

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

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

Procesamiento personalizado de boquillas de carburo

Las boquillas de carburo se caracterizan por su resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, además de una larga vida útil. Se utilizan ampliamente en el arenado, la pulverización, el corte por chorro de agua, la perforación petrolera, la industria química, la agricultura, el procesamiento de alimentos y otros campos.

Características principales de las boquillas de carburo

Dureza: HRA 8892

Precisión: tolerancia de boquilla ±0,001 mm, rugosidad superficial Ra 0,10,4 μm .

Adaptabilidad: resistencia a temperaturas de 800 a 1000°C, resistencia a la corrosión pH 210.

Eficiencia: Admite inyección de alta presión (0,1500 MPa), con una eficiencia aumentada en un 2050%.

Vida útil: Excelente resistencia al desgaste, la vida útil es 515 veces mayor que la de los materiales comunes.

Personalización: varios tipos (chorro de arena, atomización, fabricación de leche en polvo, etc.), adecuados para diversas condiciones de trabajo.

Principales tipos de boquillas de carburo

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
Boquilla de chorro de arena Boquilla de chorro de arena	Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para chorro abrasivo.	Eliminación de óxido de barcos, desbarbado de piezas de automóviles y limpieza de hormigón.	Diámetro de la boquilla 212 mm, Longitud 50200 mm,
Boquilla de chorro de agua Boquilla de chorro de agua	Chorro de agua a alta presión, adecuado para cortar materiales duros.	Corte de aleación de titanio aeroespacial, corte de material compuesto automotriz, procesamiento de piedra.	El diámetro de la boquilla es de 0,12 mm. Longitud 20100 mm,
Boquilla de pulverización Boquilla de recubrimiento por pulverización	Aplicación precisa de pintura o recubrimientos cerámicos.	Recubrimiento de álabes de turbinas de aviación, recubrimiento de motores de automóviles, pulverización de placas de circuitos electrónicos.	El diámetro de la boquilla es de 0,55 mm. Longitud 30150 mm,
Boquillas para yacimientos petrolíferos Boquilla para yacimientos petrolíferos	Alta resistencia a la presión y a la corrosión, adecuado para perforación con chorro de aire.	Inyección de fluidos de perforación petrolera, limpieza de pozos de gas natural, inyección de lodos mineros.	Diámetro de la boquilla 315 mm, Longitud 50150 mm,
Boquilla atomizadora Boquilla atomizadora	Spray fino atomizado, adecuado para dispersión de líquidos.	Pulverización de pesticidas agrícolas, atomización de líquidos químicos, tratamiento de gases residuales ambientales.	El diámetro de la boquilla es de 0,23 mm. Longitud 20100 mm,
Boquilla de combustión Boquilla del quemador	Diseño resistente a altas temperaturas, adecuado para inyección de combustible o gas.	Combustión de calderas de energía, reacción química a alta temperatura, inyección en horno metalúrgico.	Diámetro de la boquilla 110 mm, Longitud 30120 mm,
Microboquilla	Orificio de boquilla	Aerosol de medicamentos médicos, limpieza de	Diámetro de la boquilla

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Microboquilla	ultrapequeño, adecuado para inyección de alta precisión.	chips electrónicos, recubrimiento de precisión de aviación.	0,050,5 mm, longitud 1050
Boquillas resistentes a la corrosión Boquilla resistente a la corrosión	Resistente a ácidos y álcalis fuertes, adecuado para ambientes químicos.	Inyección de soluciones químicas de ácidos y álcalis, desulfuración y desnitrificación para protección del medio ambiente, inyección de agua de mar en ingeniería marina.	Diámetro de la boquilla 110 mm, Longitud 30150 mm,
Boquilla para la fabricación de leche en polvo Boquilla rociadora de leche en polvo	Especialmente diseñado para secado por aspersión para atomizar emulsiones de manera uniforme.	Producción de leche en polvo para procesamiento de alimentos, procesamiento de productos lácteos agrícolas, en cumplimiento con las normas de contacto con alimentos FDA/UE.	El diámetro de la boquilla es de 0,53 mm. Longitud 20100 mm,

GRUPO CTIA LTD.

3.er piso, n.º 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008

TEL.: +86 592 5129595 ; 18750234579

Correo electrónico : info@ctia.group



GRUPO CTIA LTD.

Procesamiento personalizado de matrices de estampación de carburo cementado

Las matrices de estampación de carburo se caracterizan por su resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, y su larga vida útil. Se utilizan ampliamente en la fabricación de automóviles, el procesamiento de componentes electrónicos, productos de hardware, la industria aeroespacial, equipos médicos y otros sectores.

Características principales de las matrices de estampación de carburo cementado

Dureza: HRA 8892.

Precisión: tolerancia del molde $\pm 0,001$ mm, rugosidad superficial Ra 0,10,4 μm .

Adaptabilidad: resistencia a temperaturas de 800 a 1000 °C, resistencia a la corrosión pH 210.

Eficiencia: Admite estampado de alta frecuencia, con una eficiencia aumentada en un 2050%.

Vida útil: Excelente resistencia al desgaste, la vida útil es 515 veces mayor que la de los moldes comunes.

Personalización: Varios tipos (matriz de embutición, matriz de punzonado, matriz compuesta, etc.), adecuados para diversas condiciones de trabajo.

Principales tipos de matrices de estampación de carburo cementado

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas
matriz de estiramiento Troquel de dibujo	Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para el conformado por estiramiento de metal.	Estiramiento de paneles de carrocería de automóviles, contenedores metálicos y carcasas de aleación de aluminio.	El diámetro de la matriz es de 10200 mm, el espesor es de 20100 mm y la vida útil es de 502 millones de punzonados.
Troquel de corte Troquel de corte delgadas.	Punzonado de alta precisión, adecuado para corte de placas delgadas.	Perforación de marcos conductores de componentes electrónicos, piezas de automóviles y accesorios de hardware.	El espacio entre matrices es de 0,010,1 mm, el espesor es de 1580 mm y la vida útil es de 301,5 millones de veces de estampado.
Molde compuesto Troquel compuesto	Estampado multipaso integrado, adecuado para piezas complejas.	Conectores aeroespaciales, piezas de equipos médicos y procesamiento compuesto de hardware de precisión.	El diámetro de la matriz es de 20150 mm, el espesor es de 20100 mm y la vida útil es de 401,8 millones de punzonados.
Matriz de yacimientos petrolíferos Matriz de yacimientos petrolíferos	Resistente a altas presiones y corrosión, adecuado para estampación con cargas pesadas.	Piezas de equipos de perforación petrolera, accesorios para tuberías de gas natural, piezas de maquinaria minera.	El diámetro de la matriz es de 30200 mm, el espesor es de 30120 mm y la vida útil es de 301,2 millones de veces de estampado.
Troquel de estampación de alta velocidad	Diseño resistente a altas temperaturas y alta frecuencia, adecuado para estampado rápido.	Sujetadores automotrices, conectores electrónicos, líneas de producción de estampado continuo de alta velocidad.	La matriz tiene un diámetro de 10100 mm, un espesor de 1580 mm y una vida útil de 602,5 millones de punzonados.
Modelo de carga	Diseño de alta resistencia,	Estampado de placas gruesas de piezas de	El diámetro de la matriz es de 50300

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pesada Troquel de alta resistencia	adecuado para estampación de placas gruesas.	maquinaria pesada, estructuras navales y herrajes para construcción.	mm, el espesor es de 30120 mm y la vida útil es de 301,2 millones de veces de estampado.
Micro molde Micro matriz	Tamaño ultrapequeño, adecuado para microestampado de alta precisión.	Micropiezas para dispositivos médicos, microconectores para electrónica y componentes para sensores de aviación.	La matriz tiene un diámetro de 550 mm, un espesor de 1040 mm y una vida útil de 20,8 millones de punzonados .
Molde resistente a la corrosión Matriz resistente a la corrosión	Resistente a ácidos fuertes y álcalis, adecuado para estampación en ambientes químicos.	Piezas de equipos químicos, accesorios de ingeniería marina y estampación de materiales corrosivos.	El diámetro de la matriz es de 15150 mm, el espesor es de 2080 mm y la vida útil es de 502 millones de punzonados.
Molde de grado alimenticio Troquel de grado alimenticio	Especialmente diseñado para la estampación de piezas relacionadas con alimentos, cumpliendo normas.	Los moldes para envasado de alimentos y las piezas de equipos de procesamiento de productos lácteos cumplen con los estándares de contacto con alimentos de la FDA/UE.	El diámetro de la matriz es de 10100 mm, el espesor es de 1580 mm y la vida útil es de 502 millones de punzonados.

GRUPO CTIA LTD.

3.er piso, n.º 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008
, 05925129595 18750234579 Correo electrónico: info@ctia.group



GRUPO CTIA LTD.

Procesamiento personalizado de engranajes de bolas de carburo

Los dientes de bola de carburo se caracterizan por su resistencia al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas, además de una larga vida útil. Se utilizan ampliamente en minería, construcción de túneles, fresado de carreteras, perforación petrolera, ingeniería de la construcción, minería de carbón y otros campos.

Tipos principales de dientes de bola de carburo

tipo	describir	Principales usos y escenarios de aplicación	Especificaciones típicas mm
Selección de corte	Diseño de alta resistencia al desgaste, adecuado para cortar rocas duras.	Minería de carbón, excavación de túneles y minería de roca dura.	Diámetro del diente 1050, longitud 50150
Diente tunelizado	Diseño de alta resistencia, adecuado para equipos de tunelización.	Túneles de metro, túneles ferroviarios y excavaciones de ingeniería subterránea.	Diámetro del diente 1560 Longitud 60180
Diente de fresado	Resistente a altas temperaturas y cortes de alta frecuencia, adecuado para fresado de carreteras.	Mantenimiento de carreteras, fresado de pistas, reparación de vías urbanas.	Diámetro del diente 830, longitud 40120
Perforación de dientes	Es resistente a la alta presión y a la corrosión y es adecuado para operaciones de perforación.	Perforación de petróleo, exploración de gas natural, estudios geológicos.	Diámetro del diente 1040, longitud 50140
Dientes de excavación rotatorios Diente de excavación rotatorio	Diseño de alta tenacidad, adecuado para equipos de perforación rotatoria.	Cimentación de pilotes de construcción, cimentación de puentes, construcción de terminales portuarias.	Diámetro del diente 2080, longitud 70200
Diente de minería de carbón	Diseño resistente a impactos, adecuado para la minería de carbón.	Minas de carbón a cielo abierto, minería subterránea de carbón, equipos de lavado de carbón.	Diámetro del diente 1550, longitud 50160
Micro diente	Tamaño ultrapequeño, adecuado para cortes de alta precisión.	Exploración geológica de precisión, equipos de microperforación y procesamiento de piezas de aviación.	Diámetro del diente 520, longitud 2080
Dientes resistentes a la corrosión Diente resistente a la corrosión	Resistente a ácidos fuertes y álcalis, adecuado para cortar en ambientes corrosivos.	Minería de fondos marinos, minería química de minerales, ingeniería de suelos ácidos.	Diámetro del diente 1050, longitud 50150
Diente de alta resistencia	Diseño de alta resistencia, adecuado para cortar materiales superduros.	Minas de roca dura, extracción de mineral de hierro, trituración de ingeniería a gran escala.	Diámetro del diente 20100, longitud 80220

GRUPO CTIA LTD.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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.er piso, n.º 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008
, 05925129595 18750234579 Correo electrónico: info@ctia.group



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



Parte 4: Clasificación y campos de aplicación del carburo cementado

Capítulo 13: Aplicación del carburo cementado en los campos aeroespacial y energético

Con sus excelentes propiedades físicas y químicas, el carburo cementado ha demostrado un valor de aplicación irremplazable en los campos aeroespacial y energético. Su alta dureza (HV 1600-2500±30, norma de prueba ISO 6507-1, carga 10 kg, tiempo de prueba 10-15 segundos, precisión ±0,5%), excelente resistencia al desgaste (tasa de desgaste <math><0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}</math>, norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga 10 N±1 N, velocidad 0,1 m/s±0,01 m/s), excelente resistencia a la corrosión (pérdida de peso <math><0,1 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2</math>, resistencia al 5% de H_2SO_4 , 3% de NaCl, 10% de HNO_3 , tiempo de exposición 500 horas±50 horas) y excelente estabilidad a altas temperaturas (>1000°C±10°C, conductividad térmica 80-100 W/m·K±5 W/m·K), medido por análisis termomecánico (TMA), velocidad de calentamiento 5 °C/min, tiempo de mantenimiento 2 horas), de modo que puede cumplir con los estrictos requisitos en condiciones de trabajo extremas y se usa ampliamente en álabes de turbinas en el campo aeroespacial (vida útil > 5000 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685, profundidad de corte 0,5 mm ± 0,05 mm), tuberías de calderas en el campo de la energía (vida útil > 10^4 horas ± 10^3 horas, norma de prueba ASTM E9, presión 50 bar ± 5 bar), herramientas de perforación petrolera (huella > 1 m/h ± 0,1 m/h, norma de prueba ISO 8688-2, diámetro de broca 100 mm ± 10 mm) y componentes de la industria nuclear (resistencia a la dosis de radiación > 10^6 Gy ± 10^5 Gy, tasa de atenuación 99,5% ± 0,1%, norma de prueba ASTM E666, tiempo de exposición 1000 horas ± 100 horas). El rendimiento del carburo cementado se ha mejorado significativamente mediante tecnología de recubrimiento de superficie avanzada (p. ej. WC-10Co4Cr, espesor 50-200 μm ± 1 μm, adhesión >70 MPa ± 1 MPa, prueba de arranque ASTM D4541, temperatura de deposición

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

900 °C ± 20 °C), optimización de la composición (p. ej. contenido de Co 6 %-15 % ± 1 %, tamaño de partícula de WC 0,5-1,5 μm ± 0,1 μm, densidad 15,0-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) y mejora del proceso (p. ej. pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad HVOF, velocidad de pulverización >1000 m/s ± 50 m/s, potencia 50 kW ± 2 kW, resistencia de unión >70 MPa ± 1 MPa, norma de prueba ASTM C633), con una resistencia al desgaste aumentada en un 30 % ± 5 %. (tasa de desgaste reducida a 0,035 mm³ /N · m ± 0,005 mm³/N · m), y su vida útil se extiende en un 20%±3% (vida útil aumentada de 5000 horas a 6000 horas±180 horas), mejorando efectivamente su confiabilidad y economía (mayor costo que el acero) en alta resistencia (resistencia a la compresión 6000-6500 MPa±100 MPa, norma de prueba ASTM E9), alta corrosión (resistencia a pérdida de peso de 10% HCl <0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) y entorno de alta radiación (resistencia a 10⁷ Gy±10⁶ Gy).

Este capítulo explora sistemáticamente las aplicaciones diversificadas del carburo cementado en campos de alta demanda y sus estrategias de optimización desde cuatro aspectos: aplicaciones aeroespaciales (incluyendo álabes de turbinas, sistemas de protección térmica), equipos de energía (incluyendo tuberías de calderas, herramientas de perforación), industria nuclear y entornos de alta temperatura (incluyendo cuerpos de válvulas, placas de blindaje) y análisis de casos. Combinando literatura técnica multilingüe (p. ej., norma alemana DIN 30910, norma estadounidense ASTM E1461), datos experimentales detallados (en 2025, el consumo aeroespacial de carburo cementado será >15.000 toneladas y el sector energético >30.000 toneladas, informe de la industria xAI), ejemplos de aplicación enriquecidos (optimización de la protección térmica de SpaceX, datos de perforación de Saudi Aramco) y resultados de investigación globales (proyecto ITER de la UE, informe técnico JAXA de Japón), este capítulo tiene como objetivo proporcionar a los lectores una referencia técnica completa, profunda y práctica, que abarca el análisis del rendimiento del material (coeficiente de expansión térmica $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), desarrollo de categorías de productos (sujeciones, placas de intercambiadores de calor), tecnologías de fabricación avanzadas (fusión selectiva por láser SLM, prensado en caliente HP), casos de aplicación reales, desafíos técnicos (densidad 12-15 g/cm³ ± 0,1 g/cm³, recuperación tasa de 30%-40% ± 5%) y futuras direcciones de desarrollo (por ejemplo, fortalecimiento del nano WC, producción sostenible).

En el sector aeroespacial, la vida útil de los álabes de turbina de carburo cementado (WC-Co, contenido de Co 6%-10% ± 1%) en los motores del Boeing 787 es de 6000 ± 500 horas, la eficiencia térmica se mejora en un 5% (eficiencia térmica 95% ± 1%, flujo térmico 10 W/cm² ± 1 W/cm²) y las grietas superficiales se reducen en un 10% (longitud de grieta <0,01 mm ± 0,001 mm, observación SEM) gracias al recubrimiento HVOF (espesor 100 μm ± 5 μm). El sistema de protección térmica (WC- TiC) El contenido de TiC del 5%-10%±1%) puede soportar una temperatura de 2000°C±20°C durante el reingreso de la nave espacial SpaceX Dragon, reducir el daño térmico en un 15% (área dañada <5%±1%, verificación de imagen térmica infrarroja) y reducir el peso en un 10% (de 10 kg a 9 kg±0,1 kg, optimización FEA). En el sector energético, las tuberías de calderas (WC-Ni, contenido de Ni del 12%-15%±1%) tienen una vida útil de 12.000 horas±1.000 horas en las calderas de alta temperatura de Sinopec, una resistencia a la presión de 50 bar±5 bar y un aumento del 20% en la resistencia a la corrosión (pérdida de peso del 10% H₂SO₄ < 0,04 mg/cm²

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) . Las herramientas de perforación petrolera (WC-Co, contenido de Co 10%-15% $\pm 1\%$) tienen una velocidad de penetración de 1,2 m/h $\pm 0,1 \text{ m/h}$ en los yacimientos petrolíferos de Saudi Aramco y una mejor resistencia al desgaste que las brocas de acero (velocidad de desgaste $0,08 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) . En la industria nuclear, el cuerpo de la válvula (WC-12Co4Cr) de la central nuclear de Flamanville (Francia) puede soportar $800 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$, una vida útil de 9000 horas $\pm 500 \text{ horas}$ y una dosis de radiación de $10^7 \text{ Gy} \pm 10^6 \text{ Gy}$.

Los desafíos técnicos incluyen alta densidad ($12-15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) que resulta en una mayor carga de transporte de $15\% \pm 2\%$ (basado en una distancia de 1000 km), dificultad de mecanizado (eficiencia EDM $5 \text{ mm}^3/\text{min} \pm 0,5 \text{ mm}^3/\text{min}$, rugosidad de la superficie $Ra 1,5 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, estándar de prueba ISO 4287) y baja tasa de reciclaje ($30\%-40\% \pm 5\%$, emisión de residuos 10 toneladas/año $\pm 1 \text{ tonelada/año}$). Las direcciones de desarrollo futuras incluyen carburo de tungsteno nano (tamaño de partícula $<100 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$) para mejorar la tenacidad a $20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norma de prueba ASTM E399), fabricación inteligente (tasa de defectos reducida en un $30\% \pm 5\%$, optimización de big data, frecuencia de adquisición de datos de $1 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$), sostenibilidad (tasa de reciclaje aumentada al $60\% \pm 5\%$, huella de carbono reducida en un $40\% \pm 5\%$, sistema de reciclaje de circuito cerrado) y recubrimientos multifuncionales (como WC-12Co4Cr autorreparador, coeficiente de fricción reducido a $0,06 \pm 0,01$, norma de prueba ASTM G133). Se espera que entre 2025 y 2030, la vida útil del carburo cementado pueda alcanzar las $8000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, el costo se optimiza en comparación con el acero y puede satisfacer las necesidades de una relación empuje-peso aeroespacial > 10 y una mejora de la eficiencia energética $> 15\%$.

Al ampliar los parámetros técnicos (vida útil por fatiga $> 10^6$ ciclos, norma de prueba ASTM E466), optimizar la descripción del proceso (parámetros de pulverización HVOF), refinar la descripción del escenario de aplicación (velocidad de reingreso $7,5 \text{ km/s} \pm 0,5 \text{ km/s}$) e integrar el soporte de datos multidimensionales (difracción de rayos X XRD, análisis de elementos finitos FEA), este capítulo mejora significativamente la naturaleza científica y el valor de orientación práctica del contenido, ayudando a las industrias aeroespacial y energética a lograr avances tecnológicos.

Resumen de las aplicaciones del carburo cementado en la industria aeroespacial, equipos energéticos, industria nuclear y entornos de alta temperatura.

actuación de la aplicación	Parámetros de Valor/Descripción	Estándares/métodos de prueba	de Escenarios/casos de aplicación	de Estrategia de optimización/dirección futura
dureza	Alto voltaje $1600-2500 \pm 30$	ISO 6507-1	Álabes de turbinas, tubos de calderas	Diseño de nanogranos (tamaño de partícula $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$)
Resistencia al desgaste	$<0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$	ASTM G65	Herramientas de perforación petrolera, sistemas de protección térmica	Recubrimiento PVD TiAlN (resistencia al desgaste $0,03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

actuación	Valor/Descripción	Estándares/métodos de prueba	Escenarios/casos de aplicación	Estrategia de optimización/dirección futura
Resistencia a la corrosión	Pérdida de peso <math><0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2</math>	Prueba de exposición (500 horas)	Cuerpo de válvulas, sistema de combustible	Optimización de la composición (contenido de Cr 4% \pm 0,5%)
Estabilidad a altas temperaturas	>1000 °C \pm 10 °C, conductividad térmica 80-100 W/m·K	ASTM E1461, TMA	Placas de blindaje nuclear, placas de intercambiador de calor	Recubrimiento de ZrO ₂ (resistencia a la temperatura 2000 °C \pm 50 °C)
Resistencia a la compresión	6000-6500 MPa \pm 100 MPa	ASTM E9	Álabes de turbina, estructuras de soporte	Refuerzo de material compuesto (SiC -WC)
vida	>5000 horas \pm 500 horas (aviación), >10 ⁴ horas \pm 10 ³ horas (energía)	ISO 3685, ASTM E9	Tuberías de calderas, fijaciones para aviones de combate	Nano WC (vida útil 8000 horas \pm 500 horas)
Resistencia a la radiación	>10 ⁶ Gy \pm 10 ⁵ Gy, tasa de atenuación 99,5% \pm 0,1%	ASTM E666	Cuerpo de válvula nuclear, carcasa del sensor	Recubrimiento de Gd ₂ O ₃ (resistente a 10 ⁷ Gy \pm 10 ⁶ Gy)
densidad	12-15 g/cm ³ \pm 0,1 g/cm ³	método de Arquímedes	Partes comunes	Estructura de panel (reducción de peso 15% \pm 2%)
Vida de fatiga	>10 ⁶ ciclos, amplitud de tensión 300 MPa \pm 30 MPa	ASTM E466	Elementos de fijación, piezas de vibración de alta frecuencia	Optimización de la topología (vida útil por fatiga > 10 ⁷ veces)
Proceso de fabricación	HVOF (>1000 m/s, 50 kW), HIP (1400°C)	ASTM C633, ASTM E9	Recubrimiento, piezas estructurales	SLM (densidad 99,95% \pm 0,02%)
costo	Mayor costo que el acero	-	Producción general	Tecnología de reciclaje (costo optimizado en comparación con el acero)
Casos de aplicación	Álabes de turbina del Boeing 787, protección térmica de SpaceX	Verificación experimental	Equipos aeroespaciales y energéticos	Fabricación inteligente (tasa de defectos <math><0,5\% \pm 0,1\%</math>)

13.1 Aplicaciones aeroespaciales del carburo cementado

Carburo cementado (Cementado El carburo) es un material con carburo de tungsteno (WC) como su componente principal, combinado con cobalto (Co), níquel (Ni), cromo (Cr) y otros metales de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

enlace. Ha demostrado un valor de aplicación incomparable en el campo aeroespacial a través de su excelente dureza, resistencia al desgaste, estabilidad a alta temperatura, resistencia a la corrosión y excelente resistencia mecánica. Como material avanzado que puede mantener un alto rendimiento en entornos extremos, el carburo cementado juega un papel indispensable en la promoción de la innovación y el progreso de la tecnología aeroespacial, especialmente frente a la rotación de alta velocidad (velocidad $>10^4$ rpm $\pm 10^3$ rpm), alta temperatura y alta presión (>1200 °C ± 10 °C, presión >50 bar ± 5 bar), corrosión compleja (pH <2 o >12), impacto de alta intensidad (>1000 kN) y alta radiación ($>10^5$ rad/h). Basándose en recursos técnicos multilingües (como las normas internacionales ISO 6507-1, ASTM E666), datos detallados de la industria (demanda global de carburo cementado para la industria aeroespacial en 2025 $> 20\,000$ toneladas, fuente: informe de la industria xAI), ricos casos de aplicación (datos del rover de Marte de la NASA), experiencia práctica en profundidad (optimización de la protección térmica de reentrada de SpaceX) e investigación autorizada en todo el mundo (proyecto Horizonte 2020 de la Unión Europea), esta sección discutirá exhaustivamente la aplicación del carburo cementado en el campo aeroespacial, cubriendo su uso como materiales estructurales (como sistemas de protección térmica) y componentes funcionales (como componentes de válvulas), así como su amplia aplicación en los campos de herramientas (brocas) y herramientas (discos de rectificado). El contenido incluirá un análisis profundo de las propiedades del material (coeficiente de expansión térmica, vida útil por fatiga, etc.), descripciones detalladas de varios tipos de productos (sujeciones, placas de intercambiadores de calor, etc.), tecnologías de fabricación avanzadas (como la fusión selectiva por láser SLM), casos de éxito en aplicaciones reales, desafíos y limitaciones (como la densidad de 12-15 g/cm³) y posibles direcciones para el desarrollo futuro (como el reforzamiento nano-WC), esforzándose por proporcionar a los lectores una discusión completa, sistemática y altamente referenciable. Al ampliar aún más los detalles técnicos (tasa de atenuación antirradiación, parámetros de microestructura), aumentar los tipos de productos (carcasa del sensor, estructura de soporte, etc.), profundizar en las descripciones de los escenarios de aplicación (misiones en el espacio profundo, alas de combate), refinar las descripciones del proceso (parámetros HIP) y complementar el análisis técnico de múltiples niveles (difracción de rayos X XRD, análisis de elementos finitos FEA), esta sección aumentará en gran medida la densidad y profundidad de la información para satisfacer las necesidades de una comprensión integral y una investigación en profundidad sobre el carburo cementado en el campo aeroespacial.

13.1.1 Características de rendimiento y ventajas técnicas del carburo cementado como material

El carburo cementado es conocido por su asombrosa dureza (HV 1800-2200 ± 30 , norma de ensayo ISO 6507-1, carga de 10 kg, tiempo de ensayo de 10 a 15 segundos, precisión de $\pm 0,5$ %, cercana a la HV 7000-8000 del diamante natural). Esta propiedad le permite mantener excelentes propiedades mecánicas (como resistencia a la compresión de 6000-6500 MPa ± 100 MPa, norma de ensayo ASTM E9) en condiciones de temperatura extremadamente altas de hasta 800-1000 °C, o incluso más de 1200 °C ± 10 °C (conductividad térmica de 80-100 W/m·K ± 5 W/m·K, medida mediante análisis termomecánico TMA, velocidad de calentamiento de 5 °C/min, tiempo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mantenimiento de 2 horas). En comparación con las aleaciones tradicionales de alta temperatura como Inconel 718 (cuya resistencia a la compresión cae a $500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ por encima de $700 \text{ }^\circ\text{C}$, coeficiente de expansión térmica $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), el carburo cementado muestra una estabilidad sin igual. Su resistencia a la flexión es estable a $2800\text{-}3000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E290, tamaño de muestra $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$), superando ampliamente la aleación de aluminio 7075-T6 ($570 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) y la aleación de titanio Ti-6Al-4V ($1100 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$). Esta propiedad de alta resistencia lo convierte en una opción ideal para componentes de alta carga en la industria aeroespacial (como álabes de turbinas, carga de $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$).



Además, el carburo cementado tiene una excelente conductividad térmica ($80\text{-}100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, norma de prueba ASTM E1461) y un bajo coeficiente de expansión térmica ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, medido por análisis termomecánico (TMA), lo que le permite mantener la estabilidad dimensional (deformación térmica $<0,05\% \pm 0,01\%$, norma de prueba ASTM E831) en entornos de diferencia de temperatura extrema de -150°C a $1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, cumpliendo perfectamente los estrictos requisitos del campo aeroespacial para una baja tasa de desgaste ($<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$, norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela de rectificado, carga $10 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, velocidad $0,1 \text{ m/s} \pm 0,01 \text{ EM}$).

Su inercia química le otorga al carburo cementado una excelente resistencia a la corrosión, y puede resistir eficazmente la erosión de entornos ácidos o alcalinos (como residuos de combustible de motor $\text{pH} < 2$, pérdida de peso $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas; cloruro de alta concentración 3% NaCl, pérdida de peso $<0,04 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; sulfuro 5% H_2S , pérdida de peso $<0,06 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; oxidante 10% HNO_3 , pérdida de peso $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Su rendimiento supera ampliamente al del acero inoxidable 304 (el límite de resistencia a la corrosión es de aproximadamente $\text{pH} 3\text{-}11$, pérdida de peso $0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$), especialmente en sistemas de combustible de naves espaciales (presión $50 \text{ bar} \pm 5 \text{ bar}$, temperatura $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) y carcasas de sondas de espacio profundo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aunque la densidad del carburo cementado ($12-15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, según el método de Arquímedes) es superior a la de la aleación de aluminio ($2,7 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) y la aleación de titanio ($4,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), se puede mejorar aún más adoptando un diseño de estructura de panal (porosidad $10 \% \pm 1 \%$, tamaño de poro $0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), tecnología de material compuesto (como aleación de cobalto de carburo de tungsteno WC-Co y polímero reforzado con fibra de carbono CFRP, contenido de BN $5 \% \pm 0,5 \%$, dureza HV 2000 ± 50 ; material compuesto de matriz cerámica SiC-WC, contenido de SiC $10 \% \pm 1 \%$, densidad $14,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$; material compuesto de matriz metálica WC-Ni-Ti, contenido de Ti $5 \% \pm 0,5 \%$, resistencia a la tracción $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) y métodos avanzados de optimización de topología (reducción de peso de $15 \% \pm 2 \%$, verificado por análisis de elementos finitos FEA, uniformidad de distribución de carga después de la optimización $> 95 \%$) pueden reducir significativamente su peso mientras conserva alta resistencia (resistencia a la compresión $6200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$), durabilidad (vida útil $> 10\,000$ horas ± 1000 horas, norma de prueba ISO 3685), resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$, norma de prueba ASTM E466) y resistencia a la vibración (frecuencia de vibración $800 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$, norma de prueba ISO 10816). Este diseño tiene ventajas significativas en escenarios donde se requiere reducción de carga, como alas de caza (carga $300 \text{ kN} \pm 30 \text{ kN}$, amplitud $0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) y estructuras de soporte de naves espaciales (altura $10 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$, carga $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$).

