L/min), tasa de desparafinado > 99,5%, carbono residual < 0,05%.

HIP : 1350°C, 120 MPa, 2 horas de conservación del calor, ciclo acortado en un 20%, densidad aumentada en un 0,5%.

Control de la atmósfera :

Pureza de H₂ : > 99,999%, O₂ < 5 ppm, tasa de oxidación reducida al 50%.

Arkansas Circulación : caudal 2050 L/min, tasa de recuperación > 80%, reducción de costes 15%.

Optimización de refrigeración :

Refrigeración forzada : inyección de Ar a alta presión (1520°C/min), reducción del estrés térmico del 30%.

Enfriamiento multietapa : 800°C/400°C/100°C segmentado, precisión mejorada en un 10%.

Mantenimiento y Automatización :

Monitoreo en línea : Monitoreo en tiempo real de temperatura, presión y atmósfera, reduciendo la tasa de fallas en un 20%.

Carga y descarga automática : El sistema robótico reduce los costos laborales en un 30% y aumenta la eficiencia en un 40%.

Ciclo de mantenimiento : Los componentes de grafito deben inspeccionarse cada 5.000 horas y la cámara debe limpiarse anualmente, lo que puede extender la vida útil en un 25%.

9. Normas

GB/T 345052017 : Precisión dimensional $\pm 0,01$ mm, desviación de tolerancia $\leq \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Porosidad < 0,01%, uniformidad > 95%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

GB/T 38502015 : Densidad>99%.

GB/T 51692013 : Grado de porosidad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureza 14002200 HV.

10. Conclusión

Los hornos de sinterización de carburo cementado incluyen tres categorías: hornos de sinterización al vacío de carburo cementado, hornos de sinterización por prensado isostático en caliente y hornos de sinterización de atmósfera, que pueden satisfacer las necesidades de sinterización de taladros mineros, herramientas de aviación y moldes resistentes al desgaste:

Horno de sinterización al vacío de carburo cementado

Forma compleja, 1350-1450 °C, 10^{-5} Pa, densidad>99 %, precisión $\pm 0,020,5$ mm.

Horno de sinterización por prensado isostático en caliente de carburo cementado

Productos de alto rendimiento, 100-150 MPa, densidad>99,9%, porosidad<0,001%.

Horno de sinterización de atmósfera de carburo cementado

Producción en masa, 1300-1400 °C, H₂/ Ar , bajo costo, adecuado para cortadores de picas.

Estos hornos de sinterización mejoran significativamente el rendimiento y la eficiencia de producción de productos de carburo cementado gracias a su control de temperatura de alta precisión, estabilidad atmosférica y procesos eficientes. Se utilizan ampliamente en minería, aviación y fabricación de moldes. Al seleccionar un modelo, se deben considerar la precisión del producto, la producción, el costo y los requisitos del proceso.

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:

¿Cuál es la densidad sinterizada del carburo cementado?

Breve introducción de la densidad sinterizada del carburo cementado

La densidad sinterizada del carburo cementado se refiere a la densidad del material que finalmente se logra mediante la pieza en bruto (polvo prensado, la densidad inicial suele ser del 50-70% de la densidad teórica) durante el proceso de sinterización a alta temperatura del carburo cementado (como WC+ Co , WC + Ni) a través de la reorganización de partículas, la difusión y la eliminación de poros. Por lo general, se expresa como densidad real (g/cm^3) o densidad relativa (porcentaje de la densidad teórica). La densidad sinterizada afecta directamente el rendimiento del carburo cementado, incluida la dureza (1400-2200 HV), la resistencia (1,8-2,8 GPa), la resistencia al desgaste y la porosidad (<0,01%). Es un indicador clave para evaluar la calidad de la sinterización y debe cumplir con las normas nacionales (como GB/T 3850-2015, GB/T 1837-6-2014). La alta densidad sinterizada (>99 % de densidad teórica) garantiza que el producto no tenga microporos y un rendimiento excelente, y es adecuado para aplicaciones como moldes resistentes al desgaste, herramientas de minería y sellos para aguas profundas.

1. Definición de densidad sinterizada del carburo cementado

Densidad real

La masa por unidad de volumen de carburo cementado después de la sinterización (g/cm^3) se calcula mediante el método de Arquímedes (GB/T 38502015) o por medición directa.

densidad relativa

Relación entre la densidad real y la densidad teórica (densidad ideal en estado denso), generalmente expresada como porcentaje. Por ejemplo, la densidad teórica del YG8 (WC + 8 % Co) es de aproximadamente $14,7 \text{ g/cm}^3$, mientras que la densidad real tras la sinterización es de $14,65 \text{ g/cm}^3$, con una densidad relativa del 99,66 %.

Densidad teórica

basado en la fracción de masa de los componentes de carburo cementado (WC, Co/Ni, aditivos) y la densidad de cada componente (WC: $15,63 \text{ g/cm}^3$, Co: $8,9 \text{ g/cm}^3$, Ni: $8,9 \text{ g/cm}^3$).

La importancia de la densidad de sinterización de carburo cementado

Impacto en el rendimiento

La alta densidad de sinterización (>99%) reduce la porosidad (<0,01%, GB/T 51692013), mejora la dureza (aumentada en un 510%), la resistencia (aumentada en un 1020%) y la resistencia al desgaste (pérdida por desgaste reducida en un 2030%).

Control de calidad

La densidad de sinterización refleja el grado de optimización del proceso (como la temperatura, la presión y la atmósfera). Una densidad baja (<95%) puede generar microporos y una resistencia insuficiente, lo que afecta la vida útil del producto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Requisitos de la solicitud

El carburo cementado de alta densidad (como >99,9 %, sinterización HIP) es adecuado para sellos de aguas profundas y herramientas de aviación; la densidad media (>98 %) es adecuada para picos de minería.

2. Factores que afectan la densidad de sinterización del carburo cementado

Características del polvo:

Tamaño del grano: Granos finos (0,52 μm) promueven la difusión y aumentan la densidad en un 12%; los granos gruesos (>5 μm) pueden causar poros residuales.

de bolas durante 1624 horas, D50 50150 μm), con segregación reducida y desviación de densidad $<\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Aglutinante: PEG/parafina (0,52 % en peso) optimizado para moldeo por compresión, con una densidad inicial un 510 % mayor.

Proceso de prensado:

Presión: El prensado isostático en frío (200-300 MPa) aumenta la densidad de la pieza en bruto (60-70 %) y la densidad aumenta en un 13 % después de la sinterización.

Matriz: Distribución uniforme de la presión, reducción de defectos en bruto y aumento del 10 % en la consistencia de la densidad.

Proceso de sinterización:

Temperatura: 1350-1500 $^{\circ}\text{C}$ (vacío/HIP), demasiado baja (<1300 $^{\circ}\text{C}$) conduce a una densidad insuficiente (<95 %), demasiado alta (>1550 $^{\circ}\text{C}$) conduce al crecimiento del grano y a una disminución de la densidad del 0,51 %.

Tiempo de aislamiento: 24 horas (vacío), 13 horas (HIP), la densidad aumenta un 0,20,5% si se extiende 1 hora.

Atmósfera: H₂/ Ar (O₂ <510 ppm) para evitar la oxidación, la densidad de la aleación a base de Ni/Co aumentó en un 0,5%; vacío (10^{-4} a 10^{-5} Pa) para eliminar el aglutinante, la densidad aumentó en un 1%.

Presión: HIP (100150 MPa) elimina los microporos y alcanza una densidad de >99,9%; la sinterización convencional (0,1 MPa) alcanza una densidad de 9899%.

Rendimiento del horno de sinterización:

Precisión del control de temperatura: $\pm 35^{\circ}\text{C}$, uniformidad $\pm 510^{\circ}\text{C}$, desviación de densidad $<\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Grado de vacío: 10^{-5} Pa (horno de vacío), eficiencia de desparafinado > 99,5 %, carbono residual < 0,05 %.

Velocidad de enfriamiento: 520 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, estrés térmico controlado, aumento del 5% en la consistencia de la densidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Relación entre la densidad de sinterización y el proceso de sinterización

Sinterización al vacío:

Proceso: desparafinado (200-600°C, 10^{-2} Pa) → sinterización (1350-1450 °C, 10^{-4} - 10^{-5} Pa) → enfriamiento (1015°C/min).

Densidad: 9899,5% (YG8: 14,514,65 g/cm³), porosidad <0,01%.

Aplicable a: brocas de minería, moldes, bajo costo.

Prensado isostático en caliente (HIP):

Proceso: sinterización (1350-1450°C, 100-150 MPa, Ar) → postratamiento (1300-1350°C, 80-100 MPa) → enfriamiento (1520°C/min).

Densidad: >99,9% (YG8: 14,6514,7 g/cm³), porosidad <0,001%.

Aplicación: Herramientas de aviación, sellos para aguas profundas, requisitos de alto rendimiento.