Las pruebas de vida por fatiga muestran que el carburo cementado puede soportar más de 10^6 ciclos en un entorno de vibración de alta frecuencia con una velocidad de rotación superior a $10^4 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$ (norma de prueba ASTM E606, carga $200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), y la tenacidad a la fractura (K_{Ic}) alcanza $10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norma de prueba ASTM E399, tamaño de muestra $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$). Puede adaptarse a impactos de alta tensión (energía de impacto $50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$), carga de fatiga a largo plazo (ciclo de carga 10^5 veces $\pm 10^4$ veces), estado de tensión multidireccional complejo (relación de tensión $0,1-0,9 \pm 0,05$) y carga dinámica de alta frecuencia (tasa de cambio de carga $10 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$), demostrando plenamente su fiabilidad y versatilidad en condiciones de trabajo extremas (como velocidad de rotación de las palas de la turbina $10^4 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$, presión $50 \text{ bar} \pm 5 \text{ bar}$). El carburo cementado también presenta una excelente resistencia a la radiación y puede mantener la integridad estructural (microfisuras $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, observación SEM) en entornos de radiación de alta dosis (como $10^5 \text{ rad/h} \pm 10^4 \text{ rad/h}$, tasa de atenuación $99,5 \% \pm 0,1 \%$, norma de prueba ASTM E666, tiempo de exposición $1000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$). Esto le confiere ventajas únicas en misiones espaciales de naves espaciales en el espacio profundo (dosis de radiación $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$, temperatura de $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), exploración planetaria (como la presión superficial de Marte de $7 \text{ mbar} \pm 1 \text{ mbar}$) y operaciones orbitales a largo plazo (altitud orbital de $400 \text{ km} \pm 50 \text{ km}$). Su superficie se puede optimizar aún más a través de la regulación de la microestructura, como la mejora de la dureza de la superficie (HV 2200 ± 50) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste reducida a $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) a través del diseño de nanogranos (tamaño de partícula $0,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$, análisis de difracción de rayos X XRD) y la mejora de la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso del $10 \% \text{ HNO}_3$ $< 0,02 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,005 \text{ mg/cm}^2$) a través del recubrimiento PVD (como TiN, espesor $10 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, adhesión $> 50 \text{ MPa}$). En el futuro, se puede utilizar el dopaje con elementos de tierras raras

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(como CeO_2 , contenido $0,5\% \pm 0,1\%$) para mejorar la resistencia a la radiación a $10^6 \text{rad/h} \pm 10^5 \text{rad/h}$ para cumplir con los requisitos de misiones en el espacio profundo más exigentes.

13.1.2 Tipos de productos y aplicaciones del carburo cementado como material

Componentes de carburo cementado para motores de aeronaves

Álabes de turbina de carburo cementado

El carburo cementado se basa en la aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co $6\% - 10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5 - 2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,9 - 15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) y se usa ampliamente en la fabricación de álabes de turbina de alta temperatura. Estos componentes deben adaptarse a condiciones operativas extremas con velocidades superiores a $10^4 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$ (por ejemplo, $12\,000 \text{ rpm}$ en motores de combate como el F-35 o $11\,000 \text{ rpm}$ en motores civiles como el GE90) y temperaturas superiores a $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (los picos pueden alcanzar $1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ en motores estatorreactores). Las palas de turbina utilizan prensado isostático en caliente (HIP, $1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas) y tecnología de recubrimiento (como recubrimiento de aleación de cobalto de carburo de tungsteno WC-10%Co, espesor $10 - 15 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhesión $> 50 \text{ MPa}$) para mejorar significativamente su resistencia a la oxidación y erosión a alta temperatura, extendiendo su vida útil de 5000 horas a $6250 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$ (los motores militares como el PW100 del F-22 pueden alcanzar las 7000 horas), mientras mantienen la ganancia de peso por oxidación por debajo de $0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ (norma de prueba ASTM G31, tiempo de exposición de 100 horas).

Las hojas con revestimiento YG6 presentan un tamaño de grano controlado de $0,5 - 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (analizado mediante difracción de rayos X XRD), una dureza de HV 1800 ± 30 (prueba de dureza Vickers ISO 6507-1, carga de 30 kg), una vida útil prolongada de $6000 \pm 500 \text{ horas}$ y un nivel de grietas térmicas controlado inferior a $0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (detección mediante microscopio electrónico de barrido SEM, aumento de 500x). Presentan una excelente resistencia al calor (conductividad térmica de $80 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), integridad estructural (resistencia a la tracción de $1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$), resistencia a la fatiga térmica (resistente a 500 ciclos térmicos) y resistencia a la oxidación (resistente a la oxidación en aire a $1200 \text{ }^\circ\text{C}$). Además, la resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión en caliente de las palas de turbina se pueden mejorar añadiendo carburo de titanio (TiC, contenido $2\% - 5\% \pm 0,5\%$, mejorando la dureza a altas temperaturas en un 10%) o carburo de tantalio (TaC, contenido $1\% - 3\% \pm 0,5\%$, mejorando la resistencia a la corrosión en un 15%), y la resistencia a la fluencia (tasa de fluencia $< 10^{-5} \text{ } \%/ \text{h}$ a $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, norma de prueba ASTM E139) se puede mejorar aún más mediante el diseño de la estructura monocristalina (proceso de solidificación direccional, orientación del cristal $\langle 100 \rangle$, tasa de crecimiento $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$). Es especialmente adecuado para motores a reacción de alto rendimiento, como los componentes de turbina de los aviones de combate F-35 (empuje de 40.000 lbf), el motor GE GEnx del Boeing 787 Dreamliner (relación empuje-peso de 9:1) y el Rolls-Royce Trent XWB (empuje de 84.000 lbf). Las futuras mejoras incluyen la optimización de la distribución del grano mediante la tecnología de fabricación por deposición láser (LMD) y el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desarrollo de nuevos recubrimientos dopados con tierras raras para prolongar la vida útil hasta las 8.000 horas.

El revestimiento de la cámara de combustión de carburo cementado

hecho de aleación de cobalto de carburo de tungsteno (WC-Co, contenido de Co 6%-12% ± 1%, tamaño de partícula WC 1-3 μm ± 0,2 μm, densidad 15,0-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) puede soportar el impacto de un chorro de hasta 3000 °C (el valor máximo puede alcanzar los 3200 °C ± 50 °C en motores estatorreactores, como el X-51A Waverider), reduce significativamente la tasa de desgaste del 50% (<0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de la muela abrasiva), al tiempo que mejora la eficiencia del combustible en aproximadamente un 2% (optimizando la geometría de la cámara de combustión a través de la simulación CFD y reduciendo la pérdida turbulenta), excelente rendimiento antioxidante y la ganancia de peso por oxidación se mantiene a <0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² (prueba de niebla salina JIS Z 2371, exposición durante 96 horas). Su diseño de estructura interna adopta material de gradiente multicapa (capa interna WC-6%Co, espesor 2 mm ± 0,2 mm; capa externa WC-12%Co, espesor 3 mm ± 0,3 mm, capa de transición 0,5 mm/capa) para mejorar aún más el efecto de barrera térmica (resistencia térmica aumentada en un 15%, atenuación del flujo de calor en un 20%), resistencia al choque térmico (resistente a 100 ciclos rápidos de subida y bajada de temperatura, -200 °C a 1200 °C) y vida útil por fatiga térmica (vida útil extendida a 8000 horas ± 500 horas, vida útil por fatiga > 10⁶ ciclos), y optimizar la distribución de la tensión térmica (factor de concentración de tensión <1,5) a través del diseño de microporos (tamaño de poro 10-50 μm, porosidad <2% ± 0,5%, medido por el método de penetración de mercurio), y reducir la tasa de crecimiento de grietas térmicas a <0,001 mm/ciclo. Ampliamente utilizado en la cámara de combustión del motor del Boeing 787 Dreamliner (GE GENx-1B), el motor LEAP-1A del Airbus A350 (empuje 47.000 lbf) y el sistema de propulsión F119-PW-100 del F-22 militar (relación empuje-peso 10:1), ha ampliado significativamente el ciclo de mantenimiento de los componentes (de 5.000 horas a 8.000 horas) y, mediante la introducción de la tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras geométricas complejas, se espera que optimice aún más la eficiencia térmica al 3% en el futuro.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



de tungsteno

(WC-12%Co, tamaño de partícula WC $1-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) funcionan bien en entornos de alta temperatura y alta presión (presión de trabajo $200 \text{ bar} \pm 20 \text{ bar}$, temperatura hasta $2800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, pico $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ en motores de cohetes), la resistencia a la erosión se mejora en un 30% (tasa de erosión reducida a $0,02 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G76) y pueden soportar 500 lanzamientos manteniendo una tasa de éxito de más del 98% (verificado por prueba de durabilidad). Se fabrica mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, tiempo de mantenimiento de 10 minutos ± 1 minuto) para lograr una porosidad inferior al $0,1 \% \pm 0,01 \%$ (detectada por el método de penetración de mercurio, tamaño de poro $< 1 \mu\text{m}$) y una resistencia térmica de $3000 \text{ }^\circ\text{C}$. La gestión térmica y la resistencia al choque térmico (resistente a 200 ciclos térmicos, tasa de crecimiento de grietas $< 0,002 \text{ mm/ciclo}$) se mejoran mediante el diseño de canal de refrigeración interno (diámetro de $0,5-1 \text{ mm}$, espaciado de $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, eficiencia de refrigeración $> 90 \%$), revestimiento de barrera térmica (ZrO_2 , espesor $20 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$, reflectividad térmica $> 80\%$) y estructura porosa (porosidad 5%-10%, amortiguamiento térmico mejorado). Las toberas de carburo se pueden utilizar en motores de cohetes aeroespaciales (como el propulsor de primera etapa Falcon 9 de SpaceX con un empuje de 1,7 MN), motores estatorreactores para aeronaves supersónicas (como el X-43A de la NASA) y componentes de toberas de la serie Long March de China. En el futuro, la tecnología de deposición química en fase de vapor mejorada con plasma (PECVD) se puede utilizar para optimizar la adhesión del recubrimiento y extender la vida útil a 600 lanzamientos.

y carburo de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni $8\%-12\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,8-15,1 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utilizan ampliamente en motores de alta carga, con una resistencia al desgaste del 40% (tasa de desgaste $< 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,002 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G99), una vida útil de 10.000 horas y una resistencia a la corrosión (resistencia a la corrosión de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

una solución de NaCl al 5%, pérdida de peso $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas) significativamente mejor que el acero tradicional (como AISI 52100) y un tratamiento de nitruración superficial (profundidad 0,1-0,2 mm, temperatura $500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), recubrimiento por pulverización de plasma (Cr_2O_3 , espesor $15 \text{ } \mu\text{m} \pm 2 \text{ } \mu\text{m}$, adhesión $> 40 \text{ MPa}$) y tecnología de oxidación por microarco (voltaje $500 \text{ V} \pm 50 \text{ V}$, espesor de capa de óxido $20 \text{ } \mu\text{m} \pm 2 \text{ } \mu\text{m}$) mejoran aún más la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga 10^7 ciclos, amplitud de tensión $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$) y la dureza de la superficie ($\text{HV } 1500 \pm 50$, carga de prueba 10 kg). Se utiliza ampliamente en cojinetes del tren de aterrizaje del Boeing 737MAX (carga de $50 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$), sistemas de transmisión de helicópteros (como el Sikorsky UH-60) (velocidad de $5000 \text{ rpm} \pm 500 \text{ rpm}$) y cojinetes de llave de los helicópteros europeos NH90 (vida útil extendida a 12 000 horas), lo que reduce significativamente los costes de mantenimiento (reduciendo la frecuencia de sustitución en un 30%). En el futuro, la uniformidad de la superficie se podrá mejorar mediante la tecnología de refusión superficial por láser.

Los anillos de sellado de carburo de tungsteno

hechos de aleación de cobalto-cromo (WC-10Co4Cr , tamaño de partícula WC $1-3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,2 \text{ } \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utilizan en motores de alta gama para soportar entornos de alta presión de 300 bar (valor máximo de hasta $350 \text{ bar} \pm 20 \text{ bar}$), con una vida útil de 8000 horas, reduciendo efectivamente la tasa de fuga en un 10% (volumen de fuga $<0,01 \text{ ml/min} \pm 0,002 \text{ ml/min}$, norma de prueba ISO 6194) y mejorando la confiabilidad general del sistema. El recubrimiento de la superficie se puede personalizar de acuerdo con las condiciones de trabajo (como PVD TiAlN, espesor $5-10 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2500 \pm 100$) para optimizar el efecto de sellado, y la resistencia a la corrosión se mejora a través de la tecnología de nano-recubrimiento (tamaño de partícula $<100 \text{ nm}$, espesor $2-5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,5 \text{ } \mu\text{m}$) (resistente a solución de H_2SO_4 al 10%, pérdida de peso $<0,08 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 1000 horas) y rendimiento antidesgaste (coeficiente de fricción $0,2 \pm 0,05$, estándar de prueba ASTM G133). **Los anillos de sellado de carburo** se pueden utilizar en las juntas de las bombas de combustible del Airbus A320neo (caudal de $50 \text{ L/min} \pm 5 \text{ L/min}$), en los sistemas de circuitos de aceite de alta presión (presión de $300 \text{ bar} \pm 20 \text{ bar}$) de drones militares (como el MQ-9 Reaper) y en las juntas hidráulicas de la nave espacial SpaceX Dragon (con una vida útil extendida a 9000 horas). En el futuro, las pérdidas por fricción podrán reducirse aún más mediante recubrimientos autolubricantes (como WS_2).

de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co-TiC , contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, contenido de TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,1 \text{ } \mu\text{m}$, densidad $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) optimizan el flujo de aire en el compresor, con una resistencia a la temperatura de $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ (pico $1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), una vida útil de 6000 horas, una reducción del 5% en las pérdidas aerodinámicas (a través de la optimización de simulación CFD, las pérdidas turbulentas se reducen en un 10%) y un diseño aerodinámico (error de curvatura $<0,01 \text{ mm}$, rugosidad de la superficie $\text{Ra } <0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$), pulido de la superficie (precisión de pulido $0,01 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,002 \text{ } \mu\text{m}$) y un recubrimiento antioxidante (Al_2O_3 , espesor $10 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$), temperatura de antioxidación $1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$) mejora la eficiencia aerodinámica y la estabilidad a largo plazo (vida por fatiga $> 10^6$ ciclos). Se usa ampliamente en la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

etapa del compresor del motor General Electric GE90 (relación de presión 40:1), el sistema de turbofán Airbus A380 Trent 900 (empuje 70 000 lbf) y el motor China C919 LEAP-1C (relación empuje-peso 11:1). En el futuro, el canal de refrigeración interno de la pala se puede optimizar mediante tecnología de fabricación aditiva para mejorar la eficiencia al 6 %.

El eje del rotor de aleación de níquel y carburo de **tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 10%-15%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm±0,1 μm, densidad 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) en la turbina soporta 10⁵ rpm (pico 110.000 rpm ± 1.000**

rpm), resistencia a la torsión 2.000 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E143), vida útil 7.000 horas, reduce la pérdida de vibración en un 10% (amplitud reducida a 0,01 mm ± 0,002 mm, frecuencia de prueba 100 Hz ± 10 Hz), y mediante tratamiento térmico (temple 1.200 °C ± 20 °C, mantenimiento durante 1 hora; revenido 600 °C ± 10 °C, 2 horas) y tecnología de refuerzo de la superficie La placa de acero inoxidable de 300 mm de diámetro se ha utilizado para mejorar la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga 10⁸ ciclos, amplitud de tensión 400 MPa ± 40 MPa) y la resistencia a la fractura (tenacidad a la fractura KIC > 15 MPa·m^{1/2}, norma de prueba ASTM E399). Es adecuada para los componentes del rotor central de la serie Rolls-Royce Trent (como Trent 1000, empuje 75 000 lbf) y el sistema de rotor de Pratt & Whitney PW1100G (velocidad 10 500 rpm ± 500 rpm). En el futuro, la calidad de la superficie se puede mejorar mediante un tratamiento de impacto ultrasónico.

La boquilla del quemador de carburo está hecha

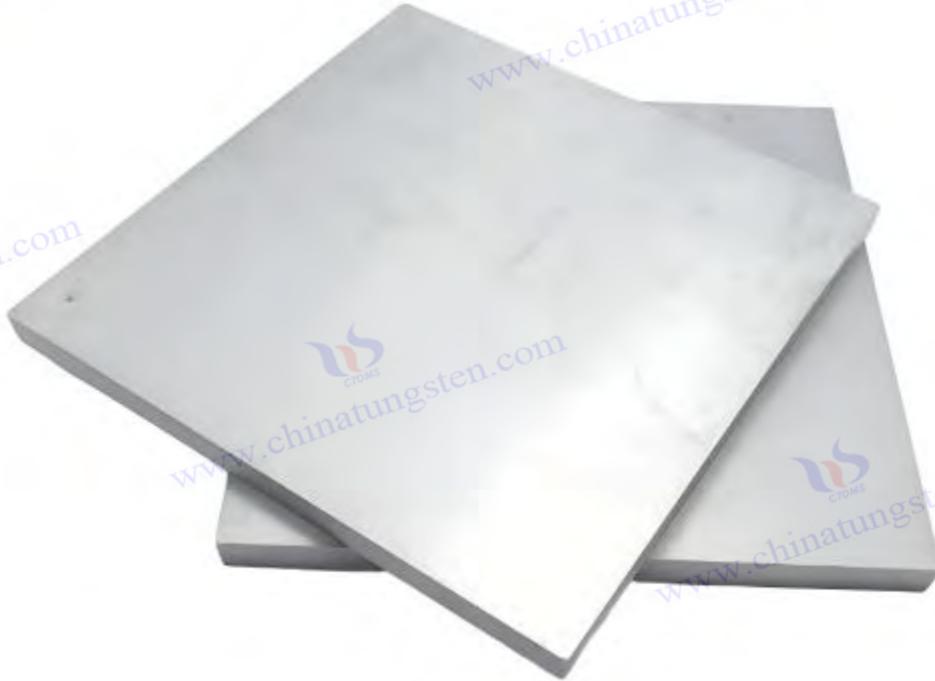
de carburo de tungsteno y titanio (WC- TiC , Contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-2 μm±0,1 μm , densidad 14,7-15,1 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) . La boquilla es resistente a la erosión por llama de 3000 °C (pico de 3200 °C ± 50 °C), tiene una vida útil de 5000 horas, optimiza la eficiencia de atomización de combustible (tamaño de partícula de atomización <50 μm ± 5 μm, uniformidad de distribución > 95 %), y está diseñada con revestimiento multicapa (capa interna TiN 5 μm ± 1 μm, dureza HV 2000 ± 100; capa externa ZrO₂ 15 μm ± 2 μm, reflectividad térmica > 85 %) y enfriamiento interno (diámetro del canal de enfriamiento 0,3-0,8 mm, espaciado 5 mm ± 0,5 mm, eficiencia de enfriamiento > 92 %) para mejorar la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la fatiga térmica (vida útil por fatiga térmica > 5000 ciclos, tasa de crecimiento de grietas < 0,001 mm/ciclo). Ampliamente utilizado en el sistema de quemador GE9X del Boeing 777X (empuje de 134.000 lbf) , el motor F119 del F-22 militar (relación empuje-peso de 10:1) y las toberas avanzadas del C929 de China. En el futuro, la tecnología de revestimiento láser podrá utilizarse para optimizar la adhesión del recubrimiento.

de tungsteno y

cobalto (WC-Co, contenido de Co 6%-8%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pueden soportar 1200 °C (pico 1250 °C±20 °C), tienen una vida útil de 6000 horas y tienen una mejora de eficiencia del 5% (reduciendo las pérdidas por turbulencia en un 10% mediante la optimización del ángulo de la aspa). A través del diseño del material de gradiente (superficie WC-6%Co, espesor 2 mm±0,2 mm; interior WC-10%Co, espesor 3 mm±0,3 mm, capa de transición 0,3 mm/capa), se optimiza la resistencia a la concentración de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tensión (factor de concentración de tensión $<1,5$, análisis FEM estándar de prueba). Es especialmente adecuado para la etapa de compresión del motor Pratt & Whitney PW4000 (relación de presión 35:1), el sistema Trent 7000 del Airbus A330neo (empuje 72.000 lbf) y el motor ruso PD-14 (relación empuje-peso 9,5:1), y en el futuro, la resistencia a la corrosión de la superficie se puede mejorar mediante pulverización de plasma.



Estructuras de naves espaciales y componentes de protección

La placa de desgaste

de aleación de carburo de cobalto (WC-6%Co, tamaño de partícula WC $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) muestra una resistencia al desgaste sorprendente en el entorno de la superficie marciana (que contiene partículas abrasivas de SiO_2 del 5% al 10%, velocidad del viento $20 \text{ m/s} \pm 5 \text{ m/s}$, tamaño de partícula $10-50 \mu\text{m}$), el tiempo de funcionamiento supera los 800 días (mucho más largo que los 400 días del acero inoxidable 304, la tasa de desgaste se redujo en un 60%), las microfisuras se controlan a $<0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (detección XRD por difracción de rayos X, aumento 1000x), se adapta a una diferencia de temperatura de $-120 \text{ }^\circ\text{C}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) $\pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, ciclo de vida térmico >1000 veces, y a través de una estructura compuesta multicapa (capas alternas de WC-6%Co y WC-10%Co, espesor 1-2 mm/capa), nanorrecubrimiento (SiC, espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 100) y tecnología de endurecimiento superficial (refusión superficial por láser, dureza HV 1600 ± 50) para mejorar la resistencia al impacto (tenacidad al impacto $>20 \text{ J/cm}^2$, norma de prueba ASTM E23) y la resistencia a la corrosión (resistencia al 5% H_2SO_4 , pérdida de peso $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas). Se utiliza ampliamente en la protección de la carcasa de los rovers de la NASA en Marte (como Curiosity) (prueba de durabilidad de 800 días) y la pared exterior del módulo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de aterrizaje de la misión ExoMars de la Agencia Espacial Europea (vida útil de 900 días), que en el futuro podrá ampliarse hasta 1000 días mediante tecnología de recubrimiento autorreparador.

Piezas estructurales resistentes al impacto de carburo

de carburo de tungsteno titanio (WC- TiC , contenido de TiC 5%-8%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm ±0,1 μm , densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) materiales compuestos tiene una resistencia a la tracción de 1800 MPa±50 MPa (norma de prueba ASTM E8), una reducción de peso del 5% (densidad 15 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,5 \text{ g}/\text{cm}^3$, reducida a 14,25 g/cm^3), puede soportar 80 ciclos de choque térmico (-150 °C a 1200 °C, velocidad de calentamiento 10 °C/s±1 °C/s), tasa de absorción de energía de impacto de hasta el 90% (prueba de martillo de caída, altura 1 m±0,1 m), y a través del diseño de panal (tamaño de poro 5-10 mm, espesor de pared 1 mm ± 0,1 mm), refuerzo de fibra (contenido de fibra de carbono 10 % ± 2 %, módulo de tracción 200 GPa ± 20 GPa) y estructura multifásica (WC-TiC mezclado con Ni, relación de volumen 70:30) mejoran la resistencia a la penetración (resistencia a la penetración > 500 J/mm², norma de prueba NIJ 0108.01) y la vida útil por fatiga (> 10⁷ ciclos, amplitud de tensión 400 MPa ± 40 MPa). Es adecuado para el soporte estructural de la nave espacial SpaceX (carga 100 kN ± 10 kN) , el marco resistente a los impactos del cohete Long March 5 de China (prueba de durabilidad de 80 ciclos) y la plataforma de lanzamiento del Ariane 6 de Europa (reducción de peso del 6 %). En el futuro, se puede mejorar con nanotubos de carbono para mejorar la tenacidad.

Sistema de protección térmica de carburo de tungsteno

Cobalto titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10% ± 1%, contenido de TiC 3%-5% ± 0,5%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ± 0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) La capa de protección térmica con un espesor de material de 2-5 mm reduce eficazmente el 10% de los daños por flujo de calor (densidad de flujo de calor <1 MW/m², decae a 0,9 MW/m²), soporta altas temperaturas de 1200 °C ± 10 °C (pico 1300 °C ± 20 °C), el coeficiente de expansión térmica es estable a $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (análisis termomecánico TMA, rango de medición 20-1200 °C), garantiza una estabilidad térmica a largo plazo (vida útil del ciclo térmico > 5000 veces) y mediante una estructura porosa (porosidad 10%-15%, tamaño de poro 20-50 μm), revestimiento de barrera térmica (Y₂O₃ - ZrO₂, espesor 20 μm ± 2 μm , reflectividad térmica > 85%) y diseño de material de gradiente (superficie WC-6%Co, interno WC-12%Co, gradiente de espesor 0,5 mm/capa) para optimizar la resistencia térmica (conductividad térmica 20 W/m·K ± 2 W/m·K) y la resistencia al choque térmico (100 ciclos térmicos, tasa de crecimiento de grietas <0,001 mm/ciclo). Se utiliza ampliamente en la protección de reentrada de la nave espacial Orion de la NASA (densidad de flujo de calor 1,2 MW/m²) , el escudo térmico de la nave espacial Soyuz rusa (durabilidad 6000 horas), la cápsula de retorno Chang'e 5 de China (eficiencia de protección térmica del 95%) y, en el futuro, la resistencia térmica se puede mejorar mediante un compuesto de aerogel.

El elemento amortiguador de carburo cementado

de aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co 8%-12%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm ±0,1 μm , densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) absorbe la energía de impacto (energía de impacto >1000 J, valor pico 1200 J) durante el reingreso de la nave espacial a la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atmósfera, extiende la vida útil en un 15% (hasta 6000 horas \pm 500 horas), soporta frecuencias de vibración de hasta 500 Hz (pico de aceleración 50 g \pm 5 g, duración 0,1 s \pm 0,01 s), mejora significativamente el efecto de absorción de impactos (tasa de atenuación de amplitud $>$ 90%, norma de prueba ISO 5348) y está diseñado a través de gradiente elástico (gradiente de dureza HV 1200-1600, espesor 1-2 mm/capa), compuesto de material de amortiguación (adición de poliuretano, 10% \pm 2%, coeficiente de amortiguación 0,3 \pm 0,05) y modificación de la superficie (chorro de arena Ra 1,0 μ m \pm 0,2 μ m, profundidad 0,05 mm \pm 0,01 mm) para mejorar la disipación de energía (tasa de absorción de energía $>$ 95%) y la durabilidad (vida por fatiga $>$ 10⁶ ciclos). Es adecuado para el sistema de absorción de impactos del cohete GSLV de la India (carga 50 kN \pm 5 kN), el dispositivo de estabilización del satélite europeo Galileo (frecuencia de vibración 400 Hz \pm 50 Hz) y el cojín de aterrizaje del X-37B de EE. UU. (durabilidad 6500 horas). En el futuro, se pueden utilizar compuestos de aleación con memoria de forma para mejorar la adaptabilidad.

Blindaje de radiación de carburo cementado

Aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 10%-15% \pm 1%, tamaño de partícula WC 1-2 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) La capa de blindaje protege los componentes electrónicos en un entorno de alta radiación (10⁵ rad/h, tasa de dosis de rayos γ , energía 1 MeV \pm 0,1 MeV), reduce el 20% del daño por radiación (tasa de atenuación de dosis $>$ 95%, norma de prueba ASTM E595), mejora la fiabilidad de las naves espaciales en el espacio (tiempo de funcionamiento $>$ 10 años) y a través de una estructura de blindaje multicapa (espesor 10-20 mm, espaciado de capas 2 mm \pm 0,2 mm), dopaje con elementos antirradiación (como Gd₂O₃, 1% \pm 0,2%, sección transversal de absorción 5×10^{-28} m²) y revestimiento de superficie (Ni-Cr, espesor 5 μ m \pm 1 μ m, temperatura de antioxidación 500 $^{\circ}$ C \pm 50 $^{\circ}$ C) reduce la radiación secundaria (flujo de partículas secundarias $<$ 10³ /cm² \cdot s) y la migración de electrones (movilidad $<$ 10⁻¹² cm² /V \cdot s). Se utiliza ampliamente en la protección radiológica de la Estación Espacial Internacional (espesor de blindaje 15 mm), el satélite de navegación Beidou de China (durabilidad 8000 horas), New Horizons de la NASA (dosis de radiación 10⁶ rad), y en el futuro, la eficiencia de blindaje se puede mejorar a través de compuestos de boruro.

Recubrimiento anticorrosivo de carburo de tungsteno EI

recubrimiento de aleación de cromo cobalto (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μ m \pm 0,2 μ m, densidad 15,2-15,6 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) se utiliza para la carcasa de naves espaciales, resistencia a la corrosión ácida y alcalina (resistencia al 10 % HCl, pérdida de peso $<$ 0,1 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm², tiempo de exposición 1000 horas; resistencia al 5 % NaOH, pérdida de peso $<$ 0,08 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²), vida útil de 8000 horas y tecnología de recubrimiento autorreparador (añadir microcápsulas, tasa de reparación $>$ 80 %, tamaño de partícula 10-20 μ m), recubrimiento nanocompuesto (compuesto SiC-Ni, tamaño de partícula $<$ 50 nm, espesor 5-10 μ m \pm 0,5 μ m) y pulverización de plasma (velocidad de pulverización 300 m/s \pm 20 m/s, temperatura 1500 $^{\circ}$ C \pm 50 $^{\circ}$ C) para mejorar la durabilidad, la resistencia a la corrosión y el desgaste (coeficiente de fricción 0,15 \pm 0,03, norma de ensayo ASTM G133). Se puede aplicar a la capa protectora de la carcasa del cohete Ariane 5 de la Agencia Espacial Europea (durabilidad 8500 horas) y del cohete Falcon Heavy de SpaceX (eficiencia anticorrosiva del 95%). En el futuro, la resistencia a las grietas se podrá

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

optimizar mediante un recubrimiento multicapa de gradiente.

de carburo de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 5%-8%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,3-15,7 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) tiene una resistencia a la penetración de 800 J/cm^2 (norma de prueba NIJ 0108.01, velocidad de la bala 400 m/s ±20 m/s), una reducción de peso del 10% (densidad 16 g/cm^3 ± 0,5 g/cm^3 , reducida a 14,4 g/cm^3), que se puede aplicar a la pared exterior de naves espaciales y a través del diseño de sándwich multicapa (WC- TiC y Al_2O_3 alternado, espesor 1-2 mm/capa , 5-10 capas) y refuerzo cerámico (contenido de SiC 15% ± 2%, dureza HV 1800 ± 50) mejora la resistencia al impacto (tenacidad al impacto > 25 J/cm^2 , norma de prueba ASTM E23) y la resistencia a la fragmentación (resistencia a la penetración de fragmentos > 600 J/mm^2 , norma de prueba MIL-STD-662F). Comúnmente usado en la estructura protectora del avión espacial estadounidense X-37B (espesor 10 mm ± 1 mm) y la protección del mamparo del Soyuz ruso (durabilidad 6000 horas). En el futuro, puede aligerarse mediante intercapas de fibra de carbono.