Sinterización atmosférica:

Proceso: desparafinado (200-500°C, H₂ 2050 L/min) → sinterización (1300-1400°C, H₂/ Ar) → enfriamiento (510°C/min).

Densidad: 9899% (YG6: 14.414.5 g/cm³), porosidad <0,02%.

Aplicable a: corte de púas, producción en masa, bajo costo.

4. Datos de rendimiento de densidad sinterizada

Tipo de sinterización	Marca	Densidad real (g/cm ³)	Densidad relativa (%) (teórico)	Porosidad (%)	Dureza (HV)	Fuerza (GPa)	Aplicaciones típicas
Sinterización al vacío	YG8	14.514.65	98.699.7	<0,01	14001800	1.82.3	brocas para minería
Sinterización HIP	YG6X	14.814.9	>99.9	<0,001	18002200	2.22.8	herramientas de aviación
Sinterización atmosférica	YN10	14.414.5	98.099.0	<0,02	14001600	1.82.2	Sellos químicos

Ejemplos:

Sinterización al vacío: broca YG8 (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10^{-4} Pa, 12 horas, densidad 14,6 g/cm³ (99,3 %), dureza 1400 HV.

Sinterización HIP: herramienta YG6X (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 horas, densidad 14,9 g/cm³ (> 99,9%), porosidad <0,001%.

Sinterización en atmósfera: junta YN10 (Ø 50 mm), 1350°C, H₂ 30 L/min, 12 horas, densidad 14,5 g/cm³ (98,6 %), excelente resistencia a la corrosión.

5. Sugerencias para optimizar la densidad de sinterización

Optimización del polvo:

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 selecciona WC de grano medio-fino (0,5-1,5 μm) y la densidad aumenta en un 12% .
La adición de Cr₃C₂ (0,20,5 % en peso) inhibe el crecimiento del grano y aumenta la densidad en un 0,5 %.

Proceso de prensado:

Aumentando la presión de prensado (250300 MPa), la densidad inicial aumentó en un 510%.
Optimice el molde, reduzca los defectos de las piezas y aumente la consistencia de la densidad en un 10%.

Proceso de sinterización:

Temperatura: Control 1400-1450°C (YG8/YG6X), evita que se queme demasiado , aumenta la densidad en un 0,5%.

Atmósfera: Pureza de H₂ > 99,999 %, O₂ < 5 ppm, densidad de aleación a base de Ni aumentada en un 0,5 %.

HIP: 1350°C, 120 MPa, 2 horas, densidad >99,9%.

Optimización de equipos:

Control de temperatura mejorado ($\pm 3^\circ\text{C}$), desviación de densidad $< \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Utilizando elementos de calentamiento de molibdeno/tungsteno, la contaminación se reduce en un 30% y la densidad aumenta en un 0,2%.

Posprocesamiento:

Después del tratamiento HIP (1300 °C, 100 MPa), la porosidad se redujo a <0,001 %.

El pulido (Ra <0,2 μm) reduce los defectos superficiales y aumenta la resistencia al desgaste en un 20% .

6. Normas

GB/T 38502015: Medición de densidad, desviación $< \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

GB/T 183762014: Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.

GB/T 51692013: Grado de porosidad A02B00C00.

GB/T 38512015: resistencia a la flexión 1,82,8 GPa .

GB/T 7997-2017: Dureza 1400-2200 HV.

7. Conclusión

La densidad de sinterización del carburo cementado es el indicador clave para medir la calidad de la sinterización, lo que afecta directamente la dureza, la resistencia y la durabilidad del producto. Una alta densidad de sinterización (>99%) se logra optimizando los procesos de polvo, prensado y sinterización (como HIP 1350 °C, 120 MPa), lo que garantiza una porosidad <0,001%, ideal para aplicaciones de alto rendimiento (como sellos para aguas profundas y herramientas de aviación). La sinterización al vacío (9899,5%), la HIP (>99,9%) y la sinterización atmosférica (9899%) satisfacen diferentes necesidades, y el proceso debe seleccionarse según el escenario de aplicación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


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

apéndice:

¿Qué es la porosidad del carburo?

Introducción a la porosidad del carburo cementado

La porosidad del carburo cementado se refiere al porcentaje del volumen de poros diminutos (poros o huecos) que quedan dentro del material durante el proceso de sinterización del carburo cementado (como WC+ Co , WC+ Ni) respecto al volumen total. Generalmente se expresa como porcentaje (p. ej., <0,01 %) o se clasifica en grados A, B o C según la norma nacional GB/T 5169-2013 (p. ej., A02B00C00).

La porosidad es un indicador clave para evaluar la calidad de la sinterización de carburo cementado, que afecta directamente la densidad (14,5-15,0 g/cm³), la dureza (1400-2200 HV), la resistencia (1,8-2,8 GPa), la resistencia al desgaste y la corrosión del material. Una porosidad baja (<0,001 %, como la sinterización HIP) garantiza un alto rendimiento y es adecuada para aplicaciones de alta demanda, como herramientas de aviación y sellos para aguas profundas; una porosidad más alta (0,01-0,02 %, como la sinterización atmosférica) es adecuada para picos de minería con precios competitivos.

Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 51692013) y prácticas de la industria para presentar en detalle la definición, medición, factores influyentes y medidas de optimización de la porosidad del carburo cementado.

1. Definición de porosidad del carburo cementado

Porosidad

La relación entre el volumen de poro interno y el volumen total de carburo cementado generalmente se calcula indirectamente a través de la observación microscópica (análisis metalográfico, GB/T 5169-2013) o la medición de densidad (método de Arquímedes, GB/T 3850-2015).

Fórmula: Porosidad (%) = (1 densidad real/densidad teórica) × 100.

Por ejemplo, la densidad teórica de YG8 es 14,7 g/cm³, la densidad real es 14,65 g/cm³ y la porosidad es ≈ 0,34%.

Tipo de porosidad:

Poros tipo A: diámetro <10 μm, poros diminutos que afectan la resistencia.

Poros tipo B: diámetro 1025 μm, poros más grandes, resistencia al desgaste reducida.

Poros tipo C: poros formados por agregación o inclusiones de carburo, que afectan la resistencia a la corrosión.

Estándar de grado (GB/T 51692013):

A02: Poros clase A <0,02 mm²/cm².

B00: Sin poros clase B.

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

C00: Sin poros tipo C.

La importancia de la porosidad del carburo cementado

Impacto en el rendimiento

Una alta porosidad ($>0,1\%$) produce una menor densidad ($<98\%$), una menor dureza (5-10%), menor resistencia (10-20%) y una peor resistencia al desgaste (aumento del desgaste del 20-30%), lo que puede provocar fácilmente fractura por fatiga o corrosión.

Control de calidad

La porosidad refleja la eficacia del proceso de sinterización (como la temperatura, la presión y la atmósfera). Una porosidad baja ($<0,001\%$) indica una sinterización suficiente y un material denso.

Requisitos de la solicitud

Aplicaciones de alto rendimiento (herramientas aeroespaciales, sellos para aguas profundas): Porosidad $<0,001\%$ (sinterización HIP), lo que garantiza que no haya microporos y resistencia a la corrosión y a altas presiones.

Aplicación general (picos de minería, moldes): porosidad $<0,02\%$ (sinterización atmosférica), cumpliendo el equilibrio entre costo y rendimiento.

2. Método de medición de la porosidad

Análisis metalográfico (GB/T 51692013):

paso:

la muestra: corte y pulido ($R_a < 0,2\ \mu\text{m}$).

Observación microscópica: microscopio óptico (100-1000 $\times$), contando el número y área de poros tipo A/B/C.

Clasificación y calificación: A02, B00 y otros grados se determinan según el diámetro y la distribución de los poros.

Ventajas: intuitivo, capaz de distinguir tipos de poros.

Limitaciones: Solo se observa la superficie, se requieren múltiples puntos de muestreo.

Medición de densidad (GB/T 38502015):

paso:

Medición de densidad real: método de Arquímedes (pesaje en agua, precisión $\pm 0,01\ \text{g/cm}^3$).

Calcular la porosidad: $(1 - \text{densidad real} / \text{densidad teórica}) \times 100$.

Ventajas: Evaluación rápida y holística.

Limitaciones: No se pueden distinguir tipos de poros.

Otros métodos:

TC de rayos X: prueba no destructiva 3D, precisión $\pm 0,001\%$, adecuada para aplicaciones de alta precisión.

Prueba ultrasónica: detecta poros grandes ($>25\ \mu\text{m}$), se utiliza para productos de gran tamaño.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Factores que afectan la porosidad del carburo cementado

Características del polvo:

de grano: Los granos finos ($0,52\ \mu\text{m}$) promueven la difusión y reducen la porosidad en un 50%; los granos gruesos ($>5\ \mu\text{m}$) son propensos a tener poros residuales.

Homogeneidad: La mezcla desigual del polvo (molienda de bolas inadecuada durante menos de 16 horas) generó poros locales y la porosidad aumentó entre un 0,1 y un 0,2 %.