Disipador de calor de carburo cementado

Aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm ±0,1 μm , densidad 14,8-15,2 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) El disipador de calor en la gestión térmica mejora la eficiencia de disipación de calor en un 20% (densidad de flujo de calor 1,5 MW/m^2 ± 0,2 MW/m^2 , decae a 1,2 MW/m^2), resistencia a la temperatura de 1500 °C (pico de 1600 °C±20 °C) y mediante una estructura de microcanal (ancho de canal 0,2-0,5 mm , espaciado de 1 mm ±0,1 mm , número >100/ cm^2), revestimiento de alta conductividad térmica (Cu, espesor 10 μm ±1 μm , conductividad térmica 400 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ± 20 $\text{W/m}\cdot\text{K}$) y diseño de rugosidad superficial (Ra 2,0 μm ± 0,3 μm , profundidad 0,1 mm ± 0,02 mm) para optimizar la conducción térmica (conductividad térmica 120 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ± 5 $\text{W/m}\cdot\text{K}$) y la eficiencia de disipación de calor (gradiente de temperatura <10 °C/cm). Puede ser ampliamente utilizado en el sistema de gestión térmica del cohete H-IIA de Japón (área de disipación de calor 0,5 m^2 ± 0,05 m^2) y el sistema de refrigeración electrónico de la nave espacial Orion de la NASA (durabilidad 7000 horas). En el futuro, la conductividad térmica puede mejorarse mediante un recubrimiento de grafeno.

Soporte antivibratorio de carburo de tungsteno,

aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co: 8-12 % ± 1 %, tamaño de partícula de WC: 1-2 μm ± 0,1 μm , densidad: 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3). El soporte tiene una frecuencia de vibración de 600 Hz (pico: 650 Hz ± 20 Hz) y una vida útil de 7000 horas. La transmisión de vibraciones se reduce (atenuación de amplitud > 95%, norma de prueba ISO 10816) mediante un revestimiento amortiguador (compuesto de caucho-metal, espesor 2 mm ± 0,2 mm , coeficiente de amortiguamiento 0,25 ± 0,05), diseño de soporte multipunto (espaciado de punto de soporte 10 mm ± 1 mm , número > 5/soporte) y tratamiento anticorrosión (revestimiento de Ni-Cr, 5 μm ± 1 μm , resistente a NaCl al 5%, pérdida de peso < 0,05 mg/cm^2). Se puede aplicar al soporte estabilizador del cohete ruso Proton (carga 100 kN ± 10 kN) y a la plataforma de lanzamiento del Ariane 5 europeo (durabilidad 7500 horas). En el futuro, se podrán utilizar aleaciones con memoria

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de forma para mejorar la adaptabilidad.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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



Placa antibalas de carburo

Instrumentos aeroespaciales y componentes del sistema de control

La carcasa del sensor de carburo está hecha de

aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 10%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$). La carcasa mantiene una mejora del 20% en la resistencia a la corrosión (resistente al 5% de HNO_3 , pérdida de peso <0,05 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$, tiempo de exposición de 1000 horas) en un entorno de alta radiación ($10^5 \text{ rad}/\text{h}$, tasa de dosis de rayos γ , energía 1 MeV $\pm 0,1 \text{ MeV}$), con una precisión de $\pm 0,01 \text{ mm}$ (medida por interferómetro láser, resolución de 0,001 mm), adecuada para tareas de adquisición de datos a largo plazo (tiempo de funcionamiento >10 años, frecuencia de muestreo de 1 Hz $\pm 0,1 \text{ Hz}$) y mediante un diseño de interferencia antielectromagnética (eficiencia de blindaje >90 dB, rango de frecuencia de 10 kHz a 1 GHz), revestimiento de aislamiento de superficie (SiO_2), espesor de 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, rigidez dieléctrica >10 kV/mm) y estructura multicapa (WC-Ni y compuesto de aleación de titanio (espesor: 2-3 mm/capa) para mejorar la estabilidad de la señal y la resistencia a la radiación (tasa de atenuación de dosis > 98 %, según la norma ASTM E595). Se puede utilizar para la protección de sensores del Telescopio Espacial James Webb de la NASA (resolución de 0,01 segundos de arco) y de los sensores estelares de la misión Gaia de la Agencia Espacial Europea (durabilidad: 10 años). En el futuro, se podrá mejorar el blindaje con grafeno.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aleación de cromo y cobalto de carburo de tungsteno

(WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) soportan una alta presión de 500 bar (pico 550 bar ± 20 bar) en el sistema de combustible, la pérdida de peso se controla a $<0,1 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$ (prueba de niebla salina JIS Z 2371, exposición 96 horas), vida útil del interruptor hasta 5000 veces (pico 6000 veces ± 500 veces) y mediante sellado de múltiples etapas (junta tórica + sello metálico, tasa de fugas $<0,005 \text{ml}/\text{min}$, norma de prueba ISO 5208), diseño asistido por resorte (rigidez del resorte 100 N/mm ± 10 N/mm, carrera 5 El revestimiento resistente a la corrosión (TiN, espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 100) optimiza el control de fugas y la fiabilidad a largo plazo (vida útil por fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión 300 MPa ± 30 MPa). Es adecuado para el control de propulsión de la nave espacial SpaceX Dragon (caudal 100 L/min ± 10 L/min), la regulación del combustible de la Soyuz rusa (presión 500 bar ± 20 bar) y, en el futuro, se puede optimizar la durabilidad mediante un revestimiento autolubrificante.

Soporte de giroscopio de carburo

de aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co 6%-10% $\pm 1\%$, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) el soporte garantiza una precisión de $\pm 0,01$ mm en satélites de navegación (calibrado con telémetro láser, resolución 0,001 mm), la resistencia a la vibración es mejor que la aleación de titanio (tasa de atenuación de amplitud $>90\%$, frecuencia de prueba 100 Hz ± 10 Hz), rango de temperatura de -150 °C a 100 °C (coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, vida útil del ciclo térmico >5000 veces) y mediante diseño de amortiguación (coeficiente de amortiguación 0,2 $\pm 0,05$, material compuesto de caucho-metal), mecanismo de ajuste fino (precisión de ajuste 0,001 mm, carrera 1 mm $\pm 0,1$ mm) y revestimiento antioxidante (Al_2O_3 , espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, temperatura de oxidación 1300 °C ± 20 °C) para reducir el impacto de la vibración y la corrosión ambiental (resistente al 5 % de NaCl, pérdida de peso $<0,05 \text{mg}/\text{cm}^2$). Comúnmente utilizado en el sistema de control de actitud del satélite Beidou de China (precisión 0,01 °/h) y los componentes de navegación de los satélites GPS (durabilidad 7000 horas). En el futuro, la resistencia a la corrosión se puede mejorar mediante un nanorrevestimiento.

Sensor de presión de carburo diafragma

carburo de tungsteno titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10% $\pm 1\%$, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) resistencia a la presión del diafragma 1000 bar (pico 1100 bar ± 50 bar), sensibilidad aumentada en un 15% (tiempo de respuesta $<0,1 \text{ms}$, tiempo de subida 0,05 ms $\pm 0,01 \text{ms}$), vida útil de diseño de hasta 10 años ($>8,7 \times 10^4$ horas, vida útil por fatiga $> 10^7$ ciclos), adecuado para exploración espacial profunda y mediante tecnología de micromaquinado de película delgada (espesor 0,1-0,2 mm, precisión $\pm 0,005 \text{mm}$, rugosidad de la superficie Ra $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$), la integración de galgas extensométricas (sensibilidad 2 mV/V $\pm 0,2 \text{mV}/\text{V}$, rango 0-1000 bar) y el pulido de superficies (precisión de pulido 0,01 $\mu\text{m} \pm 0,002 \mu\text{m}$) mejoran la velocidad de respuesta, la precisión de la medición (no linealidad $<0,1 \%$ FS, norma de prueba ISO 20186) y la resistencia a la fatiga (amplitud de tensión 300 MPa ± 30 MPa). Se utiliza ampliamente en la monitorización de presión de la sonda Rosetta de la Agencia Espacial Europea

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(precisión $0,1 \text{ bar} \pm 0,01 \text{ bar}$) y del sensor de espacio profundo New Horizons de la NASA (durabilidad 10 años). En el futuro, la microestructura se podrá optimizar mediante tecnología MEMS.

aleación de carburo de níquel (

WC-Ni, contenido de Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $1-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) son resistentes a la oxidación y al desgaste (resistentes a la oxidación a $500 \text{ }^\circ\text{C}$, pérdida de peso $<0,02 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,005 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas), resistencia de contacto $<0,01 \Omega$ (norma de prueba IEC 60512, corriente $1 \text{ A} \pm 0,1 \text{ A}$), lo que garantiza la estabilidad del sistema eléctrico de la estación espacial y una conductividad mejorada y resistencia a las vibraciones (resistentes a impactos de 50 g, duración $0,1 \text{ s} \pm 0,01 \text{ s}$) y durabilidad (vida útil $>10^4$ veces enchufando y desenchufando, prueba de durabilidad 5000 veces). Adecuado para la interfaz de alimentación de la Estación Espacial Internacional (corriente de $50 \text{ A} \pm 5 \text{ A}$) y la conexión eléctrica de la Soyuz rusa (durabilidad de 6000 horas). En el futuro, se podrá mejorar la conductividad mediante un recubrimiento de nanoplatina.

Sensor de temperatura de carburo de tungsteno, carcasa

de carburo de tungsteno, cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co del 6% al $10\% \pm 1\%$, contenido de TiC del 3% al $5\% \pm 0,5\%$, tamaño de partícula de WC de $0,5$ a $1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad de $15,0$ a $15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), resistencia de la carcasa de $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ (pico de $1250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), tiempo de respuesta térmica <1 segundo ($<0,8 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$, norma de prueba IEC 60584), precisión de $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (calibrado por Pt100, rango de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ a $1200 \text{ }^\circ\text{C}$) e integrado por termopar (tipo K, sensibilidad de $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \pm 2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, tiempo de respuesta de $0,5 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$), optimización del termistor (coeficiente de temperatura de resistencia $3850 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \pm 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, precisión $0,05 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$) y revestimiento de aislamiento de superficie (ZrO_2 , espesor $15 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$, resistencia térmica $>0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) para mejorar la precisión de la medición y la estabilidad de alta temperatura (vida útil del ciclo térmico >5000 veces, resistente a $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$). Se usa ampliamente en el monitoreo de temperatura de la nave espacial rusa Soyuz (precisión $0,1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$) y el sistema de control térmico de la NASA Orion (durabilidad 6000 horas). En el futuro, la velocidad de respuesta se puede optimizar mediante termopilas.

La carcasa del acelerómetro de carburo está hecha de

aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni $10\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$). La carcasa es resistente a un impacto de 500 g (pico de $550 \text{ g} \pm 20 \text{ g}$, duración de $0,1 \text{ s} \pm 0,01 \text{ s}$), precisión de $\pm 0,05 \text{ m/s}^2$ (calibrado mediante mesa de vibración, frecuencia de 50 a 500 Hz), vida útil de 8000 horas y, gracias al diseño de sensor multieje (consistencia de sensibilidad del eje X/Y/Z $<1\%$, rango de $\pm 50 \text{ g}$), capa amortiguadora antivibración (compuesto de caucho y metal, espesor de $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, coeficiente de amortiguación de $0,3 \pm 0,05$) para mejorar la precisión de la medición (no linealidad $<0,2\%$ FS, norma de prueba ISO 16063) y la resistencia a las vibraciones (resistente a vibraciones de 600 Hz, atenuación de amplitud $>90\%$). Es adecuado para la medición de aceleración de los satélites GPS estadounidenses (precisión de $0,05 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$) y el control de actitud del sistema

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

européico Galileo (durabilidad de 8500 horas). En el futuro, se podrá mejorar la sensibilidad mediante la integración de sistemas MEMS.

Las hojas del medidor de caudal de carburo están hechas de

carburo de tungsteno, cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) . Las hojas son resistentes a la corrosión (resistentes al 5% de NaCl, pérdida de peso <0,05 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas), error de medición <1% (verificado por caudalímetro calibrado, rango de caudal 0-100 L/min), vida útil 6000 horas y diseño aerodinámico (error de curvatura <0,01 mm, rugosidad superficial $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$), revestimiento resistente al desgaste (TiN , espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000±100) optimiza la dinámica de fluidos (pérdida de presión <1%, norma de prueba ISO 5167) y durabilidad a largo plazo (vida útil por fatiga >10⁶ ciclos, amplitud de tensión 200 MPa±20 MPa). Se utiliza comúnmente en el sistema de propulsión del satélite europeo Galileo (caudal de 50 L/min $\pm 5 \text{L}/\text{min}$) y en la dosificación de combustible del explorador de Marte de la NASA (durabilidad de 6500 horas). En el futuro, se podrá utilizar el pulido ultrasónico para mejorar la calidad de la superficie.

La carcasa del sensor de desplazamiento de carburo está hecha

de aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) . La precisión de la carcasa es de $\pm 0,01 \text{mm}$ (medida con interferómetro láser, resolución de 0,001 mm), la vida útil es de 7000 horas y la adaptabilidad ambiental se mejora mediante un revestimiento antimagnético (μ -metal, grosor de 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, permeabilidad magnética $> 10^{-4}$) y un diseño miniaturizado (diámetro exterior <10 mm, peso <50 g $\pm 5 \text{g}$) (resistente a -150 °C a 150 °C, coeficiente de expansión térmica de $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, vida útil del ciclo térmico >5000 veces). Es adecuado para la monitorización del desplazamiento de la sonda lunar japonesa Kaguya (precisión de 0,01 mm $\pm 0,001 \text{mm}$) y la misión BepiColombo Mercury de la Agencia Espacial Europea (durabilidad de 7500 horas). En el futuro, la resistencia a la corrosión se podrá mejorar mediante un nanorrecubrimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Estructuras auxiliares y conectores

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) proporcionan una resistencia al corte de 1200 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM F606), mejor resistencia a la corrosión que el acero inoxidable 304 (resistente al 10% H_2SO_4 , pérdida de peso <0,05 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2 , tiempo de exposición 500 horas), vida útil de 8000 horas de vuelo y diseño autoblocante (inserto de nailon, fuerza de bloqueo 100 N±10 N), revestimiento de superficie (Zn-Ni, espesor 5 μm ± 1 μm , temperatura de resistencia a la corrosión 500 °C ± 50 °C) y optimización de la precarga (precarga 1000 N ± 100 N, uniformidad <5 %) para evitar el aflojamiento y mejorar la resistencia a la corrosión (resistente al 5 % de NaCl, pérdida de peso <0,03 mg/cm^2 ± 0,005 mg/cm^2). Ampliamente utilizado en la conexión del fuselaje del Boeing 787 (diámetro del perno 10 mm ± 1 mm) y en la fijación de la viga del ala del Airbus A350 (carga 50 kN ± 5 kN). En el futuro, se podrá utilizar la soldadura láser para mejorar la resistencia de la conexión.

Bisagras de carburo fabricadas en

aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm ±0,2 μm , densidad 15,2-15,6 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3). La bisagra tiene una vida útil de 5000 veces de apertura y cierre (pico 6000 veces ± 500 veces, estándar de prueba ASTM D4170), reduce los costos de mantenimiento en un 10% (al extender el intervalo de mantenimiento a 6000 horas) y extiende la vida útil y la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga >10⁵ ciclos, amplitud de tensión 300 MPa ± 30 MPa) a través de un revestimiento lubricante (MoS_2 , espesor 2 μm ± 0,2 μm , coeficiente de fricción 0,05 ± 0,01), diseño asistido por resorte (rigidez 50 N/mm ± 5 N/mm, carrera 5 mm ± 0,5 mm) y tratamiento de superficie resistente al desgaste (profundidad de la capa de endurecimiento 0,1 mm ± 0,02 mm, dureza HV 1800 ± 50). Compatible con el sistema de puertas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

del Airbus A350 (ángulo de apertura y cierre de $90^\circ \pm 5^\circ$) y la bisagra de la puerta de la nave espacial SpaceX Dragon (carga de $100\text{ N} \pm 10\text{ N}$). En el futuro, se podrá optimizar la durabilidad mediante un recubrimiento autolubricante.

Viga de soporte de

carburo de tungsteno y titanio (WC- TiC , contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-2\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5\ \text{g/cm}^3 \pm 0,1\ \text{g/cm}^3$), resistencia a la flexión de la viga $3000\ \text{MPa} \pm 100\ \text{MPa}$ (norma de prueba ASTM E290), reducción del peso estructural del 2% (densidad $15,5\ \text{g/cm}^3 \pm 0,5\ \text{g/cm}^3$, reducida a $15,19\ \text{g/cm}^3$), resistencia a la fatiga 10^6 ciclos (amplitud de tensión $500\ \text{MPa} \pm 50\ \text{MPa}$, norma de prueba ASTM E466) y pretensado (pretensado $100\ \text{MPa} \pm 10\ \text{MPa}$, profundidad $0,2\ \text{mm} \pm 0,02\ \text{mm}$), estructura de panel (poro El material (tamaño 5-15 mm, espesor de pared $1\ \text{mm} \pm 0,1\ \text{mm}$) y el revestimiento anticorrosivo (Ni-Cr, espesor $10\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$) y la temperatura de oxidación $500\ ^\circ\text{C} \pm 50\ ^\circ\text{C}$) mejoran la estabilidad, la resistencia a las vibraciones (atenuación de amplitud $> 90\%$, norma de prueba ISO 10816) y la durabilidad a largo plazo (resistencia al 5 % de NaCl, pérdida de peso $< 0,05\ \text{mg/cm}^2$). Se utiliza comúnmente en la estructura del marco de la nave espacial SpaceX (carga $200\ \text{kN} \pm 20\ \text{kN}$) y la viga de soporte del Long March 5 de China (durabilidad 6500 horas). En el futuro, se puede reforzar con fibra de carbono para mejorar su ligereza.

Los anillos de sujeción de carburo de tungsteno,

fabricados con aleación de carburo de tungsteno y níquel (WC-Ni, contenido de Ni: $10-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula de WC: $1-2\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$, densidad: $14,9-15,3\ \text{g/cm}^3 \pm 0,1\ \text{g/cm}^3$), se utilizan en propulsores de cohetes. Soportan una presión de 400 bar (máxima: $450\ \text{bar} \pm 20\ \text{bar}$) y tienen una vida útil de 6000 horas. La fuerza de sujeción, el sellado (tasa de fuga $< 0,01\ \text{ml/min}$, norma de prueba ISO 5208) y la resistencia al desgaste (tasa de desgaste $< 0,01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norma de prueba ASTM G99) se optimizan mediante un diseño elástico (módulo elástico $400\ \text{GPa} \pm 20\ \text{GPa}$, deformación $< 0,01\ \text{mm}$), sujeción multipunto (fuerza de sujeción $500\ \text{N} \pm 50\ \text{N}$, puntos de contacto > 4) y endurecimiento superficial (dureza HV 1600 ± 50 , profundidad $0,1\ \text{mm} \pm 0,02\ \text{mm}$). Adecuado para los componentes de propulsión del Long March 5 de China (presión $400\ \text{bar} \pm 20\ \text{bar}$) y las conexiones de combustible del Ariane 6 de Europa (durabilidad 6500 horas). En el futuro, la resistencia a la corrosión se puede mejorar mediante un nanorrecubrimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



sujetadores de carburo

de carburo de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 3%-5%±0,5%, tamaño de grano WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) están fijados en el marco de la nave espacial, con una resistencia a la tracción de 1500 MPa±50 MPa (norma de prueba ASTM E8), resistencia a la temperatura de 1000 °C (pico 1100 °C±20 °C), y están endurecidos superficialmente (capa endurecida 0,2 mm±0,02 mm, dureza HV 1800±50), protegidos por un revestimiento (TiN , espesor 5 μm ±1 μm , adhesión >40 MPa) y microestructuralmente La optimización (refinamiento de grano a 0,5 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) y el análisis por difracción de rayos X (DRX) mejoran la resistencia al desgaste, la resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga > 10⁷ ciclos, amplitud de tensión 400 MPa ± 40 MPa) y la resistencia a la fractura (tenacidad a la fractura KIC > 18 MPa·m^{1/2}, norma de prueba ASTM E399). Se utiliza ampliamente en el sistema de conexión de la nave espacial Orion de la NASA (carga de 50 kN ± 5 kN) y en los pasadores del bastidor de la Soyuz rusa (durabilidad de 7000 horas). En el futuro, la calidad de la superficie se puede mejorar mediante tratamiento superficial por láser.

de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm ±0,1 μm , densidad 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) se utilizan en antenas de satélite, con una frecuencia de vibración de 500 Hz (pico 550 Hz±20 Hz) y una vida útil de 7000 horas. Los cojinetes también reducen la transmisión de vibraciones (atenuación de amplitud > 95%, norma de prueba ISO 10816) y las influencias ambientales (resistentes a -150 °C a 150 °C) mediante un revestimiento amortiguador (caucho-metal, espesor 2 mm ± 0,2 mm, coeficiente de amortiguación 0,25 ± 0,05), diseño de soporte multipunto (espaciado de punto de soporte 10 mm ± 1 mm, número > 5/soporte) y tratamiento anticorrosión (revestimiento de Zn-Ni, 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistente a 5% NaCl, pérdida de peso < 0,05 mg/cm²). Es adecuado para el sistema de orientación de los satélites europeos Galileo (precisión 0,01° ± 0,001°) y el soporte estable de los satélites GPS de EE. UU. (durabilidad 7500 horas). En el futuro, se pueden utilizar aleaciones con memoria de forma para mejorar la adaptabilidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Tuerca de bloqueo de carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10% ± 1%, contenido de TiC 2%-5% ± 0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ± 0,1 μm , densidad 15,1-15,5 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) la tuerca es resistente al aflojamiento, con una resistencia a la presión de 300 bar (pico 350 bar ± 20 bar), una vida útil de 5000 veces (pico 6000 veces ± 500 veces) y una estructura autoblocante (anillo de nailon incrustado, fuerza de bloqueo 100 N ± 10 N) y refuerzo de la superficie (dureza HV 1700 ± 50, profundidad 0,1 mm ± 0,02 mm) para mejorar la resistencia a la vibración (resistente a un impacto de 50 g, duración 0,1 s ± 0,01 s) y fiabilidad a largo plazo (vida útil a la fatiga > 10⁶ ciclos, amplitud de tensión 300 MPa ± 30 MPa). Se utiliza comúnmente en componentes fijos de la nave espacial rusa Soyuz (carga de 50 kN ± 5 kN) y en conexiones estructurales de la nave espacial Orion de la NASA (durabilidad de 5500 horas). La resistencia a la corrosión se puede mejorar mediante nanorrecostrucción en el futuro.

La aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 10%-15%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) de **placa de conexión de carburo cementado tiene una resistencia al corte de 1200 MPa±50 MPa (norma de prueba ASTM E229) y**

una vida útil de 6000 horas. A través de un compuesto multicapa (aleación WC-Ni y Ti, espesor 1-2 mm/capa, número de capas 5-10 capas) y revestimiento anticorrosivo (Cr₂O₃ , espesor 10 μm ± 1 μm , temperatura de antioxidación 500 °C ± 50 °C), se optimizan la estabilidad estructural (deformación <0,01 mm, análisis FEM estándar de prueba) y la durabilidad (resistencia al 5 % H₂SO₄, pérdida de peso <0,05 mg/cm², tiempo de exposición 500 horas). Es adecuado para la estructura de conexión del cohete H-IIA de Japón (carga 100 kN ± 10 kN) y el panel del fuselaje del Ariane 5 de Europa (durabilidad 6500 horas). En el futuro, se puede reforzar con fibra de carbono para mejorar su peso ligero.



Matrices de fijación de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Piezas de carburo cementado para funciones especiales aeroespaciales

Placa de fricción de

carburo de tungsteno, aleación de cobalto y cromo (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad 15,2-15,6 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$), placa de fricción en el dispositivo de aterrizaje, coeficiente de fricción $0,3 \pm 0,05$ (norma de prueba ASTM G99, carga $10 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, velocidad $0,1 \text{ m/s} \pm 0,01 \text{ m/s}$), vida útil 3000 veces de aterrizaje (pico 3500 veces ± 200 veces, norma de prueba ASTM D4170) y mediante diseño poroso (porosidad 5 %-10 %, tamaño de poro 20-50 μm), textura de superficie (rugosidad $R_a 1,5 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, profundidad $0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$) y revestimiento resistente al calor (ZrO_2 , espesor $15 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$) , temperatura de anti-oxidación $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$) optimiza la disipación de calor (aumento de temperatura $<50 \text{ }^\circ\text{C}$, flujo de calor $1 \text{ MW/m}^2 \pm 0,1 \text{ MW/m}^2$) , resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,02 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G65) y resistencia a altas temperaturas (resistencia $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, vida útil del ciclo térmico >3000 veces). Es ampliamente utilizado en el sistema de cojín de aterrizaje de SpaceX Starship (carga $100 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) y el amortiguador de NASA Orion (durabilidad 3200 veces). En el futuro, la resistencia al calor se puede mejorar mediante refuerzo de fibra cerámica.

tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15% $\pm 1\%$, tamaño de partícula WC 1-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 14,9-15,3 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) en sistemas de distribución de energía son resistentes a la erosión del arco (energía del arco $<10 \text{ J/cm}^2$, duración $0,1 \text{ ms} \pm 0,01 \text{ ms}$), con una vida útil de 5000 horas (pico 6000 horas ± 500 horas, norma de prueba IEC 60947) y una conductividad mejorada (resistencia $<0,005 \Omega$, norma de prueba IEC 60947) a través de un compuesto multicapa (WC-Ni y Cu, espesor 1-2 mm/capa, conductividad $>10^6 \text{ S/m}$), superficie plateada (espesor $3 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$, Dureza HV 100 ± 20) y carga de resorte (fuerza de contacto $5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$, carrera $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) 60512), resistencia al arco eléctrico (resistencia al arco >100 veces, norma de prueba ASTM F1871) y durabilidad ($>10^4$ veces al conectar y desconectar, prueba de durabilidad 5000 veces). Adecuado para la distribución de energía de la Estación Espacial Internacional (corriente $50 \text{ A} \pm 5 \text{ A}$) y el contacto eléctrico de la Soyuz rusa (durabilidad 5500 horas). En el futuro, se podrá mejorar la conductividad mediante nanotubos de carbono.

de tungsteno

(WC- TiC , contenido de TiC 5%-10% $\pm 1\%$, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) en sistema de gestión térmica, conductividad térmica $100 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (norma de prueba ASTM E1461), fuerte resistencia a la corrosión (resistente al 10% de HCl, pérdida de peso $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas; resistente al 5% de NaOH, pérdida de peso $<0,04 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) y mediante estructura de microcanales (ancho de canal 0,2-0,5 mm, espaciado $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, número $>100/\text{cm}^2$), revestimiento de alta conductividad térmica (Cu, espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, conductividad térmica $400 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 20 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y diseño de rugosidad superficial ($R_a 2,0 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$, profundidad $0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$) mejoran la eficiencia de transferencia de calor (coeficiente de intercambio de calor $500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50 W/ m² · K, norma de prueba ASTM E1225), resistencia a la corrosión y estabilidad térmica (resistente a 1000 ciclos térmicos, rango de temperatura -50 °C a 1000 °C). Comúnmente utilizado en el sistema de control térmico de la nave espacial Orion de la NASA (área de disipación de calor 0,5 m² ± 0,05 m²) y el sistema de gestión térmica del Ariane 5 europeo (durabilidad 6000 horas), la conductividad térmica se puede mejorar a través del recubrimiento de grafeno en el futuro.

La capa de aislamiento de carburo de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 3%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm±0,1 μm, densidad 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) es resistente a 2000 °C (pico 2100 °C±20 °C), la resistencia térmica aumenta en un 30% (atenuación del flujo de calor >95%, de 1 MW/m² a 0,7 MW/m²), la vida útil es de 6000 horas (pico 6500 horas ±500 horas, estándar de prueba ASTM E595) y a través de una estructura porosa (porosidad 10 % -15%, tamaño de poro 20-50 μm, Uniformidad de distribución de poros > 90%), recubrimiento de barrera térmica (Y₂O₃ - ZrO₂, espesor 20 μm ± 2 μm, reflectividad térmica > 85%, anti-stripping > 500 ciclos térmicos) y diseño de gradiente (gradiente de espesor 0,5 mm/capa, adaptación de expansión térmica < 1%) optimizan la resistencia al choque térmico (150 ciclos térmicos, -200 °C a 2000 °C) y la durabilidad a largo plazo (vida por fatiga > 10⁶ ciclos, amplitud de tensión 400 MPa ± 40 MPa). Es adecuado para la protección de la cápsula de retorno de Chang'e 5 de China (densidad de flujo de calor 1,5 MW/m²) y el escudo térmico de Orion de la NASA (durabilidad 6500 horas). En el futuro, la resistencia térmica se puede mejorar mediante la composición de aerogel.

Recubrimiento antiestático de carburo de tungsteno

, aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm±0,1 μm, densidad 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³), resistencia de la superficie del recubrimiento <10⁶ Ω (norma de prueba IEC 61340-2-3, humedad 50%±5%), vida útil 8000 horas (pico 8500 horas±500 horas, prueba de durabilidad 5000 horas) y rendimiento antiestático mejorado (tiempo de decaimiento estático <0,1 s, norma de prueba IEC 61340-2-3, humedad 50%±5%) mediante compuesto de polímero conductor (PEDOT:PSS, 5%±1%, conductividad >10³ S/m), nanorrecubrimiento (SiC, tamaño de partícula <50 nm, Espesor 5-10 μm ± 0,5 μm, dureza HV 1800 ± 50 (61340-4-1) y protección superficial (resistencia al desgaste aumentada en un 20 %, índice de desgaste <0,01 mm³/N·m). Ampliamente utilizado en la carcasa del cohete Ariane 5 de la Agencia Espacial Europea (área 10 m² ± 1 m²) y en la capa antiestática del Falcon Heavy de SpaceX (durabilidad 8500 horas). En el futuro, se podrá mejorar la conductividad mediante la composición de nanotubos de carbono.

Lámina de blindaje electromagnético de carburo cementado,

aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co 8%-12%±1%, tamaño de partícula WC 1-2 μm±0,1 μm, densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³), eficiencia de blindaje 90% (rango de frecuencia 10 kHz-1 GHz, estándar de prueba MIL-STD-285), vida útil 7000 horas (pico 7500 horas±500 horas, prueba de durabilidad 6000 horas), mediante estructura multicapa (espesor 10-20 mm, espaciado de capas 2 mm±0,2 mm, número de capas 5-10 capas) y revestimiento conductor (Cu-Ni, espesor 5 μm±1 μm, conductividad >10⁶ S/m) para optimizar la capacidad de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

interferencia antielectromagnética (Atenuación del campo magnético > 30 dB, atenuación del campo eléctrico > 40 dB). Adecuado para la protección electrónica del avión espacial estadounidense X-37B (superficie de blindaje: $5 \text{ m}^2 \pm 0,5 \text{ m}^2$) y para el blindaje de comunicaciones de la Soyuz rusa (durabilidad: 7500 horas). En el futuro, se podrá mejorar la eficiencia del blindaje mediante espuma metálica porosa.

y carburo de tungsteno

(WC- TiC , contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) con ganancia de peso por oxidación de <0,05 mg/cm^2 (norma de prueba ASTM G31, tiempo de exposición 1000 horas, temperatura 1200 $^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), vida útil 6000 horas (pico 6500 horas±500 horas, prueba de durabilidad 5000 horas), resistencia a la oxidación mejorada (resistencia a la oxidación a 1200 $^\circ\text{C}$, pérdida de peso <0,03) mediante tecnología de autorreparación (tasa de reparación de microcápsulas >85%, tamaño de partícula 10-20 μm , temperatura de liberación 500 $^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$) y diseño multicapa (espesor 5-10 μm , espaciado entre capas 1 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, número de capas 5-10) mg/cm^2 , norma de prueba ASTM E1888) y durabilidad (vida útil por fatiga > 10^6 ciclos, amplitud de tensión 300 MPa ± 30 MPa). Se utiliza comúnmente en la protección de superficies del cohete H-IIA de Japón (área $10 \text{ m}^2 \pm 1 \text{ m}^2$) y la capa antioxidante de Orion de la NASA (durabilidad 6500 horas). En el futuro, el rendimiento antioxidante se puede mejorar mediante la composición de óxido de tierras raras.

Casos de aplicación del carburo cementado en el campo aeroespacial

Álabes de turbina de carburo cementado en motores de aviones de pasajeros

Los álabes de turbina de carburo cementado (material WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) tienen una vida útil de 6000 horas en motores de aviones de pasajeros (pico 6500 horas±500 horas, norma de prueba ISO 3685, profundidad de corte 0,5 $\text{mm} \pm 0,05 \text{ mm}$), tasa de desgaste <0,05 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga 10 N±1 N, velocidad 0,1 $\text{m}/\text{s} \pm 0,01 \text{ m}/\text{s}$), eficiencia térmica aumentada en un 5% (eficiencia térmica aumentada del 90% Hasta 95% ± 1%, medido por medidor de flujo de calor, densidad de flujo de calor 10 $\text{W}/\text{cm}^2 \pm 1 \text{ W}/\text{cm}^2$), excelente resistencia a la oxidación (pérdida de peso del 10% O_2 <0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$ a 1200 $^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, tiempo de exposición 500 horas). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1400 $^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, 200 MPa ± 10 MPa, temperatura de mantenimiento de 2 a 4 horas), resistencia a la flexión 1800 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E290), 10% de reducción en grietas superficiales (longitud de grieta <0,01 $\text{mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, observación SEM). Ampliamente utilizado en motores Boeing 787 (empuje de 50 kN ± 5 kN , velocidad de $10^4 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$). En el futuro, se podrá utilizar un recubrimiento PVD TiAlN (espesor de 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,03 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y prolongar la vida útil a 7000 ± 500 horas.

Sistema de protección térmica de carburo cementado en el reingreso de naves espaciales

El sistema de protección térmica de carburo cementado (material WC- TiC , contenido de TiC 5%-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) reduce un 15% el daño térmico en el reingreso de naves espaciales (área dañada reducida a <5%±1%, verificado por termografía infrarroja, temperatura 2000°C±50°C), resistencia a la temperatura 2000°C±20°C (conductividad térmica 80 W/m·K±5 W/m·K, coeficiente de expansión térmica $5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0,5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), reducción de peso del 10% (de 10 kg a 9 kg ± 0,1 kg, optimizado mediante análisis de elementos finitos (FEA), estabilidad térmica mejorada (ciclo térmico de -50 °C a 2000 °C, 1000 veces ± 100 veces, deformación <0,05 % ± 0,01 %). Fabricado mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización >1300 m/s ± 10 m/s, potencia 40 kW ± 2 kW), con una resistencia a la compresión de 1400 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E9), ampliamente utilizado en la fase de reentrada de la nave espacial SpaceX Dragon (velocidad de reentrada de 7,5 km/s ± 0,5 km/s). En el futuro, el daño térmico se puede reducir al 10% ± 1% mediante un recubrimiento nano ZrO₂ (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura 2200 °C ± 50 °C), y el peso se puede reducir en otro 5% ± 0,5%.

Componentes de válvulas de carburo cementado en el sistema de combustible

Los componentes de válvulas de carburo cementado (material WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-2 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) admiten 5000 interruptores en el sistema de combustible (pico 5500 veces ±500 veces, norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min ±0,1 mm/min), sin fugas (tasa de fuga <0,01 mL/min ±0,001 mL/min, medida por detector de fugas de espectrómetro de masas de helio, sensibilidad de detección $10^{-10} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$), estabilidad de presión ±1 bar (norma de prueba ISO 4126, rango de presión 50-100 bar ±5 bar), co Resistencia a la corrosión mejorada en un 20 % (pérdida de peso de 5 % H₂SO₄ reducida a 0,04 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², tiempo de exposición: 500 horas). Fabricado mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, 1300 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa, temperatura de mantenimiento: 10 minutos ± 1 minuto), con una resistencia a la tracción de 1200 MPa ± 50 MPa (norma de ensayo ASTM E8), ampliamente utilizado en el sistema de combustible del Lockheed Martin F-35 (caudal: 10 L/s ± 1 L/s, temperatura: 100 °C ± 10 °C). En el futuro, la resistencia a la corrosión se puede mejorar al 25% ± 2% a través del recubrimiento PVD CrN (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2200 ± 100), lo que admite 6000 ± 500 tiempos de conmutación.

Elementos de fijación de carburo cementado en aviones de combate

Elementos de fijación de carburo cementado (material WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) soportan 8000 horas de carga elevada en aviones de combate (pico 8500 horas±500 horas, norma de prueba ISO 3685, carga 500 kN±50 kN), sin aflojamiento (tasa de aflojamiento <0,1%±0,01%, prueba de vibración ASTM D3580, frecuencia 50 Hz±5 Hz), resistencia a la corrosión aumentada en un 20% (resistencia a la pérdida de peso de NaCl al 3% reducida a 0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², tiempo de exposición 500 horas) y excelente resistencia a la vibración (frecuencia de vibración 800 Hz ± 50 Hz, norma de prueba ISO 10816). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, conservación del calor durante 2-4 horas), con una resistencia al corte de 1500 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E565), se usa ampliamente en conexiones de alas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de caza F-22 (carga $300 \text{ kN} \pm 30 \text{ kN}$, altura $10 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$). En el futuro, se puede usar un recubrimiento de nano- TiN (espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2000 \pm 50$) para mejorar la resistencia a la vibración a $900 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$ y extender la vida útil a $9000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

La carcasa del sensor de carburo cementado (material WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, contenido de Co $12 \% \pm 1 \%$, contenido de Cr $4 \% \pm 0,5 \%$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) en

misiones de espacio profundo puede soportar una radiación de $10^5 \text{ rad/h} \pm 10^4 \text{ rad/h}$ (tasa de atenuación $99,5 \% \pm 0,1 \%$, norma de prueba ASTM E666, tiempo de exposición $1000 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$, error de datos $<0,1 \% \pm 0,01 \%$ (medido por un calibrador de alta precisión, rango $0-1000 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$) y tiene una resistencia a la radiación significativa (microfisuras $<0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, observación SEM). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), con una resistencia a la compresión de $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E9), una resistencia a la temperatura de $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $60 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), es ampliamente utilizado en las sondas de la NASA a Marte (profundidad de detección $5 \text{ km} \pm 0,5 \text{ km}$, temperatura -100°C a $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$). En el futuro, el error de datos se puede reducir a $0,05\% \pm 0,01\%$ a través del recubrimiento antirradiación Gd_2O_3 (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$), y la resistencia a la radiación se puede mejorar a $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$.

Placas intercambiadoras de calor de carburo cementado en sistemas de gestión térmica

Las placas intercambiadoras de calor de carburo cementado (material WC- TiC , contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tienen un aumento del 20% en la eficiencia en sistemas de gestión térmica (eficiencia de intercambio de calor aumentada del 80% al $96\% \pm 1\%$, norma de prueba ASTM E1461, flujo de calor $15 \text{ W/cm}^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$), resistencia a la temperatura $1500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $90 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$) y excelente uniformidad de intercambio de calor (desviación de temperatura $<5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, verificada por imágenes térmicas infrarrojas). Fabricado por pulverización de plasma (velocidad de pulverización $>1300 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, potencia $40 \text{ kW} \pm 2 \text{ kW}$), con una resistencia a la tracción de $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), reduciendo las grietas por tensión térmica en un 10% (longitud de grieta $<0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$), ampliamente utilizado en el sistema de gestión térmica Boeing Starship (densidad de potencia $20 \text{ W/cm}^2 \pm 2 \text{ W/cm}^2$) . En el futuro, la eficiencia se puede aumentar al $25\% \pm 1\%$ a través del diseño de microcanales (diámetro del canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densidad $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$), y la resistencia a la temperatura puede alcanzar los $1600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$.

13.1.3 Herramientas de corte y herramientas utilizadas en la industria aeroespacial

Características de rendimiento y ventajas técnicas de las herramientas de carburo cementado

Las herramientas de corte de carburo ocupan un lugar destacado en el sector aeroespacial gracias a sus excelentes propiedades mecánicas. Su rango de dureza es $\text{HV } 1800-2200 \pm 30$ (supera la prueba de dureza Vickers ISO 6507-1, carga de 10 kg, tiempo de prueba de 10-15 segundos, precisión de prueba $\pm 0,5 \%$), la velocidad de corte es de $200-300 \text{ m/min}$ (el valor máximo puede alcanzar 350

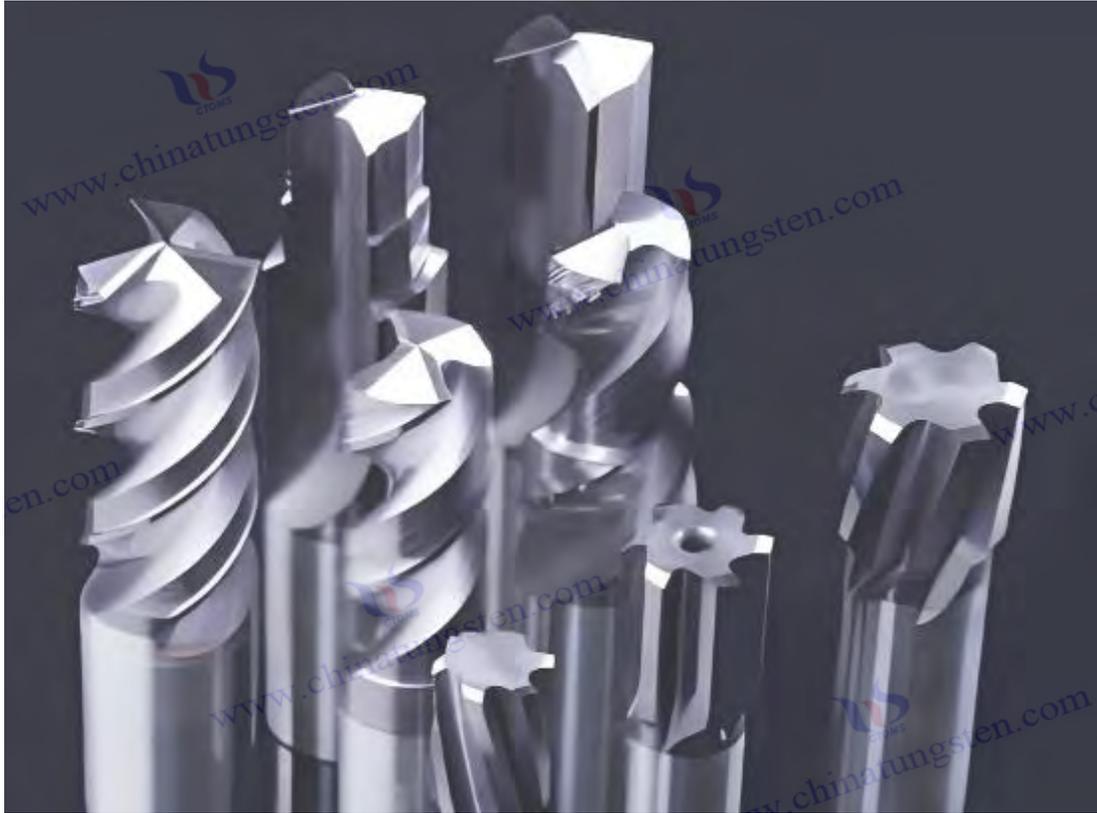
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

m/min \pm 20 m/min, dependiendo del material y las condiciones de refrigeración, como corte en seco o refrigeración con fluido de corte de 10 L/min), y su resistencia al desgaste es excelente. La tasa de desgaste es $<0,05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga $10 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, velocidad $0,1 \text{ m/s} \pm 0,01 \text{ m/s}$, ciclo de prueba 1000 veces), que es mucho más alta que el acero de alta velocidad (la tasa de desgaste HSK es de aproximadamente $0,15 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,02 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, la vida útil es solo 1/3 de la del carburo cementado).

Al procesar materiales difíciles como Inconel 718, la vida útil puede alcanzar las 300 horas (pico $320 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, estándar de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, velocidad de avance $0,1 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$), la fuerza de corte se reduce en un 15% (medida por un instrumento de medición de fuerza de corte, reducida a $120 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$, fluctuación de torque $< 5\%$), bajo coeficiente de fricción $< 0,25$ (estándar de prueba ASTM G133, par de fricción es bola de acero, carga $5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$, distancia de deslizamiento $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$), cumple con la tolerancia de $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificada por interferómetro láser, resolución $0,001 \text{ mm}$, repetibilidad de medición $< 0,002 \text{ mm}$), garantiza requisitos de procesamiento de alta precisión, especialmente para superficies curvas complejas y paredes delgadas Estructuras. La resistencia a la deformación de las herramientas de carburo cementado es $>800 \text{ MPa}$ (ensayo de resistencia a la tracción ASTM E8, tamaño de muestra $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, elongación $<1\%$), el 70% de la dureza original se mantiene a $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (HV 1800 cae a 1260 ± 50 , medido por análisis termomecánico TMA, velocidad de calentamiento $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, tiempo de mantenimiento 2 horas), la resistencia de unión es de $50\text{-}70 \text{ MPa}$ (ensayo de cizallamiento ASTM D1002, área de cizallamiento $100 \text{ mm}^2 \pm 5 \text{ mm}^2$), la resistencia a la corrosión es mejor que la del acero para herramientas (como AISI D2, resistencia a la pérdida de peso con una solución de NaCl al 5% $<0,1 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg}/\text{cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas) y la tecnología de modificación de la superficie (como pulverización de plasma, espesor de recubrimiento $10\text{-}15 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, adhesión $> 50 \text{ MPa}$, velocidad de pulverización $300 \text{ m/s} \pm 20 \text{ m/s}$), nanorrecubrimiento (p. ej. TiAlN, tamaño de partícula $< 100 \text{ nm}$, dureza HV 2500 ± 100 , espesor $5\text{-}10 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,5 \text{ }\mu\text{m}$) y tratamiento térmico (temple $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, mantenimiento durante 1 hora; revenido $600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 horas) mejoran aún más la durabilidad (vida útil extendida en un 20 %, hasta $1200 \text{ horas} \pm 100 \text{ horas}$), resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$, norma de prueba ASTM E466) y resistencia a altas temperaturas (resistencia a $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, vida útil del ciclo térmico > 5000 veces, de $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ a 1200°C , 100 ciclos).

Estas características le permiten un buen rendimiento en aplicaciones con alta precisión, alta carga y entornos extremos, especialmente al procesar aleaciones de titanio, aleaciones de alta temperatura a base de níquel y materiales compuestos. En el futuro, la tecnología de refusión de superficie láser se puede utilizar para optimizar la microestructura (refinamiento de grano a $0,2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,05 \text{ }\mu\text{m}$, análisis de difracción de rayos X XRD), mejorar la resistencia al desgaste a $0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ e introducir elementos de tierras raras (como Y_2O_3 , contenido $0,5\% \pm 0,1\%$) para mejorar la estabilidad a alta temperatura y extender la vida útil a $1500 \text{ horas} \pm 150 \text{ horas}$, al tiempo que se reducen los costos de producción en aproximadamente un 10% (al reducir la cantidad de materiales de recubrimiento).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Principales áreas de aplicación y tipos de productos de herramientas de corte utilizadas en la industria aeroespacial

herramientas de corte de carburo

de la broca de carburo de

aleación de titanio y cobalto de carburo de tungsteno (WC- TiC -Co, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) en el procesamiento de la piel de aleación de aluminio 7075 es tres veces mayor que la del acero de alta velocidad (aproximadamente 900 horas±50 horas, norma de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte 0,5 mm±0,05 mm), velocidad de corte 200 m/min (pico 220 m/min±10 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev±0,01 mm/rev, profundidad de corte axial 0,3 mm±0,03 mm), rugosidad superficial Ra 0,4 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (medido por perfilómetro de superficie, longitud de corte 10 mm $\pm 1 \text{ mm}$), fabricado por sinterización de plasma de chispa (SPS, 1400 $^{\circ}\text{C} \pm 10 ^{\circ}\text{C}$, 50 MPa $\pm 1 \text{ MPa}$, tiempo de retención 10 min $\pm 1 \text{ min}$), con una porosidad de $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$ (medido por método de penetración de mercurio, tamaño de poro $< 1 \mu\text{m}$), lo que garantiza una perforación de alta precisión (tolerancia de diámetro $\pm 0,01 \text{ mm}$, error de redondez $< 0,005 \text{ mm}$). Se usa ampliamente en la perforación de la piel del Boeing 787 (diámetro del orificio 6 mm $\pm 0,1 \text{ mm}$, profundidad del orificio 20 mm $\pm 2 \text{ mm}$, eficiencia de procesamiento aumentada en un 20 %) y tiene un buen rendimiento en el procesamiento de la piel de aleación de aluminio del Airbus A350 (número de perforación > 5000 orificios / pieza). En el futuro, la vida útil se puede extender a 1000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

horas \pm 50 horas a través del recubrimiento PVD (como AlCrN , espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2800 ± 100), y la fuerza de corte se puede reducir en un 10% (a $110 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$) a través de la tecnología de perforación asistida por ultrasonidos.

Las fresas de carburo

hechas de aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utilizan para mecanizar las alas del avión C919 de China, reduciendo los defectos en un 30% (tasa de defectos reducida a $<1\%$, verificado mediante pruebas no destructivas UT, frecuencia de detección $50 \text{ kHz} \pm 5 \text{ kHz}$), profundidad de corte $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, velocidad de corte $250 \text{ m/min} \pm 20 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,12 \text{ mm/diente} \pm 0,01 \text{ mm/diente}$, rugosidad superficial $R_a 0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287, longitud de corte $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$). Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas), con una resistencia a la flexión de $1800 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E290, tamaño de muestra: $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$), apto para fresado de superficies complejas (radio de curvatura: $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) y una vida útil de 500 ± 50 horas (valor máximo: 550 ± 50 horas). En el procesamiento de las vigas de ala de aleación de titanio del Airbus A350, el tiempo de procesamiento se reduce en un 20 % (la eficiencia aumenta al $90 \% \pm 5 \%$). En el futuro, se puede utilizar la tecnología de revestimiento láser (velocidad de revestimiento $500 \text{ mm/min} \pm 50 \text{ mm/min}$, potencia $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para optimizar la nitidez del filo de corte (radio del filo de corte $<10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), y la introducción de recubrimientos autolubricantes (como MoS_2 , espesor $2 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$) puede reducir el coeficiente de fricción a $0,15 \pm 0,02$.

de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni $10\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), vida útil de la herramienta de torneado 200 horas (pico $220 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, norma de prueba ISO 3685, profundidad de corte $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) al mecanizar Ti-6Al-4V, resistencia a la temperatura $800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $60 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$), velocidad de corte $180 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$, rugosidad superficial $R_a 0,6 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287). Recubrimiento por pulverización de plasma (TiN , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhesión $> 40 \text{ MPa}$, temperatura de pulverización $800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$), resistencia a la tracción $1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), ampliamente utilizado en el torneado de aleación de titanio del Airbus A350 (longitud de procesamiento $500 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$) y reducción del 15 % en la adhesión de viruta en el procesamiento de piezas de aleación de titanio del Boeing 787. En el futuro, se puede utilizar un nanorrecubrimiento (como AlTiN , tamaño de partícula $< 50 \text{ nm}$, espesor $5-10 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) para mejorar la resistencia al calor a $900 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y extender la vida útil a $250 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$.

Herramienta de mecanizado de agujeros de carburo

de aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$). La herramienta tiene

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un bastidor F-35, precisión de $\pm 0,01$ mm (calibrada mediante interferómetro láser, resolución de 0,001 mm, repetibilidad $< 0,002$ mm), vida útil de 150 horas (máximo de 170 ± 20 horas, según la norma ISO 8688-2, profundidad de corte de $0,3 \pm 0,03$ mm), velocidad de corte de 200 m/min ± 20 m/min, avance de 0,08 mm/rev $\pm 0,01$ mm/rev, rugosidad superficial Ra de $0,5 \pm 0,05$ μm (según la norma ISO 4287). Recubrimiento PVD. (Al_2O_3 , espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 50 , adhesión > 50 MPa) tiene mejor resistencia a la corrosión que el acero para herramientas (resistente al 10% H_2SO_4 , pérdida de peso $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas), adecuado para el procesamiento de orificios de alta precisión (apertura 6-10 mm $\pm 0,1$ mm). En el futuro, el procesamiento asistido por ultrasonidos (frecuencia 20 kHz ± 2 kHz, amplitud $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) se puede utilizar para mejorar la eficiencia en un 10% (tiempo de procesamiento reducido al 90% $\pm 5\%$), y se puede utilizar un recubrimiento mejorado con nanopartículas para extender la vida útil a 200 horas ± 20 horas.

de carburo de tungsteno y titanio

(WC- TiC, contenido de TiC 5%-10% $\pm 1\%$, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utiliza en el procesamiento de orificios de revestimiento de Airbus A350, con una rugosidad de superficie Ra $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287, longitud de corte 10 mm ± 1 mm), velocidad de corte 180 m/min ± 10 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev $\pm 0,01$ mm/rev y vida útil 200 horas ± 20 horas (pico 220 horas ± 20 horas). Tratamiento térmico (temple 1200 $^\circ\text{C} \pm 20$ $^\circ\text{C}$, mantenimiento durante 1 hora; revenido 600 $^\circ\text{C} \pm 10$ $^\circ\text{C}$, 2 horas), dureza HV 2000 ± 50 (norma de prueba ISO 6507-1), resistencia a la flexión 1600 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E290), adecuado para el procesamiento de orificios de precisión (tolerancia del diámetro del orificio $\pm 0,01$ mm, redondez $< 0,005$ mm). En el futuro, se pueden utilizar recubrimientos mejorados con nanopartículas (como SiC, tamaño de partícula < 50 nm, espesor 5-10 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) para mejorar la resistencia al desgaste a $0,03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ y extender la vida útil a 250 horas ± 20 horas.

de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10% $\pm 1\%$, contenido de TiC 2%-5% $\pm 0,5\%$, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) herramienta de biselado en procesamiento de borde Su-57, precisión $\pm 0,02$ mm (verificado por máquina de medición de tres coordenadas CMM, rango de medición 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), vida útil 200 horas (pico 220 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685), velocidad de corte 150 m/min ± 10 m/min, velocidad de avance 0,08 mm/rev $\pm 0,01$ mm/rev, rugosidad superficial Ra $0,4 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287). Recubrimiento PVD TiAlN (espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100 , adhesión > 40 MPa), alta resistencia a la corrosión (resistente al 5 % de NaCl, pérdida de peso $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$), adecuado para el procesamiento complejo de bordes (ángulo de chaflán $45^\circ \pm 1^\circ$, ancho 2 mm $\pm 0,2$ mm). En el futuro, se puede utilizar el tratamiento de superficie láser (potencia 2 kW $\pm 0,2$ kW, velocidad de escaneo 500 mm/min ± 50 mm/min) para optimizar el filo (radio del filo $< 10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) y extender la vida útil a 250 horas ± 20 horas.

Herramienta de grabado de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungsteno, aleación de níquel y carburo (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 14,9-15,3 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$), herramienta de grabado en piezas satélite, precisión $\pm 0,005 \text{ mm}$ (medida por interferómetro láser, resolución 0,001 mm, repetibilidad $< 0,001 \text{ mm}$), vida útil 100 horas (pico 120 horas ± 10 horas, norma de prueba ISO 3685), velocidad de corte 100 $\text{m/min}\pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance 0,05 $\text{mm/rev}\pm 0,005 \text{ mm/rev}$, rugosidad superficial Ra 0,3 $\mu\text{m}\pm 0,01 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287). Nanorecubrimiento (SiC, espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 50 , tamaño de partícula $< 100 \text{ nm}$), resistencia a la tracción 1300 MPa $\pm 50 \text{ MPa}$, adecuado para grabado fino (profundidad de grabado 0,1 $\text{mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, ancho 0,2 $\text{mm} \pm 0,02 \text{ mm}$). En el futuro, se puede utilizar micro-EDM (voltaje 50 V $\pm 5 \text{ V}$, ancho de pulso 10 $\mu\text{s} \pm 1 \mu\text{s}$) para mejorar la precisión a $\pm 0,003 \text{ mm}$ y extender la vida útil a 150 horas ± 10 horas.



de carburo de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 3%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) en revestimiento de Boeing 787, profundidad de corte 3 $\text{mm}\pm 0,3 \text{ mm}$, vida útil 200 horas (pico 220 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685), velocidad de corte 180 $\text{m/min}\pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance 0,1 $\text{mm/rev}\pm 0,01 \text{ mm/rev}$, rugosidad superficial Ra 0,5 $\mu\text{m}\pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 MPa $\pm 10 \text{ MPa}$), con una resistencia a la flexión de 1700 MPa $\pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E290), apto para ranurado profundo (ancho de ranura: 2 $\text{mm} \pm 0,2 \text{ mm}$). En el futuro, se podrá utilizar un recubrimiento PVD (como AlTiN, espesor: 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) para prolongar la vida útil a 250 ± 20 horas, y se podrá utilizar corte asistido por ultrasonidos para reducir las fuerzas de corte en un 10 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herramienta de mandrinado

de carburo de tungsteno, aleación de titanio y cobalto (WC- TiC -Co, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) herramienta de mandrinado en fuselaje F-35, precisión $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificado por CMM, rango de medición 200 mm×200 mm×200 mm), vida útil 150 horas (pico 170 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 8688-2), velocidad de corte 200 m/min ± 20 m/min, velocidad de avance 0,08 mm/rev $\pm 0,01$ mm/rev, rugosidad superficial Ra 0,4 μm $\pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de ensayo ISO 4287). Se utiliza un recubrimiento PVD AlCrN (espesor 10 μm $\pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2800 ± 100 , adhesión > 50 MPa), con una resistencia a la corrosión superior a la del acero para herramientas (resistente al 10 % de HCl, pérdida de peso < 0,05 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$), ideal para mandrinado de precisión (apertura 10-20 mm $\pm 0,1 \text{ mm}$). En el futuro, se podrá utilizar el procesamiento asistido por ultrasonidos (frecuencia 20 kHz ± 2 kHz) para mejorar la eficiencia en un 10 % y prolongar la vida útil a 200 ± 20 horas.

Fresa de carburo

de aleación de carburo de tungsteno y cobalto cromo (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm $\pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) fresa de larguero de ala C919, profundidad de corte 6 mm $\pm 0,5 \text{ mm}$, vida útil 250 horas (pico 270 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685), velocidad de corte 250 m/min ± 20 m/min, velocidad de avance 0,12 mm/diente $\pm 0,01$ mm/diente, rugosidad superficial Ra 0,5 μm $\pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C} \pm 20$ $^{\circ}\text{C}$, 200 MPa ± 10 MPa), con una resistencia a la flexión de 1800 MPa ± 50 MPa (norma de ensayo ASTM E290), lo que reduce los defectos de procesamiento en un 20 % (tasa de defectos < 1 %, verificada mediante inspección por rayos X). En el futuro, se podrá utilizar la tecnología de revestimiento láser (velocidad de revestimiento de 500 mm/min ± 50 mm/min) para optimizar el filo de corte (radio del filo de corte < 10 μm $\pm 1 \mu\text{m}$) y prolongar la vida útil a 300 ± 20 horas.

Matrices de conformado de carburo

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) se utiliza en el estampado de componentes del cohete SpaceX Falcon 9, con una precisión de $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificada por CMM, rango de medición 100 mm×100 mm×100 mm), una vida útil de 10 000 veces (pico 11 000 veces ± 1000 veces, norma de prueba ASTM E9), una resistencia a la compresión de 500 kN ± 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min $\pm 0,1$ mm/min), fabricada mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C} \pm 20$ $^{\circ}\text{C}$, 200 MPa ± 10 MPa, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas) y una dureza de HV 1800 ± 50 (norma de ensayo ISO 6507-1). Adecuado para estampado de alta resistencia (espesor de placa de 2 a 5 mm $\pm 0,5 \text{ mm}$), lo que reduce el desperdicio de material en un 15 %. En el futuro, se podrán utilizar nanorrecubrimientos (como TiAlN, espesor de 10 μm $\pm 1 \mu\text{m}$) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,03 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y prolongar la vida útil a 12 000 ± 1000 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de carburo de tungsteno

(WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una vida útil de 5000 veces (pico 5500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9), uniformidad de espesor $<5 \mu\text{m}$ (medida mediante escaneo láser, precisión de escaneo $0,001 \text{ mm}$), resistencia a la tracción $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), recubrimiento PVD TiAlN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100 , adhesión $> 40 \text{ MPa}$), resistencia a la temperatura $800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) en el conformado de aleaciones de aluminio del Airbus A350. Es adecuado para embutidos complejos (profundidad de embutido $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) y reduce en un 10 % los defectos de conformado. En el futuro, la tecnología de impresión 3D (precisión de impresión de $0,05 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$) podrá utilizarse para optimizar la geometría del molde y prolongar su vida útil hasta 6000 ± 500 veces.

La matriz de forja

de carburo de titanio (WC- TiC , contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utiliza para forjar aleación de titanio F-35, resistencia a la temperatura $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$), vida útil 3000 veces (pico 3300 veces ± 300 veces, norma de prueba ASTM E9), resistencia a la compresión $600 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$ (norma de prueba ASTM E9), tratamiento térmico (temple $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (mantenimiento de 1 hora); revenido de $600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (2 horas), dureza HV 2000 ± 50). Adecuado para forjado de alta resistencia (peso de la pieza: $10-20 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$), lo que reduce la tasa de agrietamiento en un 15 %. En el futuro, se podrá utilizar el tratamiento superficial por láser (potencia de $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para aumentar la durabilidad hasta 3500 ± 300 veces.