Aglutinante: Una cantidad excesiva de PEG/parafina (0,52 % en peso) provocó una desparafinación incompleta y un aumento de la porosidad del 0,05 al 0,1 %.

Proceso de prensado:

Presión: El prensado isostático en frío (200-300 MPa) aumenta la densidad de la pieza en bruto (60-70%) y reduce la porosidad en un 0,1-0,2%.

Defectos: El desgaste del molde o una presión desigual provocan grietas en la pieza y la porosidad aumenta entre un 0,2 y un 0,5%.

Proceso de sinterización:

Temperatura: $1350\text{-}1500\ ^\circ\text{C}$ (vacío/HIP), demasiado baja ($<1300\ ^\circ\text{C}$) la porosidad es $>0,1\%$, demasiado alta ($>1550\ ^\circ\text{C}$) los granos crecen y la porosidad aumenta en un 0,05 %.

Tiempo de aislamiento: 24 horas (vacío), 13 horas (HIP), la porosidad disminuye entre 0,01 y 0,02% cuando se extiende durante 1 hora.

Atmósfera: H_2/Ar ($\text{O}_2 < 510\ \text{ppm}$) para evitar la oxidación, porosidad reducida en un 0,02%; vacío ($10^{-4}\text{--}10^{-5}\ \text{Pa}$) para un desparafinado completo, porosidad reducida en un 0,05%.

Presión: HIP (100-150 MPa) elimina los microporos y la porosidad es $<0,001\%$; la sinterización convencional (0,1 MPa) tiene una porosidad de 0,01-0,02%.

Rendimiento del horno de sinterización:

Precisión del control de temperatura: $\pm 35\ ^\circ\text{C}$, uniformidad $\pm 510\ ^\circ\text{C}$, desviación de porosidad $<\pm 0,005\%$.

Grado de vacío: $10^{-5}\ \text{Pa}$, eficiencia de desparafinado $>99,5\%$, carbono residual $<0,05\%$, reducción de la porosidad 0,02 %.

Velocidad de enfriamiento: $520^\circ\text{C}/\text{min}$, estrés térmico controlado, consistencia de porosidad aumentada en un 10%.

4. Relación entre la porosidad y el proceso de sinterización

Sinterización al vacío:

Proceso: desparafinado (200600°C , $10^{-2}\ \text{Pa}$) $\rightarrow$ sinterización ($1350\text{--}1450\ ^\circ\text{C}$, $10^{-4}\text{--}10^{-5}\ \text{Pa}$) $\rightarrow$ enfriamiento ($1015^\circ\text{C}/\text{min}$).

Porosidad: $<0,01\%$ (A02B00), densidad YG8 $14,514,65\ \text{g}/\text{cm}^3$.

Aplicación: Brocas de minería, moldes, porosidad media.

Prensado isostático en caliente (HIP):

Proceso: sinterización ($1350\text{--}1450^\circ\text{C}$, 100-150 MPa, Ar) $\rightarrow$ postratamiento ($1300\text{--}1350^\circ\text{C}$, 80-100 MPa) $\rightarrow$ enfriamiento ($1520^\circ\text{C}/\text{min}$).

Porosidad: $<0,001\%$ (A00B00), densidad YG6X $14,814,9\ \text{g}/\text{cm}^3$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación: cuchillos de aviación, sellos de aguas profundas, alto rendimiento.

Sinterización atmosférica:

Proceso: desparafinado (200-500°C, H₂ 2050 L/min) → sinterización (1300-1400°C, H₂/ Ar) → enfriamiento (510°C/min).

Porosidad: <0,02% (A04B02), densidad YN10 14,414,5 g/cm³.

Aplicación: Sellos químicos, púas, bajo costo.

5. Datos de rendimiento de porosidad

Tipo de sinterización	Marca	Porosidad (%)	Grado GB/T 5169	Densidad (g/cm ³)	Dureza (HV)	Fuerza (GPa)	Aplicaciones típicas
Sinterización al vacío	YG8	<0,01	A02B00C00	14.514.65	14001800	1.82.3	brocas para minería
Sinterización HIP	YG6X	<0,001	A00B00C00	14.814.9	18002200	2.22.8	herramientas de aviación
Sinterización atmosférica	YN10	<0,02	A04B02C00	14.414.5	14001600	1.82.2	Sellos químicos

Ejemplos:

Sinterización al vacío: broca YG8 (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10⁻⁴ Pa, 12 horas, porosidad <0,01%, densidad 14,6 g/cm³, dureza 1400 HV.

Sinterización HIP: herramienta YG6X (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 horas, porosidad <0,001%, densidad 14,9 g/cm³, resistencia 2,3 GPa.

Sinterización en atmósfera: junta YN10 (Ø 50 mm), 1350°C, H₂ 30 L/min, 12 horas, porosidad <0,02%, densidad 14,5 g/cm³, excelente resistencia a la corrosión.

6. Recomendaciones para optimizar la porosidad

Optimización del polvo:

Seleccione WC de grano fino (0,51,5 μm) y la porosidad se reducirá en un 50%.

Al extender el tiempo de molienda de bolas (1624 horas) se incrementó la uniformidad en un 10% y se redujo la porosidad en un 0,1%.

Controlar el aglutinante (PEG /parafina <1,5 % en peso) y el carbono residual <0,05 %.

Proceso de prensado:

Aumentando la presión (250300 MPa), la densidad del blank aumentó un 510% y la porosidad disminuyó un 0,1%.

Optimice el molde, reduzca las grietas y reduzca la porosidad en un 0,2%.

Proceso de sinterización:

Temperatura: 14001450°C (YG8/YG6X), la porosidad disminuye en 0,010,02%.

Atmósfera: pureza de H₂ >99,999%, O₂ <5 ppm, porosidad reducida en 0,02%.

HIP: 1350°C, 120 MPa, 2 horas, porosidad <0,001%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización de equipos:

Control de temperatura ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), desviación de porosidad $< \pm 0,005\%$.

Vacío (10^{-5} Pa), desparafinado completo, porosidad reducida al 0,02%.

Utilizando elementos de calentamiento de molibdeno/tungsteno, la contaminación se reduce en un 30% y la porosidad se reduce en un 0,01%.

Posprocesamiento:

Después del tratamiento HIP (1300°C , 100 MPa), la porosidad se redujo a $< 0,001\%$.

El pulido ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) reduce la porosidad de la superficie y aumenta la resistencia a la corrosión en un 20%.

7. Normas

GB/T 51692013: Grado de porosidad A02B00C00 (alto rendimiento), A04B02C00 (general).

GB/T 183762014: Porosidad $< 0,01\%$, uniformidad $> 95\%$.

GB/T 38502015: Medición de densidad, desviación $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

GB/T 38512015: resistencia a la flexión 1,82,8 GPa.

GB/T 7997-2017: Dureza 1400-2200 HV.

8. Conclusión

La porosidad del carburo cementado es el indicador clave de la calidad de la sinterización, que afecta la densidad, la dureza, la resistencia y la durabilidad. Una porosidad baja ($< 0,001\%$) se logra optimizando los procesos de polvo, prensado y sinterización (como HIP a 1350°C y 120 MPa), lo cual es adecuado para herramientas de aviación y sellos para aguas profundas. Una porosidad media ($< 0,02\%$) satisface las necesidades de picos de minería, etc. La sinterización al vacío ($< 0,01\%$), HIP ($< 0,001\%$) y la sinterización atmosférica ($< 0,02\%$) son adecuadas para diferentes escenarios, y el proceso debe seleccionarse según la aplicación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

Resistencia a la corrosión y evaluación del carburo cementado

Carburo cementado (como WC+ Co , El carburo cementado WC+ Ni se utiliza ampliamente en herramientas de minería, herramientas de aviación, sellos para aguas profundas y bombas químicas gracias a su alta dureza (1400-2200 HV), alta resistencia mecánica (1,8-2,8 GPa) y excelente resistencia al desgaste. Sin embargo, en entornos corrosivos (como ácidos, álcalis, soluciones salinas, H₂S, CO₂ y agua de mar), la resistencia a la corrosión del carburo cementado se convierte en un indicador clave de rendimiento, lo que afecta directamente su vida útil y fiabilidad. La resistencia a la corrosión se determina principalmente por la composición del material, la microestructura (como una porosidad <0,01%), el proceso de sinterización y el tratamiento superficial, y debe cumplir con las normas nacionales (como GB/T 183762014 y NACE MR0175).

Combinado con las prácticas de la industria, este artículo presenta en detalle el mecanismo de resistencia a la corrosión, los factores influyentes, los métodos de evaluación y las medidas de optimización del carburo cementado, y recomienda adecuadamente las capacidades de producción de CTIA GROUP LTD en los campos de sellos resistentes a la corrosión de carburo cementado a base de níquel, cuerpos de bombas, etc.

1. Definición de resistencia a la corrosión del carburo cementado

La resistencia a la corrosión del carburo cementado se refiere a la capacidad del material para resistir la erosión química o electroquímica en medios corrosivos (como ácido, álcali, solución salina, H₂S, CO₂, agua de mar), que generalmente se expresa como tasa de corrosión (mm/a), pérdida de masa (mg/cm² · h) o cambio de morfología de la superficie.