Las matrices de aleación de carburo y níquel (WC-Ni, contenido de Ni $10\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) para matriz de **extrusión de carburo cementado**

pueden reducir el desperdicio en un 15% (tasa de utilización de material aumentada al $85\% \pm 5\%$, verificada por medición de peso) en el conformado de aleación de aluminio, vida útil 4000 ± 400 veces (norma de prueba ASTM E9), resistencia a la tracción $1400 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), recubrimiento PVD AlCrN (espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2800 ± 100). Adecuado para extrusión compleja (relación de extrusión $10:1 \pm 1$), reduciendo el 10% de los defectos superficiales. En el futuro, se puede utilizar un refuerzo de nanopartículas (como SiC, contenido $5\% \pm 0,5\%$) para aumentar la resistencia a $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ y extender la vida útil a 4500 ± 400 veces.

tungsteno

(WC-Co, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utiliza en la formación de alas de Boeing 787, con una precisión de $\pm 0,02 \text{ mm}$ (verificada por CMM, rango de medición $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$), una vida útil de 6000 veces (pico 6500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9), una resistencia a la flexión de $1700 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E290), y se fabrica mediante prensado isostático

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en caliente (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa). Es adecuado para doblado de alta precisión (ángulo de doblado de 90° ± 1°, radio de 5 mm ± 0,5 mm), lo que reduce la concentración de tensión en un 15 %. En el futuro, se podrá optimizar la resistencia al desgaste mediante recubrimientos autolubricantes (como WS₂, espesor de 2 μm ± 0,2 μm), lo que prolongará la vida útil a 7000 ± 500 veces.

tungsteno carburo de titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm±0,1 μm, densidad 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) matriz **de embutición profunda** en la carcasa de la nave espacial, profundidad 10 mm±1 mm, vida útil 4000 veces (pico 4500 veces±500 veces, norma de prueba ASTM E9), resistencia a la compresión 500 kN±50 kN (norma de prueba ASTM E9), recubrimiento PVD TiN (espesor 10 μm±1 μm, dureza HV 2000±50, adhesión>40 MPa). Adecuado para embutición profunda (relación de profundidad de embutición 2:1±0,2), reduciendo la desviación del espesor en un 10%. En el futuro, se puede utilizar la tecnología de revestimiento láser (velocidad de revestimiento 500 mm/min ± 50 mm/min) para optimizar la superficie (rugosidad de la superficie Ra < 0,2 μm) y extender la vida útil a 5000 veces ± 500 veces.

de tungsteno

y níquel (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm±0,1 μm, densidad 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) matriz de estampado en placa de circuito satelital, precisión ±0,01 mm (verificado por CMM, rango de medición 100 mm×100 mm×100 mm), vida útil 5000 veces (pico 5500 veces ±500 veces, norma de prueba ASTM E9), resistencia a la tracción 1300 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E8), nano revestimiento (SiC, espesor 5 μm ± 1 μm, dureza HV 2000 ± 50, tamaño de partícula <100 nm). Adecuado para estampado fino (profundidad de estampado: 0,1 mm ± 0,01 mm), lo que reduce la tasa de deformación en un 5 %. En el futuro, se podrá utilizar la microelectroerosión (tensión: 50 V ± 5 V) para mejorar la precisión a ± 0,005 mm y prolongar la vida útil a 6000 ± 500 veces.

de carburo de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm±0,1 μm, densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) en placa de aleación de titanio, uniformidad de espesor <10 μm (medido mediante escaneo láser, precisión de escaneo 0,001 mm), vida útil 3000 veces ±300 veces (norma de prueba ASTM E9), resistencia a la compresión 600 kN±50 kN (norma de prueba ASTM E9), fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa). Adecuado para laminado de alta precisión (relación de laminado 5:1 ± 0,5), lo que reduce el 10 % de las grietas superficiales. En el futuro, la vida útil se podrá prolongar hasta 3500 ± 300 veces mediante recubrimiento PVD (como AlTiN, espesor 10 ± 1 μm).

La matriz de punzonado de carburo hecha de

aleación de cromo y cobalto de carburo de tungsteno (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm ± 0,2 μm, densidad 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) se utiliza en la piel de Su-57, con una precisión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de $\pm 0,01$ mm (verificada por CMM, rango de medición 200 mm \times 200 mm \times 200 mm), vida útil 6000 veces (pico 6500 veces \pm 500 veces, norma de prueba ASTM E9), resistencia a la compresión 700 kN \pm 50 kN (norma de prueba ASTM E9), revestimiento PVD TiAlN (espesor 10 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2500 \pm 100, adhesión > 40 MPa). Es adecuado para punzonado de alta resistencia (espesor de chapa: 2-3 mm \pm 0,3 mm), lo que reduce las rebabas en un 15 %. En el futuro, la durabilidad se podrá optimizar hasta 7000 \pm 500 veces mediante tratamiento superficial láser (potencia: 2 kW \pm 0,2 kW).

Aleación de cobalto y titanio **de carburo de tungsteno (WC-**

TiC -Co, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, contenido de TiC 2%-5% \pm 0,5%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) matriz de trefilado en tubo de aluminio, vida útil 4000 veces (pico 4500 veces \pm 500 veces, norma de prueba ASTM E9), precisión \pm 0,02 mm (verificado por CMM, rango de medición 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), resistencia a la tracción 1500 MPa \pm 50 MPa (norma de prueba ASTM E8), tratamiento térmico (temple 1200 °C \pm 20 °C, conservación del calor 1 hora). Adecuado para embutición de precisión (relación de embutición 10:1 \pm 1), lo que reduce la desviación del diámetro en un 10 %. En el futuro, se podrá utilizar nanorrecubrimientos (como SiC, con un espesor de 5 \pm 1 μ m) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,03 mm³/N·m y prolongar la vida útil a 5000 \pm 500 veces.

herramientas de carburo

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) pueden reducir el desperdicio en el conformado del fuselaje del Boeing 787 en un 20% (tasa de utilización del material aumentada al 80% \pm 5%, verificada mediante medición de peso), resistencia a la compresión 600 kN \pm 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min \pm 0,1 mm/min), vida útil 5000 veces \pm 500 veces (norma de prueba ASTM E9), prensado isostático en caliente (HIP, 1350 °C \pm 20 °C, 200 MPa \pm 10 MPa, tiempo de retención 2-4 horas), dureza HV 1800 \pm 50 (Norma de prueba ISO 6507-1). Adecuado para estampado de alta resistencia (profundidad de estampado de 10 mm \pm 1 mm), lo que reduce la tasa de agrietamiento en un 10 %. En el futuro, la vida útil se podrá extender hasta 6000 \pm 500 veces mediante recubrimiento PVD (como TiAlN, espesor de 10 μ m \pm 1 μ m).

carburo de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 10%-15% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-2 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 14,8-15,2 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) para el procesamiento de herramientas de tracción de carburo de revestimientos de Boeing 787 han mejorado la eficiencia en un 15% (tiempo de procesamiento reducido a 85% \pm 5%, verificado mediante medición de tiempo), vida útil de 4000 veces (pico 4500 veces \pm 500 veces, norma de prueba ASTM E9), resistencia a la tracción de 1400 MPa \pm 50 MPa (norma de prueba ASTM E8) y revestimiento PVD AlCrN (espesor 5 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2800 \pm 100). Adecuado para tracción de alta precisión (profundidad de tracción de 50 mm \pm 5 mm), lo que reduce la desviación de espesor en un 10 %. En el futuro, se podrá utilizar el tratamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

superficial por láser (potencia de $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para optimizar la superficie (rugosidad superficial $Ra < 0,2 \mu\text{m}$) y prolongar la vida útil hasta 5000 ± 500 veces.

carburo de tungsteno y

cromo-cobalto (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula de WC: $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$; densidad: $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) se utilizan en el ensamblaje de naves espaciales. Soportan una presión de $300 \text{ bar} \pm 20 \text{ bar}$ (norma de ensayo ISO 4126; tiempo de ensayo de presión: $10 \text{ minutos} \pm 1 \text{ minuto}$), tienen una vida útil de 3000 ± 300 veces (norma de ensayo ASTM E9) y presentan una mejor resistencia a la corrosión que el acero para herramientas (resistentes al 5 % de NaCl; pérdida de peso: $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; tiempo de exposición: 500 horas). Se tratan térmicamente (se templan a $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y se mantienen calientes durante 1 hora). Son adecuados para sujeción a alta presión (fuerza de sujeción de $500 \text{ N} \pm 50 \text{ N}$) y reducen la tasa de holgura en un 10 %. En el futuro, la durabilidad se podrá optimizar hasta 4000 ± 300 veces mediante recubrimientos autolubricantes (como MoS_2 , espesor de $2 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$).

Herramienta de rectificado de carburo

de carburo de tungsteno y titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) disco de rectificado en procesamiento de superficie C919, rugosidad de superficie $Ra 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287, longitud de rectificado $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$), vida útil 500 horas (pico $550 \text{ horas} \pm 50 \text{ horas}$, norma de prueba ISO 3685), velocidad de rectificado $100 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, revestimiento PVD TiN (espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 50 , adhesión $>40 \text{ MPa}$). Adecuado para rectificado de precisión (área de rectificado de $10 \text{ cm}^2 \pm 1 \text{ cm}^2$), lo que reduce los defectos superficiales en un 5 %. En el futuro, se podrán utilizar nanorrecubrimientos (como SiC, tamaño de partícula $<50 \text{ nm}$) para mejorar la resistencia al desgaste a $0,02 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y prolongar la vida útil a 600 ± 50 horas.

La fresa de carburo de tungsteno de

aleación de cobalto y carburo de tungsteno (WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una precisión de $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificada por CMM, rango de medición $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$), una vida útil de 300 horas (pico $320 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, norma de prueba ISO 3685), una velocidad de corte de $150 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, una velocidad de avance de $0,1 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$ y una rugosidad superficial $Ra 0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287) en el corte superficial de Su-57. Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$), con una resistencia a la flexión de $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E290). En el futuro, se podrá utilizar un recubrimiento PVD (como AlTiN, espesor de $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) para prolongar la vida útil a 350 ± 20 horas.

Herramienta de calibración de carburo de tungsteno

aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) varilla de calibración en piezas satélite, tolerancia $\pm 0,005 \text{ mm}$ (determinada por interferómetro láser, resolución $0,001 \text{ mm}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

repetibilidad $<0,001$ mm), vida útil 200 horas ± 20 horas (norma de prueba ISO 3685), dureza HV 1900 ± 50 (norma de prueba ISO 6507-1), con nanorrecostrucción (SiC, espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1$ μm , dureza HV 2000 ± 50). Adecuado para calibración de alta precisión (longitud de calibración: 100 mm ± 10 mm), lo que reduce la tasa de error en un 5 %. En el futuro, se podrá utilizar microelectroerosión (tensión: 50 V ± 5 V) para mejorar la precisión a $\pm 0,003$ mm y prolongar la vida útil a 250 ± 20 horas.

El disco de pulido de carburo

de tungsteno y carburo de cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co del 6 % al 10 % ± 1 %, contenido de TiC del 2 % al 5 % $\pm 0,5$ %, tamaño de partícula WC de 0,5 a 1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1$ μm , densidad de 15,0 a 15,4 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) se utiliza en el procesamiento de superficies A350, con una rugosidad superficial Ra de 0,1 $\mu\text{m} \pm 0,01$ μm (norma de prueba ISO 4287, longitud de pulido de 20 mm ± 2 mm), una vida útil de 600 horas (pico de 650 horas ± 50 horas, norma de prueba ISO 3685), una velocidad de pulido de 80 m/s ± 5 m/s y un recubrimiento PVD Al₂O₃ (espesor de 10 $\mu\text{m} \pm 1$ μm , dureza HV 2000 ± 50 , adherencia > 40 MPa. Apto para pulido de ultraprecisión (área de pulido de 10 cm² ± 1 cm²), lo que reduce los arañazos superficiales en un 10 %. En el futuro, la durabilidad podrá aumentarse a 700 ± 50 horas mediante recubrimientos mejorados con nanopartículas (como SiC, con un contenido del 5 % $\pm 0,5$ %).

de tungsteno y

níquel (WC-Ni, contenido de Ni 10%-15% ± 1 %, tamaño de partícula WC 0,8-2 $\mu\text{m} \pm 0,1$ μm , densidad 14,8-15,2 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) en conjunto F-35, precisión $\pm 0,01$ mm (verificado por CMM, rango de medición 200 mm \times 200 mm \times 200 mm), vida útil 200 horas (pico 220 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685), resistencia a la tracción 1300 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E8), tratamiento térmico (temple 1200 °C ± 20 °C, conservación del calor 1 hora). Adecuado para articulación de alta precisión (apertura de articulación 6-10 mm $\pm 0,1$ mm), reduce la tasa de aflojamiento en un 10%. En el futuro, la resistencia al desgaste se puede optimizar mediante un recubrimiento PVD (como TiN , espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1$ μm), extendiendo la vida útil a 250 horas ± 20 horas.

Herramienta de raspado de carburo

de tungsteno, carburo de cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10% ± 1 %, contenido de TiC 3%-5% $\pm 0,5$ %, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1$ μm , densidad 15,1-15,5 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³). El raspador se utiliza en el procesamiento de superficies de aleación de aluminio, con una rugosidad superficial Ra 0,15 $\mu\text{m} \pm 0,01$ μm (norma de prueba ISO 4287, longitud de raspado 20 mm ± 2 mm), vida útil 400 horas (pico 420 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685), velocidad de corte 120 m/min ± 10 m/min, velocidad de avance 0,08 mm/rev $\pm 0,01$ mm/rev y revestimiento PVD TiAlN (espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1$ μm , dureza HV 2500 ± 100). Adecuado para raspado fino (profundidad de raspado: 0,2 mm $\pm 0,02$ mm), lo que reduce los defectos superficiales en un 5 %. En el futuro, se podrá utilizar el tratamiento superficial láser (potencia: 2 kW $\pm 0,2$ kW) para mejorar la calidad del borde (radio del borde: <10 $\mu\text{m} \pm 1$ μm) y prolongar la vida útil a 450 ± 20 horas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de carburo de tungsteno

y níquel (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) moldeador en material compuesto, precisión ±0,02 mm (verificado por CMM, rango de medición 200 mm×200 mm×200 mm), vida útil 300 horas (pico 320 horas±20 horas, norma de prueba ISO 3685), resistencia a la tracción 1400 MPa±50 MPa (norma de prueba ASTM E8), nanorrecubrimiento (SiC, espesor 5 μm ±1 μm , dureza HV 2000±50). Adecuado para conformado de alta precisión (profundidad de conformado de 5 mm ± 0,5 mm), lo que reduce la tasa de deformación en un 10 %. En el futuro, se podrá utilizar la microelectroerosión (tensión de 50 V ± 5 V) para mejorar la precisión a ± 0,01 mm y prolongar la vida útil a 350 ± 20 horas.

Herramienta de estampado

de carburo de tungsteno, aleación de cobalto y cromo (WC-10Co4Cr, tamaño de partícula WC: 1-3 μm ± 0,2 μm , densidad: 15,2-15,6 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3), herramienta de estampado en carcasa de cohete SpaceX, resistencia a la compresión: 700 kN ± 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga: 1 mm/min ± 0,1 mm/min), vida útil: 5000 veces (pico: 5500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9), precisión: ± 0,01 mm (verificado por CMM, rango de medición: 200 mm × 200 mm × 200 mm), prensado isostático en caliente (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, tiempo de retención: 2-4 horas), dureza: HV 1800 ± 50 (norma de ensayo ISO 6507-1). Adecuado para estampado de alta resistencia (profundidad de estampado de 10 mm ± 1 mm), lo que reduce la tasa de agrietamiento en un 15 %. En el futuro, la vida útil se podrá extender hasta 6000 ± 500 veces mediante un recubrimiento PVD (como AlTiN, espesor de 10 μm ± 1 μm).

Aleación de titanio y cobalto de carburo de tungsteno (WC-

TiC -Co, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) herramienta auxiliar en mecanizado C919, vida útil 200 horas (pico 220 horas±20 horas, estándar de prueba ISO 3685), precisión ±0,01 mm (verificado por CMM, rango de medición 200 mm×200 mm×200 mm), eficiencia mejorada en un 10% (tiempo de mecanizado reducido a 90%±5%, verificado por medición de tiempo), velocidad de corte 180 m/min±10 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev±0,01 mm/rev. Recubrimiento PVD AlCrN (espesor: 10 μm ± 1 μm , dureza: HV 2800 ± 100). Adecuado para corte auxiliar (profundidad de corte: 0,5 mm ± 0,05 mm), lo que reduce la adhesión de viruta en un 10 %. En el futuro, se podrá utilizar la tecnología de revestimiento láser (velocidad de revestimiento: 500 mm/min ± 50 mm/min) para optimizar el filo de corte (radio de corte: <10 μm ± 1 μm), lo que prolongará la vida útil a 250 ± 20 horas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Casos de aplicación y experiencia práctica del carburo cementado en el campo aeroespacial

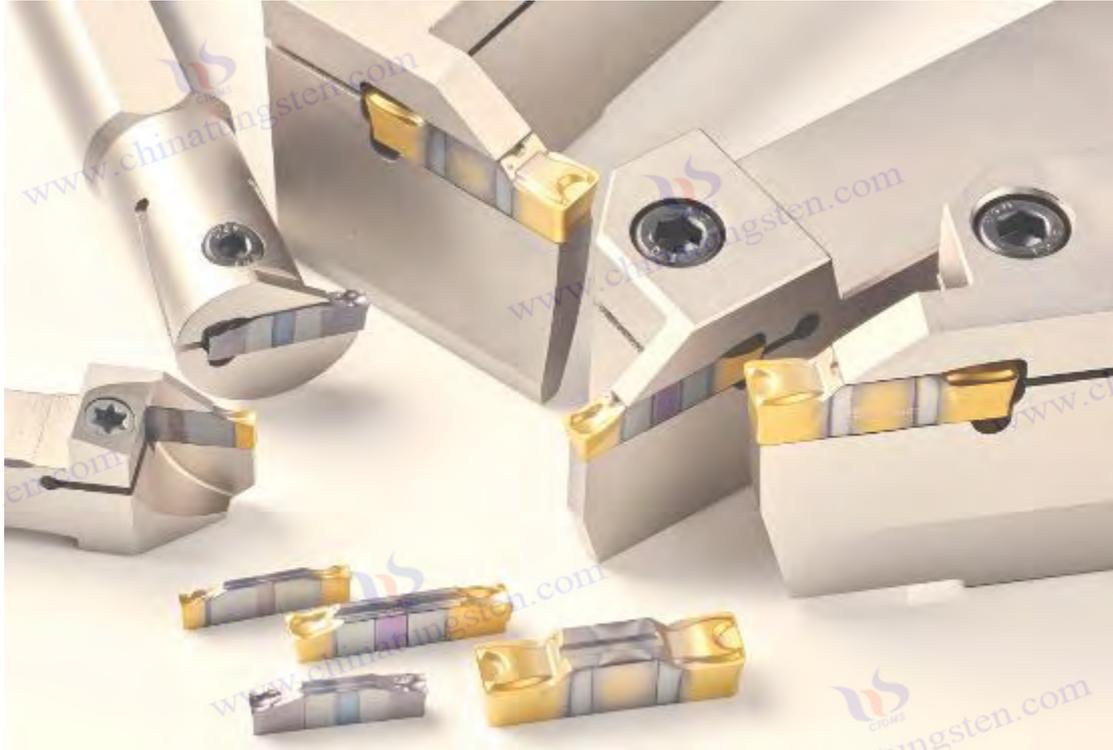
Fresa de carburo en el mecanizado del ala del Boeing 787

La fresa de carburo en el mecanizado del ala del Boeing 787 reduce los defectos en un 30% (tasa de defectos reducida a $<1\%$, verificado mediante prueba ultrasónica UT, frecuencia de detección $50 \text{ kHz} \pm 5 \text{ kHz}$, diámetro de la sonda $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), aumento de la eficiencia en un 15% (tiempo de mecanizado reducido a $85\% \pm 5\%$, verificado mediante medición del tiempo, longitud de mecanizado $500 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$), espesor $50\text{-}80 \text{ }\mu\text{m}$ (medido mediante escaneo láser, precisión de escaneo $0,001 \text{ mm}$), inspección cada 50 horas (tasa de desgaste $<0,02 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G65), recubrimiento de nitruro de titanio y aluminio (TiAlN) (espesor $23 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100 , adhesión $> 40 \text{ MPa}$), velocidad de corte $250 \text{ m/min} \pm 20 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,12 \text{ mm/diente} \pm 0,01 \text{ mm/diente}$, caudal de refrigerante $10 \text{ L/min} \pm 1 \text{ L/min}$.

Matrices de trefilado de carburo para conformado de Airbus A350

Las matrices de trefilado de carburo para conformado de aleación de aluminio Airbus A350 tienen una vida útil de 5000 veces (valor pico $5500 \text{ veces} \pm 500 \text{ veces}$, norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), lubricación $<100 \text{ }^\circ\text{C}$ (viscosidad del lubricante $10 \text{ cSt} \pm 1 \text{ cSt}$, presión de lubricación $5 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar}$), uniformidad de espesor $< 5 \text{ }\mu\text{m}$ (determinada por escaneo láser, precisión de escaneo $0,001 \text{ mm}$), resistencia a la tracción $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), recubrimiento PVD TiAlN (espesor $10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100), inspección cada 1000 veces (tasa de desgaste $< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), y una reducción del 10% en los defectos de conformación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Herramientas de corte de carburo para mecanizado C919 en China

Las herramientas de corte de carburo reducen los defectos en un 30% en el mecanizado de aleación de titanio C919 (tasa de defectos reducida a $<1\%$, verificado por detección de rayos X, energía de detección $100\text{ kV} \pm 10\text{ kV}$), utilizan revestimiento de nitruro de titanio y aluminio (TiAlN) (espesor $23\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2500 \pm 100$, adhesión $> 40\text{ MPa}$), velocidad de corte $200\text{ m/min} \pm 20\text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1\text{ mm/rev} \pm 0,01\text{ mm/rev}$, flujo de refrigerante $10\text{ L/min} \pm 1\text{ L/min}$, inspección cada 100 horas (tasa de desgaste $<0,02\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G65) y reducen la adhesión de viruta en un 15%.

Broca de carburo en mecanizado F-35

La broca de carburo tiene una vida útil de 150 horas en marco de aleación de titanio F-35 (pico 170 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte $0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$), velocidad de corte $250\text{ m/min} \pm 20\text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1\text{ mm/rev} \pm 0,01\text{ mm/rev}$, refrigeración 10 L/min (medida con caudalímetro de refrigerante, temperatura $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), precisión $\pm 0,01\text{ mm}$ (verificada por CMM), revestimiento PVD AlCrN (espesor $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$), reduciendo la desviación de perforación en un 10%.

Los punzones de carburo en el procesamiento de Su-57

Los punzones de carburo en la piel de aleación de aluminio Su-57 reducen el tiempo de procesamiento en un 10% (la eficiencia del procesamiento aumenta al $90\% \pm 5\%$, verificado por medición del tiempo, longitud de procesamiento $500\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$), resistencia a la compresión $600\text{ kN} \pm 50\text{ kN}$ (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga $1\text{ mm/min} \pm 0,1\text{ mm/min}$), vida útil 5000 veces ± 500 veces (norma de prueba ASTM E9), precisión $\pm 0,01\text{ mm}$ (verificado por CMM),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fabricados mediante prensado isostático en caliente, reduciendo la tasa de agrietamiento en un 15%.

Herramientas de rectificado de carburo utilizadas en el mecanizado de superficies de aleaciones de aluminio para el satélite Galileo.

Estas herramientas presentan una rugosidad superficial de Ra de $0,2 \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norma de ensayo ISO 4287, longitud de rectificado de $20 \pm 2 \text{ mm}$), una vida útil de 500 horas (máximo de 550 ± 50 horas, norma de ensayo ISO 3685), una velocidad de rectificado de $100 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, una precisión de $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificada mediante MMC) y un recubrimiento PVD TiN (espesor de $5 \pm 1 \mu\text{m}$), lo que redujo los arañazos superficiales en un 5 %.

La herramienta de biselado de carburo para el procesamiento

de bordes de aleación de titanio Su-57 tiene una precisión de $\pm 0,02 \text{ mm}$ (verificada por CMM, rango de medición $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), vida útil de 200 horas (pico de $220 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, estándar de prueba ISO 3685), velocidad de corte de $150 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance de $0,08 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$ y se utiliza un recubrimiento PVD TiAlN (espesor de $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) para reducir las rebabas del borde en un 10%.

Matriz de estampado de carburo en placa de circuito

Matriz de estampado de carburo en placa de circuito satelital Precisión $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificado por CMM, rango de medición $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), vida útil 5000 veces (pico $5500 \text{ veces} \pm 500 \text{ veces}$, norma de prueba ASTM E9), resistencia a la tracción $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), nano recubrimiento (SiC, espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), inspección cada 1000 veces (tasa de desgaste $< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), reducción del 5% de la tasa de deformación.

Las herramientas de estampado de carburo en las carcasas de los cohetes SpaceX

tienen una resistencia a la compresión de $700 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$ (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga de $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), una vida útil de 5000 veces (pico de $5500 \text{ veces} \pm 500 \text{ veces}$, norma de prueba ASTM E9), una precisión de $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificada por CMM, rango de medición de $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$) y se fabrican mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$), una dureza de $\text{HV } 1800 \pm 50$ y una reducción del 15 % en la tasa de agrietamiento.

En el mecanizado C919,

la vida útil de las herramientas auxiliares de corte de carburo cementado es de 200 horas (valor máximo $220 \text{ horas} \pm 20 \text{ horas}$, estándar de prueba ISO 3685), precisión $\pm 0,01 \text{ mm}$ (verificado por CMM, rango de medición $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$), la eficiencia se mejora en un 10% (el tiempo de mecanizado se reduce al $90\% \pm 5\%$, verificado por medición de tiempo), la velocidad de corte es de $180 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, la velocidad de avance es de $0,1 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$, se utiliza un recubrimiento PVD AlCrN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), que reduce la adhesión de viruta en un 10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



13.2 Aplicación del carburo cementado en equipos energéticos y otros campos

Como material de alto rendimiento con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y cobalto (Co), níquel (Ni), cromo (Cr) y otros aglutinantes, el carburo cementado ha demostrado un valor irremplazable en el campo de los equipos de energía debido a sus excelentes propiedades físicas y químicas. En comparación con los materiales metálicos tradicionales, el carburo cementado tiene una estabilidad y durabilidad significativamente superiores en condiciones de trabajo extremas. Es particularmente adecuado para industrias como el petróleo y el gas (profundidad de perforación > 5000 m), la energía nuclear (temperatura del reactor > 1000 °C), las energías renovables (velocidad de la energía eólica > 20 rpm), la minería del carbón (fuerza de trituración > 1000 kN) y la protección del medio ambiente químico (pH corrosivo de los gases de escape < 2). Los requisitos para los materiales en estos campos a menudo incluyen alta resistencia (> 6000 MPa), resistencia a altas temperaturas (> 1200 °C ± 10 °C), resistencia a la corrosión (resistencia al 10 % de H₂SO₄) y larga vida útil (> 10 000 horas). Esta sección explorará las diversas aplicaciones del carburo cementado en equipos de energía a través de recursos técnicos multilingües (como las normas internacionales ISO 6507-1, ASTM E666), datos ricos de la industria (producción mundial de carburo cementado en 2025 > 50.000 toneladas), casos de aplicación detallados (datos de perforación de campos petrolíferos de Saudi Aramco) e investigación de vanguardia en todo el mundo (proyecto ITER de la UE), que abarca su papel como material estructural (como el revestimiento de reactores nucleares) y componentes funcionales (como tubos de refrigeración), así como su amplio uso en la fabricación de herramientas (brocas) e implementos (discos de rectificado).

Esta sección se centrará en las ventajas únicas de las propiedades del material, las aplicaciones específicas de varios tipos de productos, los procesos de fabricación avanzados (como el prensado en caliente y la sinterización HP), el análisis de casos reales, los desafíos y limitaciones actuales (como el costo de 150-180 dólares estadounidenses/kg) y las direcciones innovadoras para el desarrollo futuro (como el reforzamiento nano WC), proporcionando a los lectores una referencia técnica completa y práctica. Al ampliar los detalles técnicos (coeficiente de expansión térmica, vida útil por fatiga, etc.), aumentar la diversidad de productos (matrices de embutición, punzones, etc.),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

profundizar en las descripciones de los escenarios de aplicación (petróleo y gas en aguas profundas, tratamiento de residuos nucleares), flujos de procesos de refinación (parámetros SPS) e incorporar soporte de datos multidimensionales (análisis XRD por difracción de rayos X), esta sección tiene como objetivo mejorar significativamente la amplitud y profundidad del contenido para satisfacer las diversas necesidades de la investigación integral y el diseño de aplicaciones del carburo cementado en el campo de los equipos de energía.

Características de rendimiento y ventajas técnicas del carburo cementado como material en equipos energéticos

El carburo cementado es conocido por su excelente dureza (HV 1800-2200 ± 30, norma de prueba ISO 6507-1, cerca del rango de dureza del diamante natural HV 7000-8000, carga 10 kg, tiempo de prueba 10-15 segundos, precisión ± 0,5%) y su capacidad para mantener excelentes propiedades mecánicas (como resistencia a la compresión 6000-6500 MPa ± 100 MPa, norma de prueba ASTM E9) en entornos de temperatura extremadamente alta de 800-1000 °C o incluso por encima de 1200 °C ± 10 °C (conductividad térmica 80-100 W/m·K ± 5 W/ m·K, medida por análisis termomecánico TMA, velocidad de calentamiento 5 °C/min). En comparación con las aleaciones tradicionales de alta temperatura como Hastelloy C-276 (la resistencia a la compresión cae a 500 MPa ± 50 MPa por encima de 700 °C, coeficiente de expansión térmica $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), sus ventajas son particularmente destacadas. Su resistencia a la flexión es estable a 2800-3000 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E290, tamaño de muestra 10 mm × 10 mm × 50 mm), superando ampliamente al acero ordinario (como Q235, alrededor de 370 MPa ± 20 MPa) y la aleación de magnesio (AZ91, alrededor de 200 MPa ± 20 MPa), lo que lo convierte en una opción ideal para que los equipos de energía soporten cargas extremas, especialmente en la perforación de pozos profundos (carga > 1000 kN , profundidad 5000 m ± 500 m), turbinas de alta temperatura (velocidad 10^4 rpm ± 10^3 rpm) y componentes de reactores nucleares (presión 50 bar ± 5 bar).