Estándares compatibles:

NACE MR0175: Resistente a la corrosión por H₂S/CO₂, adecuado para entornos de petróleo y gas.

ISO 12944: Resistencia a ambientes corrosivos marinos/industriales.

GB/T 183762014: Porosidad <0,01%, lo que garantiza la resistencia a la corrosión.

Mecanismo de corrosión de la resistencia a la corrosión del carburo cementado

Corrosión electroquímica: El carburo cementado se compone de una fase dura (WC, resistente a la corrosión) y una fase de enlace (Co/Ni, fácilmente corrosiva). Forma una microbatería en un electrolito (como agua de mar o una solución ácida). La fase de enlace se corroe preferentemente, provocando el desprendimiento de las partículas de WC.

Por ejemplo: la velocidad de disolución de Co en HCl es >0,1 mm/año, mientras que la de Ni es sólo de 0,01 a 0,05 mm/año.

Corrosión química: Los ácidos fuertes (como H₂SO₄) y las bases fuertes (como NaOH) disuelven directamente la fase de unión y los materiales con alta porosidad (>0,1%) aceleran la corrosión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinergia erosión-corrosión: En fluidos que contienen partículas (como bombas químicas), el desgaste expone nuevas superficies, acelerando la corrosión electroquímica y la tasa de corrosión aumenta entre un 20 y un 50%.

Rendimiento de resistencia a la corrosión:

Excelente: La tasa de corrosión de WC+Ni (Ni 815%) en H₂S (>1000 ppm), agua de mar (pH 39) y H₂SO₄ (50%) es <0,01 mm/a.

Medio: La tasa de corrosión de WC+Co (Co 612%) en HCl (30%) es de 0,050,1 mm/a.

Pobre: Los materiales con porosidad > 0,1% o alto contenido de Co (> 15%) tienen una tasa de corrosión > 0,2 mm/a en ácido fuerte.

2. Factores que afectan la resistencia a la corrosión del carburo cementado

Composición del material:

Fase de unión:

A base de Ni: el Ni (815 %) es más resistente a la corrosión por H₂S, CO₂ y agua de mar que el Co, y la tasa de corrosión se reduce en un 5070 % (NACE MR0175).

A base de Co: Co (612%) es fácilmente soluble en ambientes ácidos (HCl, H₂SO₄) y la velocidad de corrosión aumenta 25 veces.

aditivo:

Cr₃C₂ (0,52 % en peso): forma una película de óxido de Cr, aumentando la resistencia a los ácidos entre un 20 y un 30 %.

Mo (0,51 % en peso): mejora la resistencia a la corrosión por picaduras y aumenta la resistencia a la corrosión por Cl⁻ en un 25 %.

Tamaño de grano WC: Los granos finos (0,52 μm) reducen la exposición de la fase de unión y aumentan la resistencia a la corrosión en un 1015%; los granos gruesos (>5 μm) aumentan la trayectoria de corrosión.

Microestructura:

Porosidad (GB/T 5169-2013):

Baja porosidad (<0,001%, sinterización HIP): reduce la penetración de medios corrosivos y aumenta la resistencia a la corrosión en un 3050%.

Alta porosidad (>0,1%, sinterización atmosférica): la porosidad acelera la corrosión electroquímica, aumentando la tasa de corrosión 23 veces.

Límite de grano: El límite de grano uniforme (molienda de bolas durante 1624 horas) reduce la corrosión local y aumenta la resistencia a la corrosión en un 10%.

Carbono residual: Carbono residual <0,05% (desparafinado completo), lo que evita que el carburo se disuelva y aumenta la resistencia a la corrosión en un 510%.

Proceso de sinterización:

Sinterización al vacío (1350-1450 °C, 10⁻⁴ 10⁻⁵ Pa): porosidad <0,01 %, distribución uniforme de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la fase adhesiva, resistencia media a la corrosión.

Sinterización HIP (1350-1450 °C, 100-150 MPa): porosidad <0,001 %, densidad >99,9 %, excelente resistencia a la corrosión.

Sinterización en atmósfera (1300-1400 °C, H₂/ Ar , O₂ < 5 ppm): porosidad < 0,02 %, adecuada para aleaciones a base de Ni, con resistencia a la corrosión ligeramente inferior.

Desparafinado: vacío + H₂ (10⁻² Pa, 515 L/min), carbono residual <0,05%, resistencia a la corrosión aumentada en un 10%.

Tratamiento de superficie:

Pulido (Ra <0,2 µm) : Reduce los defectos superficiales y aumenta la resistencia a la corrosión en un 1520% .

revestimiento:

Galvanoplastia de Ni/Cr: la resistencia a los ácidos aumentó en un 20% y la resistencia a la corrosión por Cl⁻ aumentó en un 30%.

Recubrimiento de PTFE/DLC: Coeficiente de fricción reducido en un 20%, resistencia a la erosión y corrosión aumentada en un 3050%.

Pasivación: Se forma una película de óxido que aumenta la resistencia a la corrosión por picaduras en un 25%.

Entorno de uso:

Medio: H₂SO₄ (50%) tasa de corrosión <0,01 mm/a (a base de Ni); HCl (30%) tasa de corrosión 0,050,1 mm/a (a base de Co).

Temperatura: 50300°C, la tasa de corrosión aumenta un 1020% por cada 50°C de aumento de temperatura.

Erosión por fluidos: Los fluidos que contienen partículas (sólidos <20%) aceleran la corrosión, aumentando la tasa entre un 20 y un 50%.

3. Método de evaluación de la resistencia a la corrosión del carburo cementado.

Pruebas de laboratorio:

Prueba de inmersión (ASTM G31):

Procedimiento: La muestra se sumerge en un medio corrosivo (como H₂SO₄, HCl, NaCl) a una temperatura constante (2580°C) durante un período de 24720 horas.

Indicadores: pérdida de masa (mg/cm² · h) , velocidad de corrosión (mm/a).

Ejemplo: La tasa de corrosión de WC+10%Ni en 50% H₂SO₄ (80°C) es <0,01 mm/año.

Prueba electroquímica (ASTM G59/G61):

Procedimiento: Utilice una estación de trabajo electroquímica para medir el potencial de circuito abierto (OCP), la curva de polarización, el potencial de corrosión (E_{corr}) y la densidad de corriente (I_{corr}).

Índice: I_{corr} <1 µA /cm² indica una excelente resistencia a la corrosión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ejemplo: WC+Ni en 3,5% NaCl, $I_{corr} \approx 0,5 \mu A / cm^2$, mejor que WC+Co ($2 \mu A / cm^2$).

Prueba de niebla salina (ASTM B117):

Procedimiento: Las muestras se expusieron a atomización de NaCl al 5% (35 °C) durante 961 000 horas.

Indicadores: número de puntos de corrosión superficial, tasa de pérdida de peso.

Ejemplo: WC+Ni+Cr3C2 no tiene puntos de corrosión evidentes después de 1000 horas.

Prueba de campo:

Exposición ambiental: Los componentes de carburo (como sellos y cuerpos de bombas) se colocan en condiciones de trabajo reales (como aguas profundas y plantas químicas) y funcionan durante 6 a 12 meses.

Indicadores: morfología de la superficie (observación SEM), cambio dimensional ($\pm 0,01$ mm), degradación del rendimiento (como disminución de la dureza $< 5\%$).

Ejemplo: Sellos WC+Ni operados en agua de mar (pH 8, 15 000 psi) durante 12 meses con una profundidad de corrosión $< 0,005$ mm.

Análisis microscópico:

SEM/EDS: observe la morfología de la corrosión y la distribución de elementos y determine si la fase de unión está disuelta o si el WC se está desprendiendo.

XPS: Analizar la película de óxido de la superficie y evaluar el mecanismo de resistencia a la corrosión.

Ejemplo: WC+Ni forma una película protectora de NiS en H2S y la resistencia a la corrosión aumenta en un 20%.

Evaluación estándar:

cm² en ambiente de H2S (> 1000 ppm).

GB/T 183762014: Porosidad $< 0,01\%$, sin poros tipo B/C (A02B00C00).

ISO 12944: C5M Tasa de corrosión en ambiente marino $< 0,01$ mm/a.

4. Datos de rendimiento de resistencia a la corrosión

Marca	Fase de unión	ambiente	Tasa de corrosión (mm/a)	I_{corr} ($\mu A / cm^2$)	Porosidad (%)	Aplicaciones típicas
YG8	Co (8%)	HCl (30%)	0.050.1	25	$< 0,01$	brocas para minería
YG6X	Co (6 %) + Cr3C2	H2SO4 (50%)	0.020.05	12	$< 0,001$	herramientas de aviación
YN10	Ni (10%)	Agua de mar (pH 8)	$< 0,01$	0,51	$< 0,01$	Focas de aguas profundas
YN12+Mo	Ni (12 %) + Mo	H2S (1000 ppm)	$< 0,005$	0.30.5	$< 0,001$	Cuerpo de bomba química

Ejemplos:

YG8 (sinterizado al vacío): broca para minería, remojo en HCl (30 %, 80 °C) durante 720 horas,

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

tasa de corrosión 0,08 mm/año, porosidad <0,01 %, caída de dureza <5 %.

YG6X (sinterización HIP): herramientas de aviación, prueba de H₂SO₄ (50 %, 60 °C), tasa de corrosión 0,03 mm/año, I_{corr} 1,5 µA / cm², porosidad <0,001 %.

YN10 (sinterización HIP): sellos para aguas profundas, agua de mar (15 000 psi, 12 meses) , profundidad de corrosión <0,005 mm, porosidad <0,001 %, excelente resistencia a la corrosión.

YN12+Mo (sinterización HIP): Cuerpo de bomba química, H₂S (1000 ppm, 200 °C), tasa de corrosión <0,005 mm/a, sin picaduras en la superficie.

5. Sugerencias para optimizar la resistencia a la corrosión

Material:

Fase de unión: se prefiere Ni (1015%) y la resistencia a la corrosión H₂S/agua de mar aumenta en un 5070%.

Aditivos: Cr₃C₂ (0,52 % en peso) + Mo (0,51 % en peso), resistencia al ácido aumentada en un 2030 %.

Tamaño de grano WC: grano fino (0,51,5 µm) , reduce la exposición de la fase de unión y aumenta la resistencia a la corrosión en un 15%.

Proceso de sinterización:

Sinterización HIP: 1350°C, 120 MPa, 2 horas, porosidad <0,001%, resistencia a la corrosión aumentada en un 30%.

Desparafinado: vacío (10⁻² Pa) + H₂ (10 L/min), carbono residual <0,05%, resistencia a la corrosión aumentada en un 10%.

Atmósfera: Pureza de H₂ >99,999%, O₂ <5 ppm, previene la oxidación, aumenta la resistencia a la corrosión en un 10%.

Tratamiento de superficie:

Pulido (Ra <0,2 µm) : Reduce el punto de inicio de la corrosión y aumenta la resistencia a la corrosión en un 1520%.

Recubrimiento: galvanoplastia de Ni/Cr o PTFE/DLC, resistencia a la erosión y a la corrosión aumentada en un 3050%.

Pasivación: La formación de una película de óxido de Cr/Ni aumenta la resistencia a la corrosión por picaduras en un 25%.

Optimización de equipos:

Control de temperatura: ±3°C, uniformidad ±5°C, desviación de porosidad <±0,005%, resistencia a la corrosión aumentada en un 5%.

Grado de vacío: 10⁻⁵ Pa, desparafinado completo, resistencia a la corrosión aumentada en un 10%.

Componentes de molibdeno/tungsteno: la contaminación se reduce en un 30% y la resistencia a la corrosión aumenta en un 5%.

Adaptación ambiental:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ambiente ácido: elija YN10+Cr3C2, que es resistente a la corrosión por H2SO4/HCl.
Océano/Petróleo y gas: utilice YN12+Mo, resistente a H2S/CO2/agua de mar.
Fluidos que contienen partículas: recubrimiento DLC, resistencia a la erosión y corrosión aumentada en un 30%.

6. Normas

GB/T 183762014: Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.
GB/T 51692013: Grado de porosidad A02B00C00 (alto rendimiento), A04B02C00 (general).
GB/T 38502015: Desviación de densidad $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.
GB/T 38512015: resistencia a la flexión 1,82,8 GPa.
GB/T 7997- 2017: Dureza 1400-2200 HV.
NACE MR0175: Pérdida de masa en ambiente H2S/CO2 <0,1 mg/cm².
ISO 12944: Tasa de corrosión en entorno C5M < 0,01 mm/a.
ASTM G31/G59: Tasa de corrosión <0,01 mm/a, Icorr <1 $\mu\text{A} / \text{cm}^2$.

7. Conclusión

La resistencia a la corrosión del carburo cementado está determinada por la fase de unión (el Ni es mejor que el Co), la porosidad (<0,001 % es la mejor), el proceso de sinterización (el HIP es mejor que el vacío/atmósfera) y el tratamiento de la superficie. El carburo cementado a base de Ni (YN10/YN12) tiene un buen rendimiento en agua de mar, H2S y entornos ácidos, con una tasa de corrosión de <0,01 mm/año, adecuado para sellos de aguas profundas y cuerpos de bombas químicas; las aleaciones a base de Co (YG8/YG6X) son adecuadas para entornos moderadamente corrosivos. Los métodos de evaluación incluyen pruebas de inmersión (ASTM G31), pruebas electroquímicas (ASTM G59) y exposición en campo, que deben evaluarse exhaustivamente en combinación con normas (como NACE MR0175). La optimización de los procesos (como el HIP 1350 °C, 120 MPa) y los recubrimientos de superficie (PTFE/DLC) puede mejorar significativamente la resistencia a la corrosión.

8. Recomendación especial

CTIA GROUP LTD utiliza sinterización HIP y tecnología de recubrimiento avanzado en la producción de sellos, cuerpos de bombas y válvulas resistentes a la corrosión de carburo cementado a base de níquel para brindar soluciones de alta resistencia a la corrosión para satisfacer las necesidades de entornos hostiles como las profundidades marinas y las industrias químicas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

Carburo cementado sinterizado y pulido

Carburo cementado (como WC+ Co , El carburo cementado WC+ Ni se utiliza ampliamente en herramientas de minería , herramientas de aviación, sellos para aguas profundas y cuerpos de bombas químicas gracias a su alta dureza (1400-2200 HV), alta resistencia mecánica (1,8-2,8 GPa) y excelente resistencia al desgaste. El rendimiento del carburo cementado depende no solo del estado sinterizado formado durante el proceso de sinterización, sino también del pulido posterior. El estado sinterizado determina las propiedades intrínsecas del material (como la densidad, la porosidad y la microestructura), mientras que el pulido optimiza la calidad superficial (como la rugosidad $Ra < 0,2 \mu m$) , mejorando la resistencia a la corrosión, al desgaste y el sellado.

Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 51692013) y prácticas de la industria para presentar en detalle el proceso, el impacto en el rendimiento y las medidas de optimización del tratamiento de sinterización y pulido de carburo cementado, y recomienda adecuadamente las capacidades de producción de CTIA GROUP LTD en los campos de sellos de carburo cementado a base de níquel, cuerpos de bombas, etc.

1. carburo cementado sinterizado

2.

El estado sinterizado se refiere al estado del carburo cementado tras la sinterización a alta temperatura (1350-1500 °C) sin procesamiento mecánico posterior. Presenta una microestructura y propiedades específicas, y es apto para uso directo o para procesamiento posterior (como el pulido).

1.1 Proceso y parámetros de sinterización

Sinterización al vacío :

Aplicación : Producción de picos de minería, moldes , juntas (por ejemplo Ø 5150 mm).

Proceso :

Desparafinado: 200600 °C, velocidad de calentamiento 25 °C/min, grado de vacío 10^{-2} Pa, caudal de H₂ 515 L/min, 24 horas, tasa de desparafinado > 99,5 %.

Sinterización : 1350-1450 °C, velocidad de calentamiento 510 °C/min, grado de vacío 10^{-4} 10^{-5} Pa, mantener caliente durante 24 horas.

Enfriamiento : 1015°C/min (enfriamiento forzado Ar), hasta 100°C.

Propiedades : densidad 14,514,9 g/ cm³, porosidad <0,01% (A02B00C00, GB/T 5169-2013), dureza 14001800 HV, rugosidad superficial $Ra 1,63,2 \mu m$.

Prensado isostático en caliente (HIP) :

Aplicación : herramientas de aviación, sellos de aguas profundas, cuerpos de bombas químicas (por ejemplo, Ø 100-500 mm).

Proceso :

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

Sinterización : 1350-1450 °C, velocidad de calentamiento 58 °C/min, presión 100-150 MPa (Ar), mantener caliente durante 13 horas.

Post- tratamiento : 1300-1350°C, 80-100 MPa, 12 horas, porosidad reducida a <0,001%.

Enfriamiento : 1520°C/min (Ar alta presión) a 200°C.

Propiedades : densidad>99,9% (14,815,0 g/cm³) , porosidad<0,001% (A00B00C00), dureza 18002200 HV, rugosidad superficial Ra 0,81,6 µm .

Sinterización atmosférica :

Aplicación : grandes cantidades de púas, sellos (como anillos de sello mecánico).

Proceso :

Desparafinado : 200500°C, velocidad de calentamiento 35°C/min, flujo de H₂ 2050 L/min, O₂ <10 ppm, 35 horas.

Sinterización : 1300-1400 °C, velocidad de calentamiento 510 °C/min, atmósfera de H₂/ Ar , mantener caliente durante 35 horas.

Refrigeración : 510°C/min (protección N₂), hasta 100°C.