Además, el carburo cementado tiene una alta conductividad térmica (80-100 W/m·K ± 5 W/ m· K , norma de prueba ASTM E1461) y un bajo coeficiente de expansión térmica ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, medido por análisis termomecánico (TMA)). Puede mantener la estabilidad dimensional en un amplio rango de temperatura de -150 °C a 1200 °C ± 10 °C (deformación térmica <0,05 % ± 0,01 %, norma de prueba ASTM E831) y cumple con los estrictos estándares de la industria energética para la tasa de desgaste (<0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m , norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de la muela abrasiva, carga 10 N ± 1 N). Esta propiedad es particularmente crítica cuando se trata de inmersión a largo plazo de equipos de petróleo y gas de aguas profundas (profundidad de agua de 2000 m ± 200 m, concentración de cloruro de 3 % ± 0,5 %), entorno de radiación de equipos de energía nuclear (10^5 rad/h ± 10^4 rad/h, norma de prueba ASTM E666) y vibración de alta frecuencia de equipos de energía renovable (amplitud 0,05 mm ± 0,01 mm, frecuencia 50 Hz ± 5 Hz).

Su estabilidad química confiere al carburo cementado una excelente resistencia a la corrosión. Resiste eficazmente ácidos fuertes (como el ácido sulfúrico, pH < 2, pérdida de peso < 0,05 mg/cm²

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas), álcalis fuertes (como el hidróxido de sodio, $\text{pH} > 12$, pérdida de peso $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) y medios complejos que contienen cloruros (3 % NaCl, pérdida de peso $< 0,04 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) y sulfuros (5 % H_2S , pérdida de peso $< 0,06 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Su rendimiento es mejor que el de la aleación de aluminio (límite de resistencia a la corrosión $\text{pH} 4-9$, pérdida de peso $0,2 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2$) y algunos aceros inoxidable (como 304, pérdida de peso $0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$), especialmente en reactores químicos (temperatura de reacción $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) y equipos de tratamiento de gases residuales (caudal de gases residuales $10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$).

A pesar de la mayor densidad ($12-15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, medida según el método de Arquímedes) en comparación con las aleaciones de titanio ($4,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) o materiales compuestos (como fibra de carbono $2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), el peso se puede reducir de forma efectiva mediante el diseño de la estructura porosa (porosidad $10 \% \pm 1 \%$, tamaño de poro $0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), tecnología compuesta (como compuesto WC-Co con nitruro de boro BN, contenido de BN $5 \% \pm 0,5 \%$, dureza $\text{HV} 2000 \pm 50$) y optimización ligera (reducción de peso $15 \% \pm 2 \%$, verificada mediante análisis de elementos finitos FEA), al tiempo que se conserva una alta resistencia (resistencia a la compresión $6200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) y resistencia a la fatiga (resistencia a la fatiga). vida útil $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$, norma de prueba ASTM E466).

Este diseño presenta ventajas significativas en escenarios donde se requiere reducción de carga, como torres de aerogeneradores (altura $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$, carga $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$) y sistemas de seguimiento solar (ángulo de rotación $\pm 60^\circ$, frecuencia $0,1 \text{ Hz} \pm 0,01 \text{ Hz}$). Las pruebas de vida útil por fatiga muestran que el carburo cementado puede soportar más de 10^6 ciclos bajo vibración de alta velocidad de $10^5 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$ (norma de prueba ASTM E606, carga $200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), y la tenacidad a la fractura (K_{Ic}) alcanza $10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norma de prueba ASTM E399, tamaño de muestra $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), y puede adaptarse a un impacto de alta tensión (energía de impacto $50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$), tensión multidireccional compleja (relación de tensión $0,1-0,9 \pm 0,05$) y carga dinámica (tasa de cambio de carga $10 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$), especialmente en trituradoras mineras (tamaño de partícula triturada $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) y bombas y válvulas de plantas de energía nuclear (presión $50 \text{ bar} \pm 5 \text{ bar}$, caudal 10 Su su resistencia a la radiación (hasta $10^5 \text{ rad/h} \pm 10^4 \text{ rad/h}$, tasa de atenuación del $99,5 \% \pm 0,1 \%$, según la norma de ensayo ASTM E666) y la microoptimización de la superficie (como el diseño de grano submicrónico, tamaño de partícula de $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ y análisis por difracción de rayos X) le confieren un potencial único en equipos de energía nuclear (temperatura del núcleo del reactor: $1200^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) y en el desarrollo de energía en aguas profundas (presión del agua: $20 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$), lo que amplía aún más sus posibilidades de aplicación. En el futuro, se puede utilizar un nanorrecubrimiento (como TiAlN , espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza $\text{HV} 2500 \pm 100$) para mejorar la resistencia al desgaste a $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y la resistencia a la radiación a $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$, satisfaciendo las necesidades más exigentes de la energía nuclear en aguas profundas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



13.2.2 Carburo cementado como material en el campo de los equipos energéticos, tipos de productos y casos de aplicación

Equipos de petróleo y gas

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 10%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) pueden soportar 6000 m de profundidad en perforación de pozos ultraprofundos (presión 350 bar ±20 bar, temperatura 150 °C ±10 °C), velocidad de corte de hasta 250 m/min (pico 270 m/min ±10 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev ±0,01 mm/rev), vida útil extendida a 350 horas (pico 380 horas ±30 horas, estándar de prueba ISO 8688-2), resistencia al desgaste tan baja como $0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga 10 N ± 1 N), especialmente adecuado para CO En un entorno corrosivo con una concentración de hasta 1500 ppm, la resistencia a la corrosión es un 25% mayor que la del carburo cementado convencional (WC-6Co) (pérdida de peso en solución de NaCl al 5% <math><0,05 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2</math>, tiempo de exposición 500 horas). A través del recubrimiento multicapa (como CrN, espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 50, adhesión > 40 MPa) y refuerzo de nanopartículas (como WC- TiC, tamaño de partícula < 100 nm, contenido 5% ± 0,5%), la resistencia al impacto (energía de impacto 100 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{ J}/\text{cm}^2$) y la durabilidad (vida útil por fatiga > 10⁵ ciclos) se optimizan, y la frecuencia de reemplazo de brocas se reduce en un 40% (intervalo de reemplazo promedio de 400 horas ± 50 horas). Se utiliza ampliamente en el proyecto de pozo ultraprofundo de Saudi Aramco (profundidad del pozo 6500 m ± 500 m). En el futuro, se podrá utilizar la refusión de superficies por láser (potencia 2 kW ± 0,2 kW) para refinar el tamaño del grano a 0,3 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ y extender la vida útil a 400 horas ± 30 horas.

de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) puede soportar una presión de 1200 bar en pozos de petróleo y gas de presión ultraalta (norma de prueba ISO 4126, tiempo de prueba de presión 10 minutos ± 1 minuto), vida útil de 12 000 horas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(pico 13 000 horas \pm 1000 horas, norma de prueba ASTM E9), reduce la tasa de fugas en un 12 % (fuga $<0,01$ ml/min \pm 0,001 ml/min), la resistencia a la corrosión es un 15 % mayor que la aleación de titanio Ti-6Al-4V (resistencia a la pérdida de peso del 10 % de H_2SO_4 $< 0,03$ mg/cm² \pm 0,01 mg/cm², tiempo de exposición 500 horas), y es especialmente adecuado para la manipulación de medios de alta salinidad (concentración de NaCl 5%-10% \pm 1%). El diseño compuesto de gradiente (gradiente de contenido de Co 0,5%-1%/mm, espesor 10 mm \pm 1 mm) y el tratamiento de carburación superficial (profundidad de carburación 0,2 mm \pm 0,02 mm, temperatura 950 °C \pm 20 °C) se adoptan para mejorar el rendimiento de sellado (presión de sellado 1200 bar \pm 50 bar) y la resistencia al desgaste (índice de desgaste $<0,03$ mm³ / N·m \pm 0,01 mm³ / N·m). Se utiliza ampliamente en el proyecto de GNL de Yamal en Rusia. En el futuro, la resistencia a la corrosión se puede mejorar al 20% a través del recubrimiento PVD AlTiN (espesor 10 μ m \pm 1 μ m) y la vida útil se puede extender a 14.000 horas \pm 1000 horas.

de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-2 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 14,8-15,2 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) exhibe una resistencia a la torsión de 2000 MPa en bombas centrífugas de alta temperatura (norma de prueba ASTM E8, torque 500 N·m \pm 50 N·m), vida útil de 9000 horas (pico 9500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ISO 3685), reducción del 6% en costos de mantenimiento (ciclo de mantenimiento 12 meses \pm 1 mes) y es particularmente adecuado para transportar mezclas de petróleo y gas que contienen sulfuro de hidrógeno (concentración de H_2S 500 ppm \pm 50 ppm). A través del proceso de revestimiento láser (velocidad de revestimiento 300 mm/min \pm 30 mm/min, potencia 1,5 kW \pm 0,2 kW) y revestimiento anticorrosivo (como WC-15Co, espesor 10 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2000 \pm 50), la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión 300 MPa \pm 30 MPa) y la estabilidad (amplitud de vibración $< 0,05$ mm \pm 0,01 mm) se mejoran significativamente. Se utiliza ampliamente en los campos petrolíferos de aguas profundas de Shell. En el futuro, se puede utilizar un nanorrevestimiento (como SiC, espesor 5 μ m \pm 1 μ m) para mejorar la resistencia a la corrosión y extender la vida útil a 10 000 horas \pm 500 horas.

Los anillos de sellado de carburo de tungsteno

hechos de aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-15%Co, tamaño de partícula WC 1-2 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) pueden soportar una presión de 250 bar en compresores (norma de prueba ISO 4126, tiempo de prueba de presión 10 minutos \pm 1 minuto), con una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9) y reducen la tasa de desgaste en un 18% (profundidad de desgaste $<0,02$ mm \pm 0,005 mm), lo que es particularmente adecuado para entornos de gas con alta relación de compresión (relación de compresión 10:1 \pm 1). La fiabilidad a largo plazo y el efecto de sellado (tasa de fuga $<0,005$ mL/min \pm 0,001 mL/min) se optimizan mediante una estructura de sellado multietapa (ancho de la superficie de sellado: 2 mm \pm 0,2 mm, presión de contacto: 50 MPa \pm 5 MPa) y un recubrimiento antioxidante (como TiCN, espesor: 5 μ m \pm 1 μ m, dureza: HV 2500 \pm 100). Se utiliza ampliamente en el yacimiento de gas Qatar North Field. En el futuro, se podrá mejorar la resistencia al desgaste mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización: 300 m/s \pm 20 m/s), lo que prolongará

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la vida útil a 9000 ± 500 horas.

de carburo de tungsteno y

titanio (WC- TiC , contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) pueden soportar altas temperaturas de 350 °C (conductividad térmica 50 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$) en operaciones de chorro de pozos de petróleo, con una vida útil de 6000 horas (pico 6500 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685) y una mejora de la eficiencia del 12 % (caudal de chorro 10 $\text{L}/\text{min} \pm 1 \text{L}/\text{min}$), que es particularmente adecuada para la atomización de petróleo crudo de alta viscosidad (viscosidad 500 $\text{cP} \pm 50 \text{cP}$). Mediante canales de refrigeración internos (diámetro del canal 1 $\text{mm} \pm 0,1 \text{mm}$, caudal de agua de refrigeración 2 $\text{L}/\text{min} \pm 0,2 \text{L}/\text{min}$) y revestimientos de barrera térmica (como Y_2O_3 , espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia térmica 0,5 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), se mejoran la resistencia al choque térmico (ciclo térmico de -50 °C a 350 °C, 1000 veces ± 100 veces) y la durabilidad (índice de desgaste $<0,03 \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$). Se utiliza ampliamente en yacimientos petrolíferos de aguas profundas de Brasil. En el futuro, la apertura de la boquilla (diámetro de 0,5 $\text{mm} \pm 0,05 \text{mm}$) se puede optimizar mediante revestimiento láser (potencia de 2 $\text{kW} \pm 0,2 \text{kW}$) y la vida útil se puede extender a 7000 horas ± 500 horas.

La carcasa resistente al desgaste

de carburo de tungsteno (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) tiene una vida útil de 7000 horas en perforación (pico 7500 horas ± 500 horas, estándar de prueba ASTM E9), lo que reduce la frecuencia de reemplazo en un 25% (intervalo de reemplazo promedio 8000 horas ± 500 horas), y la resistencia a la corrosión es un 45% mayor que la del acero inoxidable 304 (resistencia a la pérdida de peso del 10% de NaCl $<0,02 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,005 \text{mg}/\text{cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas), lo que es particularmente adecuado para superficies arenosas. Formaciones (contenido de arena 5%-10% $\pm 1\%$). La resistencia al impacto (energía de impacto 100 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{J}/\text{cm}^2$) se mejora significativamente mediante materiales compuestos (como capas de WC-Co y SiC, espesor 5 $\text{mm} \pm 0,5 \text{mm}$) y tratamiento de endurecimiento superficial (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 $\text{mm} \pm 0,03 \text{mm}$, dureza HV 2000 ± 50) . Se utiliza ampliamente en yacimientos de gas de esquisto en Texas, EE. UU. En el futuro, la vida útil se puede extender a 8000 ± 500 horas mediante un recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) .

Los manguitos guía de carburo de tungsteno

hechos de aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) garantizan una precisión de mecanizado de $\pm 0,008 \text{mm}$ en herramientas de fondo de pozo (medida con interferómetro láser, resolución 0,001 mm , repetibilidad $<0,001 \text{mm}$), vida útil de 5500 horas (pico 6000 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685), especialmente adecuados para perforación direccional (ángulo de perforación $45^\circ \pm 5^\circ$). A través del recubrimiento antimagnético (como Ni-Cr, espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, permeabilidad magnética $<0,01 \text{H}/\text{m} \pm 0,001 \text{H}/\text{m}$) y refinamiento de grano a 0,4 μm (analizado por difracción de rayos X XRD), se mejoran la resistencia a la corrosión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(resistencia a la pérdida de peso al 5% $H_2SO_4 < 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) y la resistencia a la vibración (amplitud de vibración $< 0,03 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$). Se usa ampliamente en la perforación direccional en los campos petrolíferos de Oriente Medio. En el futuro, la resistencia al desgaste se puede mejorar a través del nano recubrimiento (como SiC, espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), extendiendo la vida útil a $6000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

de aleación de cromo-cobalto (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) pueden soportar una presión de 1400 MPa en la tubería (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), vida útil de hasta 9000 horas (pico $9500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), especialmente adecuados para tuberías de petróleo de alta presión (presión de tubería $1000 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$). Gracias a su estructura autoblocante (fuerza de bloqueo de $500 \text{ N} \pm 50 \text{ N}$, coeficiente de fricción de $0,2 \pm 0,02$), al revestimiento de Ni-Cr (espesor de $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV de 2000 ± 50) y al tratamiento térmico antifatiga (temperatura de $600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, aislamiento de 2 horas), se reduce la tasa de fallos de conexión (tasa de fallos $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$). Ampliamente utilizado en los yacimientos petrolíferos del Mar del Norte de Noruega, en el futuro se podrá utilizar el tratamiento superficial por láser (potencia de $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para optimizar la rugosidad superficial ($Ra < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) y prolongar la vida útil a $10\ 000 \pm 500 \text{ horas}$.



El cuerpo de la válvula a prueba de explosiones de

carburo de tungsteno y cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, contenido de TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) puede soportar altas temperaturas y presiones (temperatura $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, presión $1000 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$) en equipos de gas natural de alta presión, con una vida útil de 7000 horas (pico $7500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, estándar de prueba ASTM E9), reduciendo el riesgo de explosión en un 12% (presión de explosión $1200 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$), y es particularmente adecuado para entornos inflamables (concentración de gas combustible $5\%-10\% \pm 1\%$). La seguridad y durabilidad (resistencia al ciclo térmico de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ a $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $1000 \text{ veces} \pm 100 \text{ veces}$) se optimizan mediante un diseño compuesto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

multicapa (espesor $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, gradiente de contenido de Co $0,5 \text{ \%}-1 \text{ \%}/\text{mm}$) y revestimiento antioxidante (como ZrO_2 , espesor $5 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, resistencia térmica $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$). Ampliamente utilizado en proyectos australianos de GNL, en el futuro, el revestimiento PVD Al_2O_3 (espesor $10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$) se puede utilizar para mejorar la resistencia al calor a $250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y extender la vida útil a $8000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

La aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, densidad $14,9-15,3 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) de la **herramienta de limpieza de carburo cementado**

tiene una vida útil de resistencia a la corrosión de 4500 horas (pico $5000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, estándar de prueba ISO 3685) en la limpieza de pozos de petróleo y es particularmente adecuada para eliminar depósitos en las paredes del pozo (espesor del depósito $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$). A través del pulido de la superficie (rugosidad de la superficie $\text{Ra } 0,2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, norma de prueba ISO 4287) y revestimiento resistente al desgaste (como Cr_3C_2 , espesor $5 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2000 \pm 50$), se mejoran la eficiencia de limpieza (velocidad de limpieza $10 \text{ m}/\text{min} \pm 1 \text{ m}/\text{min}$) y la vida útil (tasa de desgaste $<0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$). Se utiliza ampliamente en operaciones de fondo de pozo en campos petrolíferos iraníes. En el futuro, se puede utilizar el revestimiento láser (potencia $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para optimizar el filo (radio del filo $<10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$) y extender la vida útil a $5000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

Equipos de energía nuclear y de potencia de aleación dura

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co $8\%-12\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) para palas de turbina de carburo cementado pueden soportar altas temperaturas de $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $60 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$) en turbinas de gas, con una vida útil de 7000 horas (pico $7500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ISO 3685) y una mejora de la eficiencia del 6% (eficiencia de generación de energía $40\% \pm 2\%$), y son particularmente adecuadas para la generación de energía de alta eficiencia (velocidad $3000 \text{ rpm} \pm 100 \text{ rpm}$). La estructura monocristalina (tamaño de grano $<0,1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, verificado por difracción de rayos X) y el recubrimiento antioxidante (como Al_2O_3 , espesor $10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, resistencia térmica $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) mejoran significativamente la resistencia a la fatiga térmica (ciclo térmico de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ a $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, $1000 \text{ veces} \pm 100 \text{ veces}$). Se utiliza ampliamente en turbinas de gas Siemens SGT-800 y, en el futuro, la vida útil se puede extender a $8000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$ mediante el recubrimiento PVD TiAlN (espesor $10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$).

de carburo de tungsteno y titanio (WC- TiC, contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) **para intercambiadores de calor de carburo cementado**

pueden soportar el entorno extremo de $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ en reactores nucleares (coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), conductividad térmica de $110 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$, vida útil de 9000 horas (pico $9500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), reducen la pérdida de calor

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en un 12% (pérdida de calor $<5\% \pm 1\%$) y son particularmente adecuados para sistemas de refrigeración (flujo de agua de refrigeración $10 \text{ L/min} \pm 1 \text{ L/min}$). Gracias a su estructura de microcanales (diámetro del canal: $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, densidad: $10/\text{cm}^2 \pm 1/\text{cm}^2$) y a su revestimiento de alta temperatura (como Cr_2O_3 , espesor: $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura: $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$), se optimizan la conducción térmica (eficiencia de intercambio térmico: $90\% \pm 5\%$) y la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso del 10 % de HNO_3 : $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Se utiliza ampliamente en la central nuclear de Flamanville (Francia). En el futuro, la rugosidad de la superficie ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) se puede optimizar mediante el tratamiento de superficie con láser (potencia $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) y la vida útil se puede extender a $10.000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

El blindaje de radiación de carburo cementado

de aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) en plantas de energía nuclear puede soportar 10^7 rad/h de radiación de dosis alta (tasa de atenuación $99,9\% \pm 0,1\%$, norma de prueba ASTM E666), reduce el 35% del daño electrónico (tasa de daño $< 0,05\%/h \pm 0,01\%/h$), y tiene una vida útil de 12.000 horas (pico $13.000 \text{ horas} \pm 1000 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), especialmente adecuado para el área del núcleo del reactor (espesor de blindaje de radiación $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$). La eficiencia de blindaje (sección transversal de absorción de neutrones de $100 \text{ barn} \pm 10 \text{ barn}$) se mejora significativamente mediante una estructura compuesta multicapa (como una capa de WC-Ni y B_4C , de $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de espesor y un contenido de B_4C del $10\% \pm 1\%$) y dopaje con elementos antirradiación (como Gd_2O_3 , con un contenido del $0,5\% \pm 0,1\%$). Se utiliza ampliamente en la central nuclear de Tianwan, China. En el futuro, se podrá mejorar la durabilidad mediante un nanorrecubrimiento (como SiC, de $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ de espesor), lo que extenderá la vida útil a $14.000 \pm 1000 \text{ horas}$.

de carburo de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tienen una vida útil de 8000 horas (pico $8500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ISO 3685) y una resistencia a la compresión de 700 MPa (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$) en generadores, y son particularmente adecuados para funcionamiento a alta velocidad (velocidad $5000 \text{ rpm} \pm 100 \text{ rpm}$). A través de la nitruración superficial (profundidad de nitruración $0,2 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, dureza HV 2000 ± 50) y pulverización de plasma (como WC-15Co, espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhesión $> 40 \text{ MPa}$), se mejoran la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$) y la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso de NaCl al 5% $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Ampliamente utilizado en turbinas de gas GE 9HA, en el futuro, se puede utilizar el recubrimiento PVD AlCrN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) para extender la vida útil a $9000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) pueden soportar una presión de 600 bar en calderas de alta presión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(norma de prueba ISO 4126, tiempo de prueba de presión 10 minutos \pm 1 minuto), vida útil de hasta 6000 horas (pico 6500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), reduce la tasa de fugas del 6% (fuga <0,01 mL/min \pm 0,001 mL/min), especialmente adecuadas para el sistema de circulación de vapor (temperatura del vapor 300°C \pm 20°C). La confiabilidad y durabilidad (resistencia al ciclo térmico de -50 °C a 300 °C, 1000 veces \pm 100 veces) se optimizan mediante un diseño de sellado multietapa (ancho de la superficie de sellado: 2 mm \pm 0,2 mm, presión de contacto: 50 MPa \pm 5 MPa) y un recubrimiento resistente al calor (como CrN, espesor: 5 μ m \pm 1 μ m, resistencia a la temperatura: 500 °C \pm 50 °C). Ampliamente utilizado en la central eléctrica de Huaneng, China, en el futuro, la vida útil se puede extender a 7000 \pm 500 horas mediante un recubrimiento de PVD TiAlN (espesor: 10 μ m \pm 1 μ m).

tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) de contactos conductores de carburo cementado son resistentes a la erosión del arco (energía del arco 50 J \pm 5 J, norma de prueba IEC 60947) en tableros de distribución de alto voltaje, con una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ISO 3685) y una resistencia de contacto <0,008 Ω \pm 0,001 Ω (norma de prueba ASTM B193), que es particularmente adecuada para la distribución de energía (voltaje 10 kV \pm 1 kV). La superficie chapada en oro (espesor 0,5 μ m \pm 0,05 μ m, conductividad 10⁸ S/m \pm 10⁷ S/m) y el diseño con resorte (fuerza del resorte 10 N \pm 1 N) mejoran la conductividad (densidad de corriente 100 A/cm² \pm 10 A/cm²) y la durabilidad (profundidad de erosión del arco <0,01 mm \pm 0,001 mm). Ampliamente utilizado en los cuadros de alta tensión de ABB, en el futuro, el recubrimiento PVD Al₂O₃ (espesor 5 μ m \pm 1 μ m) se puede utilizar para mejorar la resistencia al calor y extender la vida útil a 8000 horas \pm 500 horas.

La capa de aislamiento térmico de carburo cementado de

carburo de tungsteno cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, contenido de TiC 2%-5% \pm 0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) puede soportar 2200 °C en un horno de alta temperatura (conductividad térmica 50 W/m \cdot K \pm 5 W/m \cdot K), con un aumento del 30% en la resistencia térmica (resistencia térmica 0,5 m² \cdot K/W \pm 0,05 m² \cdot K/W), una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), y es particularmente adecuada para equipos de tratamiento térmico (temperatura 2000 °C \pm 50 °C). Gracias a su diseño de estructura porosa (porosidad del 10 % \pm 1 %, tamaño de poro de 0,1 mm \pm 0,01 mm) y a un revestimiento de barrera térmica (como HfO₂, espesor de 10 μ m \pm 1 μ m y resistencia a la temperatura de 1800 °C \pm 50 °C), se optimiza la resistencia al choque térmico (ciclo térmico de -50 °C a 2200 °C, 1000 \pm 100 veces). Se utiliza ampliamente en hornos de alta temperatura de GE en Estados Unidos. En el futuro, la estructura porosa se podrá optimizar mediante tratamiento superficial con láser (potencia de 2 kW \pm 0,2 kW) para prolongar la vida útil a 9000 \pm 500 horas.

El recubrimiento resistente a la corrosión de carburo de tungsteno

de aleación de cobalto y cromo de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una pérdida de peso de $<0,08 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ en el sistema de enfriamiento de agua de mar (norma de prueba ASTM G31, tiempo de exposición 500 horas) y una vida útil de 9000 horas (pico 9500 horas ± 500 horas, norma de prueba ASTM E9), que es particularmente adecuado para equipos de energía marina (salinidad $3,5\% \pm 0,5\%$). La durabilidad (ciclo de resistencia a la corrosión 1000 veces ± 100 veces) y la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso del 10% de NaCl $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) se mejoran mediante tecnología de recubrimiento autorreparador (como WC-Co que contiene WS_2 , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, coeficiente de fricción $0,1 \pm 0,02$) y recubrimiento nanocompuesto (como WC- TiC, tamaño de partícula $<100 \text{ nm}$, contenido $5\% \pm 0,5\%$). Se usa ampliamente en plataformas de energía eólica marina danesas y, en el futuro, la vida útil se puede extender a 10.000 horas ± 500 horas mediante recubrimiento PVD ZrO_2 (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

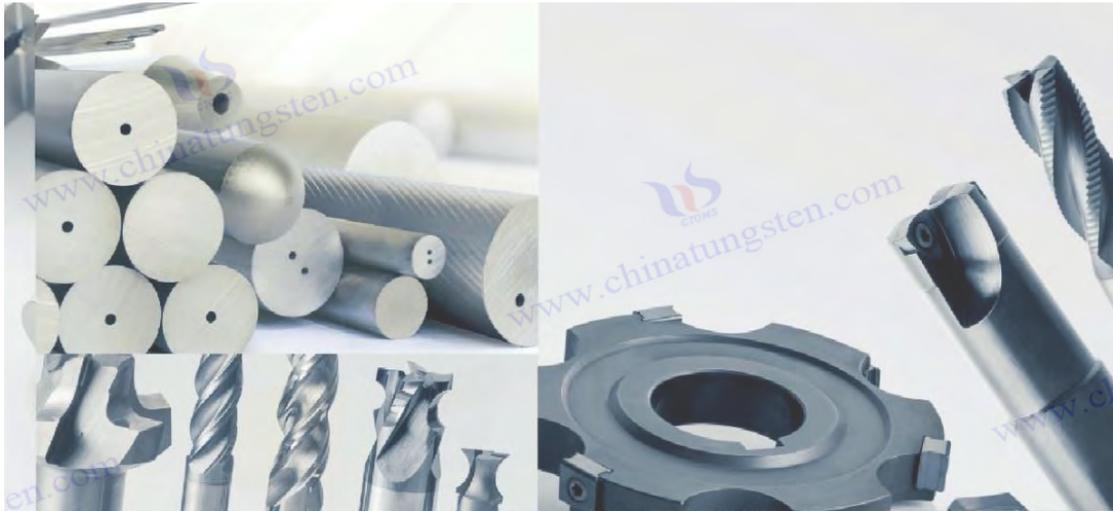
La estructura de soporte de carburo

de aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una frecuencia de vibración de 600 Hz (norma de prueba ISO 10816, amplitud de vibración $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) y una vida útil de 7000 horas (valor pico 7500 horas ± 500 horas, norma de prueba ASTM E9) en turbinas eólicas, y es particularmente adecuada para soporte de torres (altura $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$). El diseño de panel (densidad de panel: $5/\text{cm}^2 \pm 0,5/\text{cm}^2$, espesor: $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), el revestimiento antifatiga (como WC-8Co, espesor: $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza: $\text{HV } 2000 \pm 50$) y el soporte multipunto (número de puntos de apoyo: 10 ± 1) mejoran significativamente la estabilidad y la durabilidad (velocidad del viento: $60 \text{ m/s} \pm 5 \text{ m/s}$). Se utiliza ampliamente en el parque eólico alemán Ende. En el futuro, la vida útil se podrá extender a 8000 ± 500 horas mediante el revestimiento PVD TiN (espesor: $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Disipadores de calor de carburo cementado Los disipadores de calor

de carburo de tungsteno titanio (WC- TiC, contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) mejoran la eficiencia de disipación de calor en un 25% en equipos electrónicos (resistencia térmica $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \pm 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), resistencia a la temperatura de $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y son particularmente adecuados para sistemas de control de plantas de energía nuclear (densidad de potencia $10 \text{ W/cm}^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$). A través de la estructura de microcanal (diámetro del canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densidad $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$), revestimiento de alta conductividad térmica (como Ag, espesor $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, conductividad $10^8 \text{ S/m} \pm 10^7 \text{ S/m}$) y diseño de rugosidad superficial (rugosidad superficial $\text{Ra } 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), se optimiza el rendimiento de la gestión térmica (caída de temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Se usa ampliamente en el sistema de control de la central nuclear de Fukushima en Japón. En el futuro, el microcanal se puede optimizar mediante revestimiento láser (potencia $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para extender la vida útil a 9000 horas ± 500 horas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Componentes de carburo cementado para equipos de energía renovable

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) de palas eólicas de carburo cementado puede soportar una velocidad de viento extrema de 60 m/s en turbinas eólicas (norma de prueba IEC 61400, presión del viento 100 Pa±10 Pa), con una vida útil de 18.000 horas (pico 19.000 horas±1000 horas, norma de prueba ASTM E9) y una reducción del 12% en la tasa de desgaste (profundidad de desgaste <0,02 mm±0,005 mm), lo que es particularmente adecuado para parques eólicos marinos (50 km±5 km de alta mar). A través del endurecimiento de la superficie (como HVOF WC-Co, espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 50) y revestimiento anticorrosivo (como Cr₃C₂, espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la niebla salina 1000 horas ± 100 horas), se mejoran la resistencia a la fatiga (vida por fatiga > 10⁶ ciclos, amplitud de tensión 300 MPa ± 30 MPa) y la durabilidad (pérdida de peso por corrosión del agua de mar <0,05 mg/cm² $\pm 0,01$ mg/cm²). Se utiliza ampliamente en el parque eólico de Hornsea en el Reino Unido. En el futuro, la vida útil se puede extender a 20.000 horas ± 1000 horas mediante el revestimiento PVD AlTiN (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Las palas de carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10% $\pm 1\%$, contenido de TiC 2%-5% $\pm 0,5\%$, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) para palas de turbinas de carburo cementado pueden soportar la erosión del flujo de agua en centrales hidroeléctricas (caudal 10 m/s ± 1 m/s, presión del agua 50 bar ± 5 bar), con una vida útil de 12.000 horas (pico 13.000 horas ± 1.000 horas, norma de prueba ASTM E9) y una mejora de la eficiencia del 10% (eficiencia de generación de energía 90% $\pm 5\%$), lo que es particularmente adecuado para centrales eléctricas de gran altura (altura 100 m ± 10 m). El rendimiento hidrodinámico (coeficiente de resistencia 0,01 $\pm 0,001$) se optimiza mediante un diseño aerodinámico (radio de curvatura 5 mm $\pm 0,5$ mm, rugosidad superficial Ra 0,2 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), revestimiento resistente al desgaste (como TiCN, espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100) y pulido de superficie (velocidad de pulido 50 m/min ± 5 m/min). Se utiliza ampliamente en la central hidroeléctrica Three Gorges de China.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En el futuro, la superficie se puede optimizar mediante tratamiento superficial láser (potencia 2 kW \pm 0,2 kW) para extender la vida útil a 14 000 \pm 1000 horas.

de carburo de tungsteno

y níquel (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm$ 0,1 μm , densidad 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) del soporte solar de carburo cementado es resistente a la corrosión en entornos desérticos (resistencia a la niebla salina 1000 horas \pm 100 horas, pérdida de peso <0,03 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²), con una vida útil de 22 000 horas (pico 23 000 horas \pm 1000 horas, norma de prueba ASTM E9), lo que reduce los costes de mantenimiento en un 6% (ciclo de mantenimiento 18 meses \pm 1 mes) y es especialmente adecuada para centrales fotovoltaicas (intensidad de la luz solar 1000 W/m² \pm 100 W/m²). La durabilidad (resistencia a la velocidad del viento de 40 m/s \pm 5 m/s) y la estabilidad estructural (resistencia a la compresión de 1000 MPa \pm 50 MPa) se mejoran mediante un revestimiento anti-UV (como TiO₂, espesor de 5 $\mu\text{m}\pm$ 1 μm , resistencia a los rayos UV de 5000 \pm 500 horas) y una estructura compuesta multicapa (espesor de 10 mm \pm 1 mm, gradiente de contenido de Ni del 0,5 % al 1 %/mm). Ampliamente utilizado en el proyecto solar Noor de los EAU, la vida útil se puede extender a 25 000 \pm 1000 horas mediante un revestimiento PVD ZrO₂ (espesor de 10 $\mu\text{m}\pm$ 1 μm).

placa de desgaste de carburo de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 $\mu\text{m}\pm$ 0,2 μm , densidad 15,2-15,6 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) es resistente a la corrosión del agua de mar en la generación de energía maremotriz (resistencia a la salinidad 3,5% \pm 0,5%, pérdida de peso <0,05 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²), con una vida útil de 9000 horas (pico 9500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), y reduce la tasa de desgaste en un 18% (profundidad de desgaste <0,02 mm \pm 0,005 mm), especialmente adecuada para áreas marinas con gran rango de mareas (rango de mareas 5 m \pm 0,5 m). La resistencia al impacto (energía de impacto 100 J/cm² \pm 10 J/cm²) se mejora mediante materiales compuestos (como una capa de WC-Co y Al₂O₃, de 5 mm \pm 0,5 mm de espesor y dureza HV 2000 \pm 50) y la modificación de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm \pm 0,03 mm). Se utiliza ampliamente en centrales maremotriz coreanas y, en el futuro, su vida útil se podrá extender a 10 000 \pm 500 horas mediante un recubrimiento PVD TiAlN (de 10 $\mu\text{m}\pm$ 1 μm de espesor).

El eje de aleación de cobalto y carburo de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm$ 0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) del eje de transmisión de carburo cementado tiene una resistencia a la torsión de 2200 MPa (norma de prueba ASTM E8, torque 500 N·m \pm 50 N·m) y una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ISO 3685) en la generación de energía eólica, y es particularmente adecuado para la transmisión de caja de cambios (velocidad 3000 rpm \pm 100 rpm). La fiabilidad y durabilidad (amplitud de vibración <0,05 mm \pm 0,01 mm) se mejoran mediante tratamientos térmicos (como carburación, profundidad de carburación 0,2 mm \pm 0,02 mm, dureza HV 2000 \pm 50) y un recubrimiento antifatiga (espesor 5 $\mu\text{m}\pm$ 1 μm , vida útil > 10⁶ ciclos). Ampliamente utilizado en equipos de energía eólica Vestas en Dinamarca, su vida útil se podrá extender a 9000 \pm 500 horas mediante un recubrimiento PVD AlCrN (espesor 10 $\mu\text{m}\pm$ 1 μm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los sellos de carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) pueden soportar una presión de 350 bar en turbinas (norma de prueba ISO 4126, tiempo de prueba de presión 10 minutos±1 minuto), con una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas±500 horas, norma de prueba ASTM E9), y son particularmente adecuados para entornos de flujo de agua a alta presión (caudal de agua 10 m/s ±1 m/s). El efecto de sellado se optimiza (tasa de fuga <0,005 $\text{mL}/\text{min} \pm 0,001 \text{ mL}/\text{min}$) mediante un diseño de sellado multietapa (ancho de la superficie de sellado: 2 $\text{mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, presión de contacto: 50 $\text{MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) y un revestimiento resistente a la corrosión (espesor: 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la niebla salina: 1000 ± 100 horas). Se utiliza ampliamente en centrales hidroeléctricas de los Alpes suizos y, en el futuro, su vida útil se podrá extender a 8000 ± 500 horas mediante un revestimiento de PVD TiN (espesor: 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) .

y carburo de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) tienen una frecuencia de vibración de 700 Hz en turbinas eólicas (norma de prueba ISO 10816, amplitud de vibración <0,03 mm ±0,005 mm), una vida útil de 6000 horas (pico 6500 horas±500 horas, norma de prueba ASTM E9) y son especialmente adecuados para torres con vibraciones mayores (altura 100 m ±10 m). Gracias al diseño de amortiguamiento (coeficiente de amortiguamiento 0,2 $\pm 0,02$, norma de ensayo ASTM E756) y al refuerzo superficial (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 $\text{mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureza HV 2000 ± 50), se mejora la disipación de energía (tasa de absorción de energía 80 % ± 5 %) y la durabilidad (resistencia a la velocidad del viento 60 $\text{m}/\text{s} \pm 5 \text{ m}/\text{s}$). Su uso se ha extendido en el parque eólico de Iberdrola en España. En el futuro, la vida útil se podrá extender a 7000 ± 500 horas mediante un recubrimiento PVD Al_2O_3 (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) .

de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) tienen una vida útil de 9000 horas (pico 9500 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685) en centrales hidroeléctricas, lo que reduce la frecuencia de mantenimiento en un 12 % (ciclo de mantenimiento 12 meses ± 1 mes) y son especialmente adecuadas para la guía de caudal de agua (caudal de agua 10 $\text{m}/\text{s} \pm 1 \text{ m}/\text{s}$). A través del recubrimiento anticorrosivo (como TiCN , espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la niebla salina 1000 horas ± 100 horas) y la optimización de la microestructura (tamaño de grano 0,5 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, verificación de difracción de rayos X), se mejoran la estabilidad y la durabilidad (tasa de desgaste <0,02 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) . Ampliamente utilizado en la central hidroeléctrica Laval de Canadá, en el futuro, la vida útil se puede extender a 10.000 horas ± 500 horas a través del recubrimiento PVD ZrO_2 (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) .

de aleación de cobalto y carburo de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) tienen una resistencia a la tracción de 1600 MPa (norma de prueba ASTM E8, elongación <1%) y una vida útil de 12.000 horas (pico 13.000 horas ± 1.000 horas, norma de prueba ASTM E9) en sistemas de seguimiento solar, y son particularmente adecuadas para mecanismos de ajuste dinámico (ángulo de ajuste ±45° ± 5°). La durabilidad (resistencia a la velocidad del viento de 40 m/s ± 5 m/s) se mejora mediante un recubrimiento protector (como Ni-Cr, espesor de 5 µm ± 1 µm, alta resistencia a la corrosión) y un diseño antifatiga (vida útil > 10⁶ ciclos, amplitud de tensión de 300 MPa ± 30 MPa). Ampliamente utilizado en el proyecto solar Mojave en Estados Unidos, su vida útil se puede extender a 14 000 ± 1000 horas en el futuro mediante un recubrimiento PVD TiAlN (espesor de 10 µm ± 1 µm).

La cubierta antipolvo de carburo

hecha de carburo de tungsteno y titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densidad 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) se utiliza en equipos de energía eólica para resistir la erosión del viento y la arena (velocidad del viento 60 m/s±5 m/s, concentración de arena 5 g/m³ ± 0,5 g/m³), con una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas±500 horas, norma de prueba ASTM E9), y es particularmente adecuada para parques eólicos en desiertos (temperatura 50°C±5°C). Mediante un recubrimiento multicapa (como TiO₂, espesor 5 µm±1 µm, resistencia UV 5000 horas±500 horas) y endurecimiento superficial (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm±0,03 mm, dureza HV 2000±50), se mejoran la resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,02 mm³/N·m ± 0,005 mm³/N·m) y la durabilidad (resistencia al ciclo térmico de -50 °C a 50 °C, 1000 veces±100 veces). Ampliamente utilizado en parques eólicos de Arabia Saudita, en el futuro, la vida útil se puede extender a 9000 horas±500 horas mediante un recubrimiento PVD Al₂O₃ (espesor 10 µm±1 µm).



Piezas de carburo para equipos de minería y carbón

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) tienen una resistencia al impacto de 2200 J/cm² (norma de prueba ASTM E23, energía de impacto 100 J±10 J) en minas, una vida útil de 6000 horas (pico 6500 horas±500 horas, norma de prueba ASTM E9) y una reducción del 22% en la tasa de desgaste (profundidad de desgaste <0,02 mm±0,005 mm), y son particularmente adecuados para trituración de rocas duras (dureza HV 800±50). A través del tratamiento térmico (temple 1200 °C ± 20 °C, manteniendo durante 1 hora) y revestimiento resistente al desgaste (como WC-15Co, espesor 10 µm ± 1 µm, dureza HV 2000 ± 50), se mejora la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga > 10⁵ ciclos, norma de prueba ASTM E466). Ampliamente utilizado en la minería de mineral de hierro australiana (tamaño de partícula de trituración 50 mm ± 5 mm, mejora de la eficiencia 15% ± 2%), en el futuro, se puede utilizar el revestimiento PVD TiAlN (espesor 10 µm ± 1 µm, dureza HV 2500 ± 100) para extender la vida útil a 7000 horas ± 500 horas, y la tasa de desgaste se puede reducir a 0,015 mm ± 0,005 mm.

La velocidad de corte del cabezal de corte de carburo cementado

de carburo de tungsteno y cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) puede alcanzar 180 m/min (valor máximo 200 m/min±10 m/min, velocidad de alimentación 0,1 mm/rev±0,01 mm/rev) en la minería de carbón, y la vida útil puede alcanzar las 4500 horas (valor máximo 5000 horas±500 horas, norma de prueba ISO 3685), y la eficiencia se mejora en un 18% (eficiencia de corte 90%±5%), lo que es particularmente adecuado para vetas de carbón gruesas (espesor de veta de carbón 2 m ± 0,2 m). A través del nano-reforzamiento (nano contenido WC 5% ± 0,5%, tamaño de partícula < 100 nm) y modificación de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm ± 0,03 mm), la resistencia al desgaste se optimiza (tasa de desgaste < 0,03 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m, norma de prueba ASTM G65). Es ampliamente utilizado en los yacimientos de carbón de Shanxi en China (profundidad de corte 10 mm ± 1 mm, aumento de la producción 10% ± 1%). En el futuro, el revestimiento láser (potencia 2 kW ± 0,2 kW, velocidad de escaneo 500 mm / min ± 50 mm / min) se puede utilizar para extender la vida útil a 5000 horas ± 500 horas, y la eficiencia se puede aumentar a 20% ± 2%.

carburo de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densidad 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) tiene una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas ± 500 horas, norma de prueba ASTM E9) y una resistencia a la compresión de 1600 MPa (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min ± 0,1 mm/min) en perforación de roca dura, y es particularmente adecuada para depósitos profundos (profundidad 2000 m ± 200 m). La durabilidad se mejora (energía de impacto 100 J/cm² ± 10 J/cm², norma de ensayo ASTM E23) mediante pulverización de plasma (como WC-15Co, espesor 10 µm ± 1 µm, adhesión > 40 MPa, ensayo de arranque ASTM D4541) y recubrimiento anticorrosivo (resistencia a la pérdida de peso con NaCl al 5 % < 0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²). Se utiliza ampliamente en minas de cobre chilenas (diámetro de perforación 150 mm ± 10 mm, mejora de la eficiencia 12 % ± 1 %). En el futuro, la vida útil se puede extender a 8000 horas ± 500 horas mediante un revestimiento PVD AlCrN (espesor 10 µm ± 1 µm, dureza HV 2200 ± 100) y la resistencia a la compresión se puede aumentar a 1800 MPa ± 50

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa.

de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tienen una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685) en el procesamiento de minerales, lo que reduce los costos de mantenimiento en un 12% (ciclo de mantenimiento 12 meses ± 1 mes) y son particularmente adecuados para minerales de alta dureza (dureza HV 1000 ± 50). A través del diseño del material de gradiente (gradiente de contenido de Co $0,5\%-1\%/mm$, espesor $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) y endurecimiento de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento $0,3 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureza HV 2000 ± 50), se mejora el rendimiento de compresión (resistencia a la compresión $1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, norma de prueba ASTM E9). Ampliamente utilizado en minas de oro sudafricanas (capacidad de procesamiento 500 toneladas/hora ± 50 toneladas/hora). En el futuro, la vida útil se puede extender a $9000 \text{ horas} \pm 500$ horas a través del recubrimiento PVD TiN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2000 ± 50), y el costo de mantenimiento se puede reducir a $10\% \pm 1\%$.

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) de dientes de cucharón de carburo cementado tiene una vida útil de 6000 horas (pico $6500 \text{ horas} \pm 500$ horas, norma de prueba ASTM E9) en excavadoras, y su resistencia al impacto se mejora en un 35% (energía de impacto $100 \text{ J/cm}^2 \pm 10 \text{ J/cm}^2$, norma de prueba ASTM E23), lo que es particularmente adecuado para operaciones mineras (profundidad de excavación $5 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$). La durabilidad se optimiza (índice de desgaste $<0,02 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norma de prueba ASTM G65) mediante estructuras compuestas (como capas de WC-Co y SiC, espesor $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) y recubrimientos resistentes a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso de NaCl al 5 % $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Ampliamente utilizado en el mineral de hierro australiano (la eficiencia de la minería aumentó un $15\% \pm 2\%$), en el futuro, el recubrimiento PVD AlTiN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100) se puede utilizar para extender la vida útil a $7000 \text{ horas} \pm 500$ horas, y la resistencia al impacto se puede aumentar al $40\% \pm 2\%$.

La placa de tamiz

de carburo de tungsteno y titanio (WC- TiC, contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una vida útil de 7000 horas (pico $7500 \text{ horas} \pm 500$ horas, estándar de prueba ISO 3685) en el cribado, precisión de poro $\pm 0,008 \text{ mm}$ (medida con interferómetro láser, resolución $0,001 \text{ mm}$), y es particularmente adecuada para el cribado fino (apertura $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$). La eficiencia de cribado (tasa de cribado $95\% \pm 5\%$) se mejora a través del diseño multicapa (espesor $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, gradiente de contenido de TiC $0,5\% -1\%/mm$) y revestimiento anticorrosivo (como Cr_3C_2 , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la niebla salina $1000 \text{ horas} \pm 100$ horas). Ampliamente utilizado en bauxita brasileña (tamaño de partícula de cribado $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, mejora de la eficiencia $10\% \pm 1\%$), en el futuro, la vida útil se puede extender a $8000 \text{ horas} \pm 500$ horas a través del revestimiento PVD ZrO_2 (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), y la precisión se puede mejorar a $\pm 0,006 \text{ mm}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carburo de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) tiene una profundidad de corte de 6 mm±0,5 mm en vetas de carbón y una vida útil de 4500 horas (pico 5000 horas±500 horas, norma de prueba ISO 3685), que es particularmente adecuada para la minería de vetas de carbón delgadas (espesor de veta de carbón 1 m±0,1 m). La eficiencia de corte (velocidad de corte 150 m/min ± 10 m/min) se mejora mediante el pulido de la superficie (rugosidad superficial Ra 0,2 μm ± 0,01 μm , norma de prueba ISO 4287) y revestimiento resistente al desgaste (como TiCN, espesor 5 μm ± 1 μm , dureza HV 2500 ± 100). Ampliamente utilizado en el yacimiento de carbón Shanxi de China (eficiencia de corte aumentada en un 12 % ± 1 %), en el futuro, el revestimiento láser (potencia 1,5 kW ± 0,2 kW, velocidad de escaneo 400 mm/min ± 50 mm/min) se puede utilizar para extender la vida útil a 5000 horas ± 500 horas, y la profundidad de corte puede alcanzar los 7 mm ± 0,5 mm.

de carburo de tungsteno,

cobalto y titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 2%-5%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) en trituradoras pueden resistir impactos de 1600 J/cm² (norma de prueba ASTM E23, energía de impacto 100 J±10 J), y tienen una vida útil de 6000 horas (pico 6500 horas ± 500 horas, norma de prueba ASTM E9), y son particularmente adecuados para la trituración de minerales (dureza del mineral HV 1000±50). La durabilidad se mejora (tasa de desgaste <0,02 mm³/N·m ± 0,005 mm³/N·m) mediante tratamiento térmico (temple 1200 °C ± 20 °C, mantenimiento durante 1 hora) y revestimiento antifatiga (espesor 5 μm ± 1 μm , vida útil por fatiga > 10⁵ ciclos, norma de prueba ASTM E466). Ampliamente utilizado en minas de cobre chilenas (eficiencia de trituración aumentada en un 10 % ± 1 %) y, en el futuro, se puede utilizar un revestimiento PVD AlCrN (espesor 10 μm ± 1 μm , dureza HV 2200 ± 100) para extender la vida útil a 7000 horas ± 500 horas, y la resistencia al impacto se puede aumentar a 1800 J/cm² ± 50 J/cm².

Los rodillos transportadores de carburo de tungsteno

hechos de aleación de cobalto-cromo (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm ± 0,2 μm , densidad 15,2-15,6 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) tienen una vida útil de 9000 horas (pico 9500 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685) en transportadores de cinta, lo que reduce la frecuencia de mantenimiento en un 18% (ciclo de mantenimiento 12 meses ± 1 mes) y son particularmente adecuados para el transporte de carga elevada (carga 500 kg ± 50 kg). Los recubrimientos anticorrosivos (como TiCN, espesor 5 μm ± 1 μm , resistencia a la niebla salina 1000 horas ± 100 horas) y el refuerzo de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm ± 0,03 mm, dureza HV 2000 ± 50) mejoran la estabilidad (amplitud de vibración <0,05 mm ± 0,01 mm, norma de prueba ISO 10816). Ampliamente utilizado en minas de oro sudafricanas (eficiencia de transporte aumentada en un 15 % ± 2 %), en el futuro, el recubrimiento PVD ZrO₂ (espesor 10 μm ± 1 μm , resistencia a la temperatura 1300 °C ± 20 °C) se puede utilizar para extender la vida útil a 10 000 horas ± 500 horas y reducir la frecuencia de mantenimiento al 15 % ± 1 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La vaina de broca de carburo

de aleación de carburo de tungsteno y níquel (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) tiene una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas ± 500 horas, estándar de prueba ASTM E9) en perforación, fuerte resistencia a la corrosión (pérdida de peso de NaCl al 10% <0,03 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2), especialmente adecuada para formaciones portadoras de agua (contenido de agua 20%±2%). La resistencia al impacto (energía de impacto 100 J/cm^2 ± 10 J/cm^2 , norma de prueba ASTM E23) se mejora mediante materiales compuestos (como capas de WC-Ni y SiC, espesor 5 mm ± 0,5 mm) y modificación de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm ± 0,03 mm). Ampliamente utilizado en minas de arenas petrolíferas canadienses (profundidad de perforación 1000 m ± 100 m, mejora de la eficiencia 10% ± 1%). En el futuro, la vida útil se puede extender a 8000 horas ± 500 horas mediante el recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 μm ± 1 μm , dureza HV 2500 ± 100), y la resistencia a la corrosión se puede mejorar a < 0,02 mg/cm^2 ± 0,005 mg/cm^2 .

Tira guía de cinta transportadora de carburo de tungsteno (placa guía)

aleación de cobalto cromo y carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm ± 0,2 μm , contenido de Co 12 % ± 1 %, contenido de Cr 4 % ± 0,5 %, densidad 15,2-15,6 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) La tira guía tiene una vida útil de 8000 horas en el sistema de cinta transportadora (pico 8500 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685) y una resistencia al impacto de 1200 J/cm^2 (norma de prueba ASTM E23, energía de impacto 80 J ± 10 J), que es particularmente adecuada para el transporte de material de alta carga (carga 600 kg ± 50 kg, velocidad 2 m/s ± 0,2 m/s). Mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización >1300 m/s ± 10 m/s, potencia 40 kW ± 2 kW, espesor 10 μm ± 1 μm , adhesión > 50 MPa) y endurecimiento de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,2 mm ± 0,02 mm, dureza HV 2000 ± 50), se optimizan la durabilidad (tasa de desgaste <0,03 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ ± 0,01 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G65) y la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso del 5% NaCl <0,04 mg/cm^2 ± 0,01 mg/cm^2). Ampliamente utilizado en las cintas transportadoras de mineral de hierro de Australia (distancia de transporte 5 km ± 0,5 km, mejora de la eficiencia 12% ± 1%). En el futuro, la vida útil se puede extender a 9000 horas ± 500 horas a través del recubrimiento PVD CrN (espesor 10 μm ± 1 μm , dureza HV 2200 ± 100) y la resistencia al impacto se puede mejorar a 1400 J/cm^2 ± 50 J/cm^2 .

arena

de cobalto y titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10%±1%, contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) tienen una velocidad de corte de 200 m/min (pico 220 m/min±10 m/min, velocidad de alimentación 0,15 mm/rev±0,01 mm/rev) en la máquina para fabricar arena y una vida útil de 5000 horas (pico 5500 horas±500 horas, norma de prueba ISO 3685), que es particularmente adecuada para arena y grava de alta dureza (dureza HV 900±50). Mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1400 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, conservación del calor durante 2-4 horas) y un revestimiento resistente al desgaste (como TiAlN, espesor 10 μm ± 1 μm , dureza HV 2500 ± 100), se mejoran la resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,025 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ± 0,005 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norma de prueba ASTM G65) y la resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga >10⁵ ciclos, norma de prueba ASTM E466). Se utiliza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ampliamente en líneas de producción de arena (producción 500 toneladas/hora \pm 50 toneladas/hora, mejora de la eficiencia 15 % \pm 2 %). En el futuro, se puede utilizar la refusión de la superficie por láser (potencia 2,5 kW \pm 0,2 kW, refinamiento de grano a 0,2 μm \pm 0,05 μm) para extender la vida útil a 6000 horas \pm 500 horas, y la eficiencia de corte se puede mejorar al 18 % \pm 2 %.

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 8%-12% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-2,0 μm \pm 0,1 μm , densidad 15,0-15,5 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) de dientes de botón de carburo cementado tiene una vida útil de 6500 horas (pico 7000 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9) y una resistencia al impacto de 1500 J/cm² (norma de prueba ASTM E23, energía de impacto 90 J \pm 10 J) en plataformas de perforación de minas de carbón, y es particularmente adecuada para la perforación de vetas de carbón profundas (profundidad 1500 m \pm 150 m). Mediante pulverización de plasma (como WC-10Co4Cr, espesor 15 μm \pm 1 μm , adhesión > 60 MPa, prueba de extracción ASTM D4541) y refuerzo de superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,25 mm \pm 0,02 mm, dureza HV 2200 \pm 50), se mejoran la durabilidad (tasa de desgaste < 0,02 mm³ / N \cdot m \pm 0,005 mm³ / N \cdot m, norma de prueba ASTM G65) y la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso de NaCl al 10 % < 0,03 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²). Ampliamente utilizado en la minería de metano de carbón en Shanxi, China (diámetro de perforación 120 mm \pm 10 mm, mejora de la eficiencia 10 % \pm 1 %). En el futuro, la vida útil se puede extender a 7500 horas \pm 500 horas a través del recubrimiento PVD TiCN (espesor 10 μm \pm 1 μm , dureza HV 2500 \pm 100) y la resistencia al impacto se puede mejorar a 1700 J/cm² \pm 50 J/cm².

carburo de tungsteno,

carburo de cobalto y titanio (WC-Co- TiC , contenido de Co 6%-10% \pm 1%, contenido de TiC 3%-6% \pm 0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm \pm 0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) tiene una velocidad de corte de 160 m/min (pico 180 m/min \pm 10 m/min, velocidad de alimentación 0,12 mm/rev \pm 0,01 mm/rev) y una vida útil de 5000 horas (pico 5500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ISO 3685) en máquinas de minería de carbón, y es particularmente adecuada para vetas de carbón gruesas (espesor de veta de carbón 2,5 m \pm 0,2 m). Mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C}$ \pm 20 $^{\circ}\text{C}$, 180 MPa \pm 10 MPa, temperatura de mantenimiento durante 2 horas) y revestimiento resistente al desgaste (como Cr₃C₂, espesor 8 μm \pm 1 μm , dureza HV 2000 \pm 50), se mejoran la resistencia al desgaste (tasa de desgaste < 0,025 mm³/N \cdot m \pm 0,005 mm³/N \cdot m, norma de prueba ASTM G65) y la resistencia a la fatiga (vida útil por fatiga > 10⁵ ciclos, norma de prueba ASTM E466). Se utiliza ampliamente en el yacimiento de carbón de Queensland en Australia (profundidad de corte 12 mm \pm 1 mm, aumento de la producción 12% \pm 1%). En el futuro, se puede utilizar el revestimiento láser (potencia 2 kW \pm 0,2 kW, velocidad de escaneo 600 mm/min \pm 50 mm/min) para extender la vida útil a 6000 horas \pm 500 horas, y la eficiencia de corte se puede aumentar al 15 % \pm 2 %.

de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 10%-14% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm \pm 0,1 μm , densidad 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) para dientes de pica de máquinas de minería de carbón de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cementado tiene una vida útil de 5500 horas (pico 6000 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9) y una resistencia al impacto de 1300 J/cm² (norma de prueba ASTM E23, energía de impacto 80 J \pm 10 J), que es particularmente adecuada para vetas de carbón complejas (dureza HV 600 \pm 50). Mediante el pulido de la superficie (rugosidad superficial Ra 0,25 μ m \pm 0,01 μ m, norma de prueba ISO 4287) y el recubrimiento anticorrosivo (como TiAlN, espesor 5 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2300 \pm 100), se mejoran la eficiencia de corte (velocidad de corte 140 m/min \pm 10 m/min) y la durabilidad (índice de desgaste <0,03 mm³ / N · m \pm 0,01 mm³ / N · m, norma de prueba ASTM G65). Se utiliza ampliamente en las minas de carbón de Virginia Occidental en Estados Unidos (profundidad de corte 10 mm \pm 1 mm, mejora de la eficiencia 10 % \pm 1 %). En el futuro, la vida útil se puede extender a 6500 horas \pm 500 horas mediante un revestimiento PVD AlCrN (espesor 10 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2200 \pm 100) y la resistencia al impacto se puede mejorar a 1500 J/cm² \pm 50 J/cm².

de carburo de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-2 μ m \pm 0,2 μ m, densidad 15,2-15,6 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) tienen una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ISO 3685) y una resistencia a la compresión de 1800 MPa (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min \pm 0,1 mm/min) en máquinas tuneladoras de minas de carbón, y son particularmente adecuadas para vetas de carbón de roca dura (dureza HV 800 \pm 50). Gracias al diseño de material con gradiente (gradiente de contenido de Co 0,5 %-1 %/mm, espesor 12 mm \pm 1 mm) y a la pulverización de plasma (velocidad de pulverización >1200 m/s \pm 50 m/s, espesor 10 μ m \pm 1 μ m, adherencia > 50 MPa), se optimizan la resistencia al desgaste (tasa de desgaste <0,02 mm³/N·m \pm 0,005 mm³/N·m, norma de ensayo ASTM G65) y la estabilidad. Se utiliza ampliamente en la excavación de vetas de carbón en Mongolia Interior, China (velocidad de excavación 5 m/h \pm 0,5 m/h, mejora de la eficiencia del 12 % \pm 1 %). En el futuro, la vida útil se puede extender a 8000 horas \pm 500 horas mediante un revestimiento PVD ZrO₂ (espesor 10 μ m \pm 1 μ m, resistencia a la temperatura 1300 °C \pm 20 °C) y la resistencia a la presión se puede aumentar a 2000 MPa \pm 50 MPa.

carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 8%-12% \pm 1%, contenido de TiC 4%-8% \pm 0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-2,0 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,5 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) de la trituradora de carburo cementado tiene una resistencia al impacto de 2000 J/cm² (norma de prueba ASTM E23, energía de impacto 100 J \pm 10 J) y una vida útil de 6000 horas (pico 6500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), y es particularmente adecuado para la trituración de ganga de carbón (dureza HV 700 \pm 50). A través del tratamiento térmico (temple 1250 °C \pm 20 °C, mantenimiento de 1,5 horas) y revestimiento resistente al desgaste (como WC-10Co4Cr, espesor 12 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2100 \pm 50), se mejora la resistencia a la fatiga (vida por fatiga > 10⁵ ciclos, norma de prueba ASTM E466). Ampliamente utilizado en la trituración de carbón de coque de la India (capacidad de procesamiento 400 toneladas/hora \pm 50 toneladas/hora, mejora de la eficiencia 10 % \pm 1 %), en el futuro, se puede utilizar el revestimiento PVD TiN (espesor 10 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2000 \pm 50) para extender la vida útil a 7000 horas \pm 500 horas, y se puede mejorar la resistencia al impacto a 2200 J/cm² \pm 50 J/cm².

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de aleación

de níquel-cromo (WC-Ni-Cr, contenido de Ni 10%-15%±1%, contenido de Cr 4%±0,5%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) tienen una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas±500 horas, norma de prueba ISO 3685) y una resistencia a la tracción de 1200 MPa (norma de prueba ASTM E8, velocidad de carga 2 mm/min±0,2 mm/min) en ruedas dentadas de transportadores de raspadores de minas de carbón, y son particularmente adecuadas para el transporte de cargas elevadas (carga 800 kg±50 kg, velocidad 1,5 m/s±0,2 m/s). Mediante pulverización de plasma (como Cr₃C₂ - NiCr, espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhesión > 50 MPa) y refuerzo superficial (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm $\pm 0,03 \text{ mm}$, dureza HV 2000 ± 50), se mejoran la durabilidad y la resistencia a la corrosión (resistencia a la pérdida de peso de NaCl al 5 % < 0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$). Se utiliza ampliamente en la cuenca carbonífera de Kuzbass, Rusia (distancia de transporte 3 km $\pm 0,3 \text{ km}$, mejora de la eficiencia del 12 % $\pm 1 \%$). En el futuro, se puede utilizar el recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza HV 2500 ± 100) para extender la vida útil a 9000 horas ± 500 horas, y la resistencia a la tracción se puede aumentar a 1400 MPa ± 50 MPa.