Propiedades : densidad 14,414,8 g/ cm³, porosidad <0,02% (A04B02C00), dureza 14001600 HV, rugosidad superficial Ra 2,04,0 µm .

1.2 Propiedades sinterizadas

Microestructura :

Granos WC : granos finos (0,52 µm , HIP) o granos medio - gruesos (25 µm , sinterización atmosférica), límites de grano uniformes (molienda de bolas durante 1624 horas).

Fase de unión : Co/Ni (615%), distribuido uniformemente, la resistencia a la corrosión a base de Ni es mejor que la del Co (NACE MR0175).

Porosidad : HIP <0,001%, vacío <0,01%, atmósfera <0,02%, la porosidad baja aumenta la resistencia en un 1020%.

actuación :

Densidad : 14,415,0 g/cm³ (GB /T 38502015), desviación ±0,05 g/cm³ .

Dureza : 14002200 HV (GB/T 79972017), desviación ±3050 HV.

Resistencia : resistencia a la flexión 1,8-2,8 GPa (GB/T 38512015).

Resistencia a la corrosión : La tasa de corrosión del material a base de Ni (YN10) en agua de mar/H₂S es <0,01 mm/año; la tasa de corrosión del material a base de Co (YG8) en HCl es de 0,05 a 0,1 mm/año.

Superficie : La superficie sinterizada es rugosa (Ra 0,84,0 µm) , con microporos/marcas de sinterización y resistencia media al desgaste.

Limitaciones :

Una rugosidad superficial elevada (Ra > 0,8 µm) puede provocar fácilmente concentración de tensiones y reducir la resistencia a la corrosión en un 1020%.

Los microporos (>0,001 %) pueden acelerar la corrosión y afectar el rendimiento del sellado (tasa de fuga >10⁻⁶ mbar·L /s).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3 Aplicación sinterizada

Uso directo : picos de minería, moldes, requisitos de baja rugosidad superficial (Ra 1,64,0 μm) .

Necesitan pulirse : sellos de aguas profundas, cuerpos de bombas químicas, anillos de sello mecánico, $Ra < 0,2 \mu m$, La resistencia a la corrosión aumentó en un 1520%.

2. Pulido de carburo

El pulido es el procesamiento mecánico (como el rectificado y el pulido) del carburo cementado sinterizado para reducir la rugosidad superficial ($Ra < 0,2 \mu m$) , eliminar defectos superficiales y mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste. Es especialmente adecuado para sellos, herramientas y cuerpos de bombas de alta precisión.

2.1 Proceso de pulido y parámetros

molienda gruesa :

Herramientas : Muela de diamante (tamaño de grano 100-200 μm , aglomerante de resina/vitrificado).

parámetro :

Velocidad de rotación: 1000-2000 rpm.

Velocidad de avance: 0,01-0,05 mm/pasada.

Refrigerante: emulsión a base de agua, caudal 510 L/min.

Efecto : Las marcas de la superficie sinterizada (Ra 4,0 0,8 μm) se eliminan y la rugosidad se reduce a Ra 0,4 0,8 μm .

Tiempo : 510 minutos por centímetro cuadrado.

molienda fina :

Herramientas : Muela de diamante (tamaño de grano 2050 μm , aglomerante metálico).

parámetro :

Velocidad de rotación: 1500-3000 rpm.

Velocidad de avance: 0,005-0,01 mm/pasada.

Refrigerante: A base de aceite o agua, caudal 815 L/min.

Efecto : La rugosidad se reduce a Ra 0,20,4 μm y la planitud de la superficie es $< 0,005$ mm.

Tiempo : 1015 minutos por centímetro cuadrado.

pulido :

Herramientas : Pasta de pulido de diamante (tamaño de partícula 15 μm) + disco de pulido de fieltro/poliuretano.

parámetro :

Velocidad de rotación: 500-1000 rpm.

Presión: 0,10,5 MPa.

Líquido de pulido: base agua o alcohol, caudal 25 L/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Efecto : la rugosidad se reduce a $Ra < 0,2 \mu m$ (superficie de espejo), la superficie no presenta rayones y la planitud es $< 0,002 mm$.

Tiempo : 1530 minutos por centímetro cuadrado.

Pulido de ultraprecisión (opcional) :

Herramientas : Suspensión de diamante a escala nanométrica (tamaño de partícula $0,10,5 \mu m$) + almohadilla de pulido suave.

parámetro :

Velocidad de rotación: 200500 rpm.

Presión: 0.050.2 MPa.

Líquido de pulido: agua desionizada, caudal 13 L/min.

Efecto : Rugosidad $Ra < 0,05 \mu m$, adecuada para sellos de alta precisión (como tasa de fuga $< 10^{-6} mbar \cdot L/s$).

Tiempo : 3060 minutos por centímetro cuadrado.

2.2 Características del pulido

Calidad de la superficie :

Rugosidad : $Ra 0,050,2 \mu m$ (después del pulido), en comparación con el estado sinterizado ($Ra 0,84,0 \mu m$), se reduce en un 80-95%.

Planitud : $< 0,002 mm$, adecuado para superficies de sellado de alta precisión.

Defectos : Eliminar microporos/grietas sinterizadas y reducir la concentración de tensión superficial en un 50%.

Mejoras de rendimiento :

Resistencia a la corrosión : Reduce los puntos de inicio de la corrosión (como los microporos) y reduce la tasa de corrosión en un 15-20 % en agua de mar/ H_2SO_4 (ASTM G31).

Resistencia al desgaste : Coeficiente de fricción reducido en un 20-30% (aumentado en un 50% después del recubrimiento de PTFE/DLC), pérdida por desgaste $< 0,05 mm^3/h$ (ASTM G65).

Rendimiento de sellado : tasa de fuga $< 10^{-6} mbar \cdot L/s$ (prueba de helio, 15 000 psi), vida útil del sello dinámico aumentada en un 3050 %.

Vida útil por fatiga : la tensión superficial es uniforme y la resistencia a la fractura por fatiga aumenta entre un 20 y un 30 %.

Limitaciones :

Alto costo: el pulido cuesta 520 yuanes por centímetro cuadrado y el pulido de ultraprecisión cuesta 2050 yuanes.

Dificultad de procesamiento: El carburo cementado tiene una alta dureza ($> 1400 HV$), requiere herramientas de diamante y tiene una baja eficiencia de procesamiento ($0,10,5 mm^3/min$).

Influencia térmica: Un pulido excesivo puede provocar microfisuras y reducir la resistencia a la corrosión entre un 5 y un 10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 Aplicación de pulido

Focas de aguas profundas

Junta tórica (Ø 5200 mm), Ra <0,2 µm , resistente a H₂S/agua de mar, vida útil >1000 conexiones.

Cuerpo de bomba química

de sello mecánico (Ø 10150 mm), Ra <0,1 µm , resistente a H₂SO₄ (50%), vida útil >5000 horas.

herramientas de aviación

Filo de corte (Ra <0,05 µm) , resistencia al desgaste aumentada en un 30%, vida útil de corte aumentada en un 20%.

3. Comparación entre sinterizado y pulido

característica	Sinterizado	Pulido
Rugosidad superficial (Ra)	0,84,0 micras	<0,050,2 µm
Porosidad	<0,001%0,02% (HIP/atmósfera)	Sin cambios, microporos superficiales reducidos
Resistencia a la corrosión	Medio (agua de mar <0,01 mm/año, a base de Ni)	Aumentó en un 1520% (la tasa de corrosión disminuyó)
Resistencia al desgaste	Tasa de desgaste 0,10,2 mm ³ /h	Aumento del 2050% (pérdida por desgaste <0,05 mm ³ /h)
Rendimiento de sellado	Tasa de fuga > 10 ⁻⁶ mbar·L /s	<10 ⁻⁶ mbar·L /s
costo	Bajo (sinterización 0,52 kWh/kg)	Alto (pulido 550 yuanes/cm ²)
solicitud	Selecciones, matrices	Sellos, cuerpos de bombas, herramientas de corte

Ejemplos :

Estado sinterizado : pico YG8 (Ø 20 × 330 mm), sinterizado al vacío (1450 °C, 10⁻⁴ Pa), Ra 2,0 µm , porosidad <0,01 %, índice de resistencia a la corrosión HCl (30 %) 0,08 mm/y, adecuado para minería.

Tratamiento de pulido : Junta YN10 (Ø 50 mm), sinterización HIP (1400 °C, 120 MPa) + pulido (Ra <0,1 µm) , porosidad <0,001 %, tasa de corrosión del agua de mar <0,005 mm/y, tasa de fugas <10⁻⁶ mbar·L /s, adecuado para aguas profundas.

4. Sugerencias de optimización para sinterización y pulido

Optimización del estado de sinterización :

Polvo : WC de grano fino (0,5-1,5 µm) , porosidad reducida en un 50%, resistencia a la corrosión aumentada en un 10% .

Prensado : Prensado isostático en frío (250-300 MPa), la densidad de la pieza en bruto aumenta entre un 5 y un 10 % y la contracción por sinterización es uniforme.

sinterización :

HIP (1350°C, 120 MPa, 2 h): porosidad <0,001%, densidad >99,9%.

Vacío (10⁻⁵ Pa, H₂ O₂ <5 ppm): carbono residual <0,05%, resistencia a la corrosión aumentada en un 10%.

Control de temperatura : ±3°C, uniformidad ±5°C, desviación de densidad <±0,05 g/cm³ .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización del proceso de pulido :

Herramientas : Utilice pasta de pulido de diamante de alta concentración (15 μm) para aumentar la eficiencia de pulido en un 20% .

Parámetros : baja presión (0,1-0,5 MPa) + baja velocidad (500-1000 rpm) para evitar microfisuras.

Refrigeración : Líquido de pulido a base de agua (caudal 510 L/min), reducción del impacto térmico en un 30%.

Post- tratamiento : Recubrimiento de PTFE/DLC, coeficiente de fricción reducido en un 20%, resistencia a la erosión y corrosión aumentada en un 3050%.

Mantenimiento de equipos :

Horno de sinterización : Los elementos de calentamiento de molibdeno/tungsteno se mantienen cada 4000 horas, la contaminación se reduce en un 30% y la porosidad se reduce en un 0,01%.

Pulidora : Calibre periódicamente el husillo (desviación $<0,01\text{ mm}$) y la planitud aumentará en un 10%.

Integración de procesos :

Sinterización + pulido : sinterización HIP (porosidad $<0,001\%$) + pulido de ultraprecisión ($R_a <0,05\text{ }\mu\text{m}$), resistencia a la corrosión aumentada en un 20%, rendimiento de sellado aumentado en un 50% .

Inspección de calidad : observación SEM de defectos de superficie, medidor de rugosidad (precisión $\pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) para garantizar $R_a <0,2\text{ }\mu\text{m}$.

5. Normas

GB/T 183762014 : Porosidad $<0,01\%$, uniformidad $>95\%$.

GB/T 51692013 : Grado de porosidad A02B00C00 (vacío), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015 : Desviación de densidad $\leq \pm 0,1\text{ g/cm}^3$.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión 1,82,8 GPa .

GB/T 7997- 2017 : Dureza 1400-2200 HV.

NACE MR 0175 : Resistente a $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$, tasa de corrosión $<0,01\text{ mm/a}$.

ISO 4287 : Rugosidad superficial $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m}$ (pulida).

6. Conclusión

El carburo cementado sinterizado forma una microestructura con alta densidad ($>99\%$) y baja porosidad ($<0,001\%$) mediante sinterización al vacío, HIP o atmosférica, sentando las bases para la resistencia al desgaste y la corrosión, y es adecuado para aplicaciones de superficie rugosa como picos de minería. El tratamiento de pulido reduce la rugosidad de la superficie a $R_a <0,2\text{ }\mu\text{m}$, mejorando significativamente la resistencia a la corrosión (aumento del 15-20%), la resistencia al desgaste (aumento del 20-50%) y el rendimiento de sellado (tasa de fuga $<10^{-6}\text{ mbar}\cdot\text{L/s}$), adecuado para sellos de aguas profundas, cuerpos de bombas químicas y herramientas de aviación. Optimizar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el proceso de sinterización (como HIP 1350 °C, 120 MPa) y los parámetros de pulido (como el pulido a baja presión) puede mejorar aún más el rendimiento.

Recomendación : CTIA GROUP LTD adopta tecnología de sinterización HIP y pulido de ultraprecisión ($R_a < 0,1 \mu m$) en la producción de sellos de carburo cementado a base de níquel, cuerpos de bombas y válvulas para garantizar una excelente resistencia a la corrosión y un rendimiento de sellado para cumplir con los requisitos de entornos hostiles como las profundidades marinas y la industria química.

apéndice:

Similitudes y diferencias entre CIP y HIP en el prensado y sinterización de carburo cementado

1. Antecedentes de la fabricación de carburo cementado

El carburo cementado (WC-Co) se basa en carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) como fase aglutinante. Presenta una alta dureza (HV1000–1800), alta resistencia al desgaste y un excelente rendimiento a altas temperaturas. Se utiliza ampliamente en herramientas de corte, picos de minería y componentes militares (como balas perforantes). Su proceso de fabricación incluye la preparación del polvo, el prensado, la sinterización y el posprocesamiento, siendo el prensado y la sinterización los pasos clave para determinar la densidad, la microestructura y el rendimiento del material. El prensado isostático en frío (CIP) y el prensado isostático en caliente (HIP) son tecnologías de prensado isostático comúnmente utilizadas en la fabricación de carburo cementado. Estas tecnologías eliminan los defectos internos mediante una presión uniforme y mejoran la densidad y las propiedades mecánicas del material. Este artículo analiza en detalle los principios, procesos, ventajas y desventajas del CIP y el HIP, y sus efectos en el rendimiento del carburo cementado.

2. Principios del prensado isostático en frío (CIP) y del prensado isostático en caliente (HIP)

2.1 Prensado isostático en frío (CIP)

El prensado isostático en frío (CIP) es una tecnología de prensado que utiliza un medio líquido (como agua o aceite) para aplicar una presión tridimensional uniforme al polvo o a las preformas a temperatura ambiente o baja (generalmente $<100\text{ }^{\circ}\text{C}$). El CIP transmite la presión a las partículas de polvo a través de un molde flexible (como caucho o poliuretano), lo que promueve la reorganización de las partículas y la densificación inicial para formar un "compacto verde" con cierta resistencia. Su principio fundamental es el principio de Pascal, es decir, cuando un líquido transmite presión en un recipiente cerrado, esta es uniforme en todas las direcciones.

Flujo del proceso de prensado isostático en frío (CIP):

El polvo mezclado WC-Co se carga en un molde flexible y se sella.

Colóquelo en el recipiente de alta presión del equipo CIP e inyecte el medio líquido.

Aplique alta presión (100–400 MPa) y manténgala durante varios minutos.

Después de aliviar la presión, se extrae el cuerpo verde y se prepara para la sinterización posterior.

Objetivo: Formar un cuerpo verde uniforme y denso, reducir los defectos de prensado (como el agrietamiento y la delaminación de la capa) y proporcionar una buena base para la sinterización.

2.2 Prensado isostático en caliente (HIP)

El prensado isostático en caliente (HIP) es un proceso que utiliza un gas inerte (como el argón) para aplicar presión isostática tridimensional a la pieza bruta de carburo cementado sinterizado a alta

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

temperatura (generalmente de 1000 a 2000 °C) y alta presión (de 50 a 200 MPa). El HIP se utiliza habitualmente como paso de posprocesamiento tras la sinterización. Gracias al efecto sinérgico de la alta temperatura y la alta presión, elimina microporos, grietas y tensiones residuales en el interior del material, mejorando aún más la densidad y las propiedades mecánicas.

Flujo del proceso de prensado isostático en caliente (HIP):

La pieza bruta de carburo cementado presinterizada o sinterizada al vacío se coloca en un contenedor cerrado del equipo HIP.

Después de la evacuación, se inyecta un gas inerte (como el argón).

La temperatura se eleva a la temperatura objetivo mientras se aplica alta presión y se mantiene durante varias horas.

Enfriar y liberar la presión, luego sacar el producto terminado.

Objetivo: Optimizar la microestructura, eliminar defectos internos y mejorar la resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste del carburo cementado.

3. Comparación de parámetros de proceso entre CIP y HIP

Los parámetros del proceso CIP y HIP en la fabricación de carburo cementado son significativamente diferentes, lo que afecta sus escenarios de aplicación y efectos:

temperatura:

CIP: Temperatura ambiente o baja temperatura (<100°C), no requiere calentamiento, adecuado para la etapa de prensado.

HIP: La temperatura alta (1200–1450 °C para WC-Co), cercana a la temperatura de sinterización, promueve la difusión atómica y la curación de defectos.

presión:

CIP: 100–400 MPa, una presión más alta garantiza que las partículas de polvo estén compactadas.

HIP: 50–200 MPa, una presión más baja combinada con una temperatura más alta es suficiente para eliminar los microporos.

medio:

CIP: Líquido (agua, aceite), la presión se transmite a través de un molde flexible.

HIP: El gas inerte (argón, nitrógeno) actúa directamente sobre el blank.

Etapas de procesamiento:

CIP: Etapa de moldeo por compresión, actuando sobre piezas en polvo o preformas.

HIP: Etapa de tratamiento post-sinterización, actuando sobre el tocho sinterizado.

Mantener el tiempo:

CIP: Pocos minutos, prensado y moldeo rápido.

CADERA: 1–4 horas, tiempo suficiente para garantizar que se eliminen los defectos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Requisitos de equipo para CIP y HIP

Equipo CIP:

Estructura: recipiente de alta presión, bomba hidráulica, molde flexible (caucho o poliuretano).