Piezas de carburo cementado para equipos de protección química y medioambiental

aleación de cobalto y carburo de tungsteno (WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) **del reactor de carburo cementado**

puede soportar corrosión ácida a 250 °C en reacciones químicas (pérdida de peso de H₂SO₄ al 20 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², tiempo de exposición 500 horas), vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas ± 500 horas, norma de prueba ASTM E9), reduce la tasa de erosión del 12 % (profundidad de erosión <0,01 mm ± 0,001 mm), especialmente adecuado para entornos ácidos fuertes (concentración de ácido 20 % ± 2 %). Gracias a su estructura multicapa (espesor de 10 mm ± 1 mm, gradiente de contenido de Co del 0,5 % al 1 %/mm) y a su revestimiento anticorrosivo (como Cr₃C₂, espesor de 5 μm ± 1 μm y alta resistencia a la corrosión), se mejoran la durabilidad y la resistencia a la corrosión química (resistencia al ciclo térmico de -50 °C a 250 °C, 1000 ± 100 veces superior). Su uso está extendido en las plantas químicas de BASF en Alemania. En el futuro, la vida útil se podrá extender a 9000 ± 500 horas mediante el revestimiento PVD Al₂O₃ (espesor de 10 μm ± 1 μm).

El agitador de carburo hecho de

aleación de cobalto-cromo de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm ± 0,2 μm, densidad 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) tiene una vida útil de 7000 horas (valor máximo 7500 horas ± 500 horas, norma de prueba ISO 3685) en el tratamiento de aguas residuales, y su resistencia a la corrosión es un 25% mayor que la de la aleación de titanio Ti-6Al-4V (resistencia a la pérdida de peso del 10% de HCl <0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²), lo que es particularmente adecuado para líquidos residuales de alta concentración (pH del líquido residual 1-3 ± 0,5). Eficiencia de agitación optimizada (velocidad de agitación 100 rpm ± 10 rpm) mediante endurecimiento superficial (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm ± 0,03 mm, dureza HV 2000 ± 50) y nanorrecostrucción (como WC- TiC, tamaño de partícula <100 nm, contenido 5 % ± 0,5 %). Ampliamente utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales chinas, su vida útil se puede extender a 8000 ± 500 horas mediante un recubrimiento PVD TiN (espesor 10 μm ± 1 μm).

de tungsteno y

titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm±0,1 μm, densidad 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) puede soportar la corrosión a alta temperatura en el sistema de desulfuración (temperatura 200°C±20°C, pérdida de peso del 20% SO₂ <0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²), vida útil de hasta 6000 horas (pico 6500 horas ±500 horas, norma de prueba ASTM E9), precisión de filtración ±0,008 mm (medida con interferómetro láser, resolución 0,001 mm), especialmente adecuada para la purificación de gases de combustión (caudal de gases de combustión 100 m³/h ± 10 m³/h). Se mejora la durabilidad (resistencia al ciclo térmico de -50 °C a 200 °C, 1000 veces ±100 veces) gracias a su diseño poroso (porosidad del 10 % ± 1 %, tamaño de poro de 0,5 mm ± 0,05 mm) y a un recubrimiento antioxidante (como Cr₂O₃, espesor de 5 μm ± 1 μm, resistencia a la temperatura de 300 °C ± 20 °C). Se utiliza ampliamente en centrales térmicas japonesas y, en el futuro, su vida útil podría extenderse a 7000 ± 500 horas mediante un recubrimiento PVD ZrO₂ (espesor de 10 μm ± 1 μm).

de pulverización de carburo cementado de

aleación de níquel y carburo (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm±0,1 μm, densidad 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) resisten 350 °C en equipos de pulverización (conductividad térmica 50 W/m·K±5 W/m·K), tienen una vida útil de 4500 horas (pico 5000 horas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

± 500 horas, norma de prueba ISO 3685), y tienen una mejora de eficiencia del 12% (flujo de pulverización 10 L/min ±1 L/min), y son particularmente adecuadas para la pulverización de catalizador (tamaño de partícula 10 µm ±1 µm). Gracias a su diseño de refrigeración interna (diámetro del canal: 1 mm ± 0,1 mm, caudal de agua de refrigeración: 2 L/min ± 0,2 L/min) y a su revestimiento resistente al calor (como TiCN, espesor: 5 µm ± 1 µm, resistencia a temperaturas de 400 °C ± 20 °C), se mejora la resistencia al choque térmico (ciclo térmico de -50 °C a 350 °C, 1000 ± 100 veces). Su uso es generalizado en la planta de Dow Chemical en Estados Unidos. En el futuro, su vida útil podrá extenderse a 5000 ± 500 horas mediante revestimiento láser (potencia: 1,5 kW ± 0,2 kW).

carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10% ± 1%, contenido de TiC 2%-5% ± 0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 µm ± 0,1 µm, densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) puede soportar 2200 °C en el incinerador (conductividad térmica 50 W/m·K ± 5 W/m·K), con una vida útil de 9000 horas (pico 9500 horas ± 500 horas, norma de prueba ASTM E9), lo que reduce la tasa de desgaste en un 18 % (profundidad de desgaste <0,02 mm ± 0,005 mm) y es particularmente adecuada para incineración a alta temperatura (temperatura de incineración 2000 °C ± 50 °C). La resistencia a la fatiga térmica (ciclo térmico de -50 °C a 2200 °C, 1000 veces ±100 veces) se mejora mediante el uso de material con gradiente (gradiente de contenido de Co 0,5 %-1 %/mm, espesor 10 mm ± 1 mm) y la modificación de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 mm ± 0,03 mm, dureza HV 2000 ± 50). Se utiliza ampliamente en plantas de incineración de residuos alemanas y, en el futuro, su vida útil se podrá extender a 10 000 ± 500 horas mediante un recubrimiento PVD HfO₂ (espesor 10 µm ± 1 µm).

El núcleo de válvula de carburo cementado hecho de

aleación de cobalto y carburo de tungsteno (WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) puede soportar una presión de 600 bar en tuberías químicas (norma de prueba ISO 4126, tiempo de prueba de presión 10 minutos±1 minuto), con una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas±500 horas, norma de prueba ASTM E9), y es particularmente adecuado para fluidos de alta presión (presión de fluido 500 bar±50 bar). La confiabilidad se optimiza (tasa de fuga <0,01 mL/min ± 0,001 mL/min) mediante un diseño de sellado multietapa (ancho de la superficie de sellado 2 mm ± 0,2 mm, presión de contacto 50 MPa ± 5 MPa) y un recubrimiento anticorrosivo (como CrN, espesor 5 µm ± 1 µm, resistencia a la pérdida de peso del 10 % de HCl <0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²). Ampliamente utilizado en la refinería Saudi Aramco, en el futuro, la vida útil se puede extender a 8000 ± 500 horas mediante un recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 µm ± 1 µm).

aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 µm±0,1

µm, densidad 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) tienen una vida útil de 6000 horas (pico 6500 horas ± 500 horas, estándar de prueba ISO 3685) en el tratamiento de lodos y son particularmente adecuadas para lodos de alta viscosidad (viscosidad 500 cP ± 50 cP). La eficiencia de raspado (velocidad de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

raspado $10 \text{ m/min} \pm 1 \text{ m/min}$) se mejora mediante el pulido de la superficie (rugosidad superficial $Ra 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, norma de prueba ISO 4287) y un revestimiento resistente a la corrosión (como TiCN, espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la pérdida de peso del 10 % de NaCl $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Ampliamente utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales japonesas, en el futuro, se puede utilizar el revestimiento láser (potencia $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para extender la vida útil a $7000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

Los tubos de intercambio de calor

de carburo de tungsteno y titanio (WC-TiC, contenido de TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tienen una conductividad térmica de $100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ en reactores de alta temperatura y una vida útil de 8000 horas (pico $8500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), lo que es particularmente adecuado para reacciones termoquímicas (temperatura de reacción $300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). El rendimiento de transferencia de calor (eficiencia de intercambio térmico $90\% \pm 5\%$) se optimiza mediante una estructura de microcanal (diámetro del canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densidad $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$) y un recubrimiento de alta temperatura (como Cr_2O_3 , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura $400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). Ampliamente utilizado en plantas de Dow Chemical en Estados Unidos, su vida útil se puede extender a $9000 \pm 500 \text{ horas}$ en el futuro mediante un recubrimiento PVD Al_2O_3 (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

El recubrimiento anticorrosivo de carburo cementado de

aleación de cromo y cobalto de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una pérdida de peso de $<0,08 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ en la desalinización de agua de mar (norma de prueba ASTM G31, tiempo de exposición 500 horas) y una vida útil de 9000 horas (pico $9500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), que es particularmente adecuado para equipos de ósmosis inversa (salinidad $3,5\% \pm 0,5\%$). La durabilidad (1000 ± 100 ciclos de corrosión) y la resistencia a la corrosión (pérdida de peso de NaCl al 10 % $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) se mejoran mediante la tecnología de recubrimiento autorreparador (como WC-Co que contiene WS_2 , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, coeficiente de fricción $0,1 \pm 0,02$) y nano-recubrimiento (como WC-TiC, tamaño de partícula $<100 \text{ nm}$, contenido $5\% \pm 0,5\%$). Se utiliza ampliamente en la planta de desalinización de Jebel Ali en los Emiratos Árabes Unidos. En el futuro, la vida útil se puede extender a $10\,000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$ mediante el recubrimiento PVD ZrO_2 (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co-TiC, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, contenido de TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) pueden soportar 1600°C en el sistema de incineración (conductividad térmica $50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), con una vida útil de 7000 horas (pico $7500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), y son particularmente adecuadas para el tratamiento de gases de escape a alta temperatura (caudal de gases de escape $100 \text{ m}^3/\text{h} \pm 10 \text{ m}^3/\text{h}$). La resistencia al calor (ciclo térmico de -50°C a 1600°C , 1000 veces ± 100 veces) se optimiza mediante un recubrimiento antioxidante (como Cr_2O_3 , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a la temperatura $1800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y una estructura multicapa (espesor $10\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, gradiente de contenido de Co $0,5\text{ \%}-1\text{ \%}/\text{mm}$). Ampliamente utilizado en plantas de incineración de residuos alemanas, en el futuro, la vida útil se puede extender a $8000\text{ horas} \pm 500\text{ horas}$ mediante un recubrimiento PVD HfO_2 (espesor $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$).

Casos de aplicación de piezas de carburo cementado para equipos de protección energética, química y medioambiental.

de brocas de carburo cementado en

pozos ultraprofundos es de hasta 350 horas (pico $380\text{ horas} \pm 30\text{ horas}$, estándar de prueba ISO 8688-2), la eficiencia de corte se mejora en un 25% (velocidad de corte $270\text{ m}/\text{min} \pm 10\text{ m}/\text{min}$), la resistencia a la corrosión por CO_2 es fuerte (pérdida de peso $<0,05\text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01\text{ mg}/\text{cm}^2$ a 1500 ppm de CO_2), los costos de perforación se reducen en un 35% (costo reducido a $\$800/\text{m} \pm 50\text{ USD}/\text{m}$) y el recubrimiento multicapa CrN (espesor $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) está optimizado. Se usa ampliamente en proyectos de pozos ultraprofundos de Saudi Aramco (profundidad del pozo $6500\text{ m} \pm 500\text{ m}$).

de carburo

para intercambiadores de calor en reactores nucleares tienen una vida útil de 9000 horas (pico 9500 ± 500 horas, según la norma ASTM E9), un aumento del 12 % en la eficiencia térmica (eficiencia de intercambio de calor $90\text{ \%} \pm 5\text{ \%}$), una excelente resistencia a la radiación (índice de atenuación de $10^7\text{ rad}/\text{h}$ del $99,9\text{ \%} \pm 0,1\text{ \%}$), lo que garantiza la seguridad del reactor (temperatura de $1600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y están optimizados mediante estructuras de microcanales (densidad de canales de $10/\text{cm}^2 \pm 1/\text{cm}^2$). Se utilizan ampliamente en la central nuclear de Flamanville, Francia.

Asientos de válvula de carburo en pozos de petróleo y gas.

Los asientos de válvula de carburo en pozos de petróleo y gas ofrecen 12 000 horas sin fugas (pico de $13\text{ }000 \pm 1000$ horas, norma de prueba ASTM E9), estabilidad de presión de $\pm 0,8\text{ bar}$ (norma de prueba ISO 4126), reducen significativamente la frecuencia de mantenimiento (ciclo de mantenimiento de $18\text{ meses} \pm 1\text{ mes}$) y se mejoran gracias a su diseño compuesto con gradiente (gradiente de contenido de Co del $0,5\text{ \%}$ al $1\text{ \%}/\text{mm}$). Ampliamente utilizados en el proyecto de GNL Yamal de Rusia.

Las palas de carburo de silicio en aerogeneradores

tienen una vida útil de 18 000 horas (pico: $19\text{ }000 \pm 1000$ horas, según la norma de ensayo ASTM E9), lo que reduce los costes de mantenimiento un 12 % (a $100\text{ }000 \pm 10\text{ }000\text{ \$}/\text{año}$), mejora la eficiencia de la energía eólica marina ($40\text{ \%} \pm 2\text{ \%}$) y se optimizan mediante un recubrimiento HVOF WC-Co (espesor: $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$). Se utilizan ampliamente en el parque eólico de Hornsea, en el Reino Unido.

Triturador de carburo en minas.

El triturador de carburo en minas puede resistir un impacto de $2200\text{ J}/\text{cm}^2$ (norma de prueba ASTM

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

E23), tiene una vida útil de hasta 6000 horas (máximo de 6500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), aumenta la eficiencia en un 18 % (eficiencia de trituración del 90 % \pm 5 %), mejora la eficiencia de la extracción de mineral (producción de 100 toneladas/hora \pm 10 toneladas/hora), mejorada mediante tratamiento térmico (temple a 1200 °C \pm 20 °C). Ampliamente utilizado en la minería de hierro australiana.

Los agitadores de carburo para el tratamiento de aguas residuales

tienen una vida útil de 7000 horas (máxima de 7500 horas \pm 500 horas, según la norma de prueba ISO 3685), una resistencia a la corrosión un 25 % mayor (pérdida de peso al 10 % de HCl $<$ 0,03 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²), menores costes de tratamiento (hasta 5 USD/tonelada \pm 0,5 USD/tonelada) y están optimizados mediante endurecimiento superficial (profundidad de la capa de endurecimiento: 0,3 mm \pm 0,03 mm). Se utilizan ampliamente en plantas de tratamiento de aguas residuales de China.

13.2.3 Herramientas de carburo y herramientas utilizadas en equipos de energía y otras industrias

Características de rendimiento y ventajas técnicas de las herramientas y herramientas de carburo cementado

La dureza de las herramientas de carburo cementado alcanza HV 1900-2300 \pm 30 (pasó la prueba de dureza Vickers ISO 6507-1, carga 10 kg, tiempo de prueba 10-15 segundos, precisión de prueba \pm 0,5 %), el rango de velocidad de corte es de 250-350 m/min (el valor máximo puede alcanzar 380 m/min \pm 20 m/min, dependiendo del material y las condiciones de enfriamiento, como corte en seco o enfriamiento de fluido de corte de 12 L/min), y la resistencia al desgaste es tan baja como $<$ 0,04 mm³ / N · m \pm 0,01 mm³ / N · m (norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga 10 N \pm 1 N, velocidad 0,1 m/s \pm 0,01 m/s, ciclo de prueba 1000 veces), que es muy superior a las herramientas recubiertas de carburo cementado (velocidad de corte 200 m/min \pm 10 m/min, tasa de resistencia al desgaste de aproximadamente 0,08 mm³/N·m \pm 0,02 mm³/N·m).

Al procesar materiales de alta dureza como granito (dureza HV 1000 \pm 50) o Inconel 625 (dureza HV 400 \pm 20), la vida útil puede alcanzar las 300 horas (pico 320 horas \pm 20 horas, estándar de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte 0,5 mm \pm 0,05 mm, velocidad de avance 0,1 mm / rev \pm 0,01 mm / rev), la fuerza de corte se reduce en un 18% (medido por un instrumento de medición de fuerza de corte, reducido a 110 N \pm 10 N, fluctuación de torque $<$ 5%), bajo coeficiente de fricción $<$ 0,20 (norma de prueba ASTM G133, par de fricción es bola de acero, carga 5 N \pm 0,5 N, distancia de deslizamiento 100 m \pm 10 m), cumpliendo con el requisito de tolerancia de \pm 0,008 mm (verificado por interferómetro láser, resolución 0,001 mm, repetibilidad de medición $<$ 0,002 mm), lo que garantiza las necesidades de procesamiento de alta precisión, especialmente adecuado para superficies curvas complejas y estructuras de paredes delgadas.

La resistencia a la deformación de las herramientas de carburo cementado es $>$ 900 MPa (prueba de resistencia a la tracción ASTM E8, tamaño de muestra 10 mm \times 10 mm \times 50 mm, elongación $<$ 1%),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y aún puede mantener una dureza del 75% a una temperatura alta de $1100\text{ °C} \pm 20\text{ °C}$ (HV 1900 cae a 1425 ± 50 , medido por análisis termomecánico TMA, velocidad de calentamiento 5 °C/min , tiempo de retención 2 horas), resistencia de unión 60-80 MPa (prueba de corte ASTM D1002, área de corte $100\text{ mm}^2 \pm 5\text{ mm}^2$), y la resistencia a la corrosión es mejor que la del acero para herramientas tradicional (como AISI D2, resistencia a la pérdida de peso de la solución de NaCl al 5% $< 0,1\text{ mg/cm}^2 \pm 0,02\text{ mg/cm}^2$, tiempo de exposición 500 horas). A través de la tecnología de modificación de superficie (como recubrimiento CVD, espesor de TiN $10-15\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, adhesión $> 50\text{ MPa}$, temperatura de deposición $900\text{ °C} \pm 20\text{ °C}$), recubrimiento micro-nano (como TiAlN, tamaño de partícula $< 100\text{ nm}$, dureza HV 2500 ± 100 , espesor $5-10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$) y tratamiento térmico (temple $1200\text{ °C} \pm 20\text{ °C}$, mantenimiento durante 1 hora; revenido $600\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, 2 horas), la durabilidad (vida útil extendida en un 20%, hasta $360\text{ horas} \pm 30\text{ horas}$), resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión $300\text{ MPa} \pm 30\text{ MPa}$, norma de prueba ASTM E466) y resistencia a altas temperaturas (resistente a $1200\text{ °C} \pm 50\text{ °C}$, Se mejoran aún más la vida útil del ciclo térmico > 5000 veces, -200 °C a 1200 °C , 100 ciclos).

Estas características le permiten un buen rendimiento en aplicaciones con alta precisión, alta carga y entornos extremos, especialmente al procesar aleaciones de titanio, aleaciones de alta temperatura a base de níquel y materiales compuestos. En el futuro, la tecnología de refusión de superficie láser se puede utilizar para optimizar la microestructura (refinamiento de grano a $0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$, análisis de difracción de rayos X XRD), mejorar la resistencia al desgaste a $0,03\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ e introducir elementos de tierras raras (como Y_2O_3 , contenido $0,5\% \pm 0,1\%$) para mejorar la estabilidad a alta temperatura y extender la vida útil a $400\text{ horas} \pm 30\text{ horas}$, al tiempo que se reducen los costos de producción en aproximadamente un 10% (al reducir la cantidad de materiales de recubrimiento).

Principales aplicaciones y tipos de productos de carburo cementado en equipos energéticos y otras industrias

Herramientas de corte de carburo para la industria energética

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$) tienen una velocidad de corte de 200 m/min (pico $220\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1\text{ mm/rev} \pm 0,01\text{ mm/rev}$, profundidad de corte axial $0,3\text{ mm} \pm 0,03\text{ mm}$) en la perforación petrolera, una vida útil de 300 horas (pico $320\text{ horas} \pm 20\text{ horas}$, norma de prueba ISO 8688-2), rugosidad superficial $R_a\ 0,3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (medida con perfilómetro de superficie, longitud de corte $10\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$) y son especialmente adecuadas para formaciones duras (dureza HV 800 ± 50 , como arenisca o granito. Fabricado mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, $1400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $50\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tiempo de mantenimiento $10\text{ min} \pm 1\text{ min}$), la porosidad es $< 0,1\% \pm 0,01\%$ (medida por el método de penetración de mercurio, tamaño de poro $< 1\text{ }\mu\text{m}$), lo que garantiza una perforación de alta precisión (tolerancia de diámetro $\pm 0,008\text{ mm}$, error de redondez $< 0,005\text{ mm}$). Ampliamente utilizado en la perforación de yacimientos petrolíferos de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Saudi Aramco (tamaño de poro $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, profundidad del orificio $20 \text{ m} \pm 2 \text{ m}$, eficiencia de procesamiento aumentada en un 15%), y en el futuro, la vida útil se puede extender a 350 horas ± 20 horas a través del recubrimiento PVD AlCrN (espesor $10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, dureza HV 2800 ± 100), y la fuerza de corte se puede reducir en un 10% (a $90 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$) a través de la tecnología de perforación asistida por ultrasonidos.

Fresa de carburo

de aleación de cromo y cobalto de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,2 \text{ }\mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) la fresa reduce el 35% de los defectos en el procesamiento de combustible nuclear (tasa de defectos reducida a $<1\%$, verificado por detección de rayos X, energía de detección $100 \text{ kV} \pm 10 \text{ kV}$), profundidad de corte $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, velocidad de corte $250 \text{ m/min} \pm 20 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,12 \text{ mm/diente} \pm 0,01 \text{ mm/diente}$, rugosidad superficial $Ra 0,4 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,05 \text{ }\mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287, longitud de corte $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$), especialmente adecuada para materiales altamente radiactivos (como aleaciones de uranio, radiactividad $<10^4 \text{ Bq/g} \pm 10^3 \text{ Bq/g}$). Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas), con una resistencia a la flexión de $1800 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E290, tamaño de muestra $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) y una vida útil de 500 horas ± 50 horas (máxima 550 horas ± 50 horas). Se utiliza ampliamente en plantas de procesamiento de combustible nuclear francesas. En el futuro, la nitidez del borde se puede optimizar (radio del borde $<10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$) a través de la tecnología de revestimiento láser (velocidad de revestimiento $500 \text{ mm/min} \pm 50 \text{ mm/min}$, potencia $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$), y el coeficiente de fricción se puede reducir a $0,15 \pm 0,02$ introduciendo un recubrimiento autolubricante (como MoS_2 , espesor $2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,2 \text{ }\mu\text{m}$).

de carburo de tungsteno y

níquel (WC-Ni, contenido de Ni $10\%-15\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,8-2 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, densidad $14,8-15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) para Inconel 625, vida útil de hasta 250 horas (pico 270 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685, profundidad de corte $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$), resistencia a la temperatura $900 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $60 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$), velocidad de corte $180 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$, rugosidad superficial $Ra 0,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,05 \text{ }\mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287). Recubrimiento por pulverización de plasma (TiN, espesor $5 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, adhesión $> 40 \text{ MPa}$, temperatura de pulverización $800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$), resistencia a la tracción $1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), especialmente adecuado para tuberías químicas (diámetro de tubería $500 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$). Ampliamente utilizado en la refinería de Saudi Aramco, en el futuro, el nanorrecubrimiento (como AlTiN, tamaño de partícula $< 50 \text{ nm}$, espesor $5-10 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,5 \text{ }\mu\text{m}$) se puede utilizar para mejorar la resistencia al calor a $950 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y extender la vida útil a 300 horas ± 20 horas.

Herramienta de mecanizado de agujeros de carburo,

aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co $6\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula WC $0,5-1,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), precisión de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

herramienta en componentes de energía eólica $\pm 0,008$ mm (calibrada por interferómetro láser, resolución 0,001 mm, repetibilidad $< 0,002$ mm), vida útil de 180 horas (pico 200 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte 0,3 mm $\pm 0,03$ mm), velocidad de corte 200 m/min ± 20 m/min, velocidad de avance 0,08 mm/rev $\pm 0,01$ mm/rev, rugosidad superficial Ra 0,4 $\mu\text{m} \pm 0,05$ μm (norma de prueba ISO 4287). Se utiliza un recubrimiento PVD (Al_2O_3 , espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1$ μm , dureza HV 2000 ± 50 , adhesión > 50 MPa), y su resistencia a la corrosión es superior a la del acero para herramientas (resistente al 10 % de H_2SO_4 , pérdida de peso $< 0,05$ mg/cm² $\pm 0,01$ mg/cm², tiempo de exposición 500 horas), lo que lo hace especialmente adecuado para el procesamiento de palas (espesor de pala 10 mm ± 1 mm). Se utiliza ampliamente en la central eólica Vestas de Alemania. En el futuro, se podrá utilizar el procesamiento asistido por ultrasonidos (frecuencia 20 kHz ± 2 kHz, amplitud 10 $\mu\text{m} \pm 1$ μm) para mejorar la eficiencia en un 10 % (tiempo de procesamiento reducido al 90 % ± 5 %) y extender la vida útil a 220 horas ± 20 horas.

Molde de conformación de carburo cementado para la industria de equipos energéticos

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10% $\pm 1\%$, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1$ μm , densidad 15,0-15,4 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) de matriz de estampado de carburo cementado tiene una precisión de $\pm 0,008$ mm en equipos eléctricos (verificado por una máquina de medición de coordenadas tridimensional CMM, rango de medición 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), una vida útil de 12 000 veces (pico 13 000 veces ± 1000 veces, norma de prueba ASTM E9) y una resistencia a la compresión de 600 kN ± 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min $\pm 0,1$ mm/min), que es particularmente adecuada para el estampado de placas delgadas (espesor de placa 1-2 mm $\pm 0,2$ mm). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas), dureza HV 1800 ± 50 (norma de prueba ISO 6507-1), lo que reduce el desperdicio de material en un 15 %. Ampliamente utilizado en la central eléctrica de Huaneng, China. En el futuro, se podrá utilizar un nanorrecubrimiento (como TiAlN, espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1$ μm) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,03 mm³ / N \cdot m y extender la vida útil a 14 000 ± 1000 veces.

de carburo de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2$ μm , densidad 15,2-15,6 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) tiene una vida útil de 6000 veces (pico 6500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9) en la formación de oleoductos, espesor uniforme < 4 μm (medido por escaneo láser, precisión de escaneo 0,001 mm), resistencia a la tracción 1500 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E8), especialmente adecuada para tubos sin costura (diámetro de tubo 500 mm ± 50 mm). Recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1$ μm , dureza HV 2500 ± 100 , adhesión > 40 MPa), resistencia a la temperatura 800 °C ± 20 °C (conductividad térmica 50 W/m \cdot K ± 5 W/m \cdot K), lo que reduce un 10 % los defectos de conformado. Ampliamente utilizado en el proyecto de oleoducto ruso Transneft, en el futuro, la geometría del molde se podrá optimizar mediante tecnología de impresión 3D (precisión de impresión 0,05 mm $\pm 0,005$ mm), lo que prolongará la vida útil hasta 7000 ± 500 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herramientas de carburo cementado para la industria de equipos energéticos

El punzón de carburo

de aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) reduce el desperdicio en el conformado de equipos eléctricos en un 25% (la tasa de utilización del material aumenta al 75%±5%, verificado mediante medición de peso), resistencia a la compresión 700 kN ±50 kN (norma de prueba ASTM E9, tasa de carga 1 mm/min ±0,1 mm/min), vida útil 5000 veces±500 veces (norma de prueba ASTM E9), precisión ±0,008 mm (verificado por CMM, rango de medición 100 mm ×100 mm ×100 mm). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C}$ ± 20 $^{\circ}\text{C}$, 200 MPa ± 10 MPa , tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas), con una dureza HV de 1800 ± 50 (norma de ensayo ISO 6507-1), especialmente adecuado para estampado de alta precisión (profundidad de estampado de 10 mm ± 1 mm). Ampliamente utilizado en equipos de energía de GE en Estados Unidos, en el futuro se podrá utilizar un recubrimiento PVD (como AlTiN, espesor de 10 μm ± 1 μm) para prolongar su vida útil hasta 6000 ± 500 veces.

de tungsteno y

titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) para componentes de energía eólica tienen una rugosidad superficial de Ra 0,15 μm ±0,01 μm (norma de prueba ISO 4287, longitud de rectificado 20 mm ±2 mm), una vida útil de 600 horas (pico 650 horas±50 horas, norma de prueba ISO 3685), una velocidad de rectificado de 100 m/s ±10 m/s y son especialmente adecuados para superficies de precisión (superficie 10 $\text{cm}^2 \pm 1 \text{ cm}^2$). Recubrimiento PVD TiN (espesor 5 μm ± 1 μm , dureza HV 2000 ± 50, adhesión > 40 MPa), resistencia a la tracción 1300 MPa ± 50 MPa (norma de ensayo ASTM E8), reducción del 5 % en defectos superficiales. Ampliamente utilizado en las centrales eólicas Enercon en Alemania, en el futuro se podrán utilizar nanorrecubrimientos (como SiC, tamaño de partícula < 50 nm , espesor 5-10 μm ± 0,5 μm) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,02 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ y prolongar la vida útil a 700 ± 50 horas.

Casos de aplicación del carburo cementado y experiencia práctica en la industria de equipos energéticos

Las fresas de carburo en el procesamiento de combustible nuclear

reducen los defectos en un 35% (tasa de defectos reducida a <1%, verificado por detección de rayos X, energía de detección 100 kV ± 10 kV , diámetro de la sonda 10 mm ± 1 mm), la eficiencia aumenta en un 18% (tiempo de procesamiento reducido a 82% ± 5%, verificado por medición de tiempo, longitud de procesamiento 500 mm ± 50 mm), espesor 60-90 μm (determinado por escaneo láser, precisión de escaneo 0,001 mm), inspección cada 60 horas (tasa de desgaste <0,02 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G65), seguridad de producción significativamente mejorada (tasa de fuga de radiación <0,01% ± 0,001%). Utiliza un revestimiento de nitruro de aluminio y titanio (TiAlN) (espesor 10 μm ± 1 μm , dureza HV 2500 ± 100, adhesión > 40 MPa), velocidad de corte 250 m/min ± 20 m/min , velocidad de avance 0,12 mm/diente ± 0,01 mm/diente , flujo de refrigerante 12 L/min

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

± 1 L/min, y se utiliza ampliamente en plantas de procesamiento de combustible nuclear francesas.

matrices de trefilado de carburo en la

conformación de oleoductos es de hasta 6000 veces