Características: No necesita soportar altas temperaturas, el costo del equipo es bajo (alrededor de 1 a 5 millones de RMB), pero requiere un diseño resistente a alta presión.

Mantenimiento: Los medios líquidos deben reemplazarse periódicamente y el molde es propenso al desgaste.

Seguridad: Las operaciones con líquidos a alta presión requieren una estricta prevención de fugas.

Equipo HIP:

Estructura: contenedor de alta temperatura y alta presión, sistema de compresión de gas, horno de calentamiento.

Características: Necesidad de soportar alta temperatura y alta presión, alto costo del equipo (alrededor de RMB 10-30 millones) y tecnología compleja.

Mantenimiento: Los requisitos de pureza del gas son altos y el sistema de sellado necesita revisarse periódicamente.

Seguridad: Se requieren medidas a prueba de explosiones cuando se trabaja con gases a alta temperatura y alta presión.

5. Escenarios de aplicación de CIP y HIP

Solicitud CIP:

Moldeo por prensado: se utiliza para la preparación en verde de herramientas de carburo cementado (como fresas, brocas), picas y piezas con formas complejas (como boquillas).

Ventajas: adecuado para producción en masa, moldeo uniforme, adecuado para formas geométricas complejas.

Limitaciones: Solo proporciona densificación inicial y se requiere sinterización posterior para aumentar aún más la densidad.

Aplicaciones HIP:

Tratamiento post-sinterización: se utiliza para la eliminación de defectos y la optimización del rendimiento de carburos cementados de alto rendimiento (como álabes de motores de aeronaves y herramientas de precisión).

Ventajas: Mejora significativamente la densidad (cerca del 100% de la densidad teórica), mejora la resistencia y la tenacidad.

Limitaciones: Alto costo, adecuado para productos de alto valor agregado, no adecuado para piezas de gama baja.

6. Ventajas y desventajas del CIP y el HIP

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Ventajas y desventajas del CIP

ventaja:

La presión uniforme lo hace adecuado para el moldeo de formas complejas y reduce el agrietamiento de la capa y los defectos de delaminación.

Los costos de equipamiento y operación son bajos, lo que lo hace adecuado para la producción a gran escala.

El funcionamiento es sencillo y el tiempo del proceso es corto (unos minutos).

defecto:

Sólo se proporciona una densificación inicial y la densidad verde es baja (60-70% de la densidad teórica).

Es imposible eliminar los poros microscópicos y requiere una sinterización posterior.

Los altos requisitos de fluidez del polvo y la distribución desigual de partículas pueden generar una densidad inconsistente.

6.2 Ventajas y desventajas de HIP

ventaja:

El efecto sinérgico de la alta temperatura y la alta presión eleva la densidad a casi el 100%, mejorando significativamente la dureza (+5–10%), la resistencia (+10–20%) y la tenacidad.

Elimina microporos y grietas, mejora la microestructura y extiende la vida útil de los componentes (+20–50%).

Adecuado para carburo cementado de alto rendimiento y cumple con los estrictos requisitos de la aviación, la industria militar, etc.

defecto:

Los costos de equipo y operación son altos y el tiempo del proceso es largo (varias horas).

La calidad inicial del blank es alta y los defectos de presinterización pueden afectar el efecto HIP.

Alto consumo energético y gran impacto ambiental (consumo de gas, consumo energético en calefacción).

7. Efectos del CIP y el HIP en las propiedades del carburo cementado

Impacto del CIP:

Densidad: La densidad del cuerpo verde CIP alcanza el 60-70% de la densidad teórica, con alta uniformidad, lo que proporciona una buena base para la sinterización posterior.

Microestructura: Reduce los defectos de prensado (por ejemplo, poros, grietas), pero no puede optimizar el tamaño del grano ni la distribución de la fase aglutinante.

Rendimiento: afecta indirectamente el rendimiento final, principalmente al mejorar la calidad del cuerpo verde y reducir la contracción por sinterización desigual (<2%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Impacto del HIP:

Densidad: Después del HIP, la densidad del carburo cementado es cercana al 100% de la densidad teórica y la porosidad se reduce a <0,1%.

Microestructura: Granos refinados (tamaño de partícula WC 0,5–1 μm), distribución de fase de cobalto optimizada y tensión residual reducida.

Rendimiento: La dureza aumentó entre un 5 y un 10 % (HV1600–1800), la resistencia a la flexión aumentó entre un 10 y un 20 % (2000–2500 MPa), la resistencia al desgaste y la vida útil por fatiga se extendieron significativamente.

8. Sinergia entre CIP y HIP en la fabricación de carburo cementado

En la fabricación de carburo cementado, CIP y HIP se suelen utilizar en combinación para formar una ruta de proceso de "prensado CIP + sinterización al vacío + postratamiento HIP":

CIP: Garantizar una densidad uniforme de los cuerpos verdes durante la etapa de prensado, reduciendo contracciones y defectos durante la sinterización.

Sinterización al vacío: mediante sinterización en fase líquida a alta temperatura (1350–1450 °C), la pieza en bruto alcanza entre el 90 y el 95 % de la densidad teórica.

HIP: Como postratamiento, elimina aún más los microporos y grietas, optimiza la microestructura y cumple con los requisitos de alto rendimiento. Este proceso sinérgico mejora significativamente la calidad del carburo cementado. Por ejemplo, la resistencia a la fatiga de las piezas de WC-Co utilizadas en álabes de turbinas de aviación se mejora en un 30 % y la vida útil se extiende en un 50 % tras el proceso CIP+HIP.

9. Tabla resumen: Similitudes y diferencias entre CIP y HIP

La siguiente tabla resume las similitudes y diferencias entre CIP y HIP en la fabricación de carburo cementado:

proyecto	Prensado isostático en frío (CIP)	Prensado isostático en caliente (HIP)
principio	El medio líquido a temperatura ambiente transmite una presión tridimensional uniforme	a alta temperatura y alta presión ejerce una presión tridimensional.
temperatura	Temperatura ambiente o baja temperatura (<100°C)	Alta temperatura (1200–1450 °C)
presión	100–400 MPa	50–200 MPa
medio	Líquido (agua, aceite)	Gas inerte (argón)
Etapas de procesamiento	Moldeo a presión (verde)	Tratamiento post-sinterización (producto terminado)
Costo del equipo	Más bajo (entre 1 y 5 millones de RMB)	Más alto (entre 10 y 30 millones de RMB)
Tiempo de proceso	Unos minutos	1–4 horas
Escenarios de aplicación	Cortadores, picos, formas complejas	Piezas de alto rendimiento para aviación y uso militar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ventaja	Moldeo uniforme, bajo costo, adecuado para grandes cantidades.	Alta densidad, excelente rendimiento, pocos defectos.
defecto	Densidad limitada, requiere sinterización posterior.	Alto costo y alto consumo de energía
Impacto en el rendimiento	Mejora la calidad del cuerpo verde y mejora indirectamente el rendimiento.	Mejora significativamente la densidad, dureza, resistencia y tenacidad.
Productos típicos	Fresas, brocas, boquillas	Álabes de turbina, herramientas de precisión

ilustrar:

Principio: El CIP se basa en el principio de Pascal y el HIP combina la difusión atómica a alta temperatura.

Parámetros del proceso: temperatura, presión y medio determinan la etapa de aplicación.

Equipo y costo: refleja la complejidad técnica y la viabilidad económica.

Impacto en el rendimiento: el CIP optimiza las piezas verdes, mientras que el HIP mejora la calidad del producto terminado.

Fuente de datos: Basado en los estándares de fabricación de carburo cementado y el informe USGS 2024 ? web:9,23 ? .

10. Conclusión

El prensado isostático en frío (CIP) y el prensado isostático en caliente (HIP) son tecnologías complementarias de prensado isostático en la fabricación de carburo cementado, desempeñando un papel clave en las etapas de prensado y posprocesamiento de sinterización, respectivamente. El CIP forma un cuerpo verde uniforme mediante un medio líquido a alta presión y temperatura ambiente, de bajo costo y alta eficiencia, adecuado para la producción en masa de piezas con formas complejas. Sin embargo, la densidad es limitada y requiere una optimización posterior de la sinterización. El HIP utiliza gas a alta temperatura y alta presión para eliminar microporos y grietas, lo que mejora significativamente la densidad, dureza y tenacidad del carburo cementado. Es adecuado para aplicaciones militares y de aviación de alto rendimiento, pero su costo es elevado y el proceso complejo. En la producción real, el CIP se utiliza en combinación con el HIP. Mediante el proceso de "prensado CIP + sinterización al vacío + posprocesamiento HIP", se puede maximizar el rendimiento del carburo cementado para cumplir con los estrictos requisitos de herramientas de corte, picos de minería y piezas de precisión. En el futuro, con el desarrollo del carburo nanocementado y la tecnología de fabricación ecológica, la optimización del proceso CIP y HIP (como la reducción del consumo de energía HIP y la mejora de la durabilidad del molde CIP) promoverá aún más el progreso de la industria del carburo cementado.

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

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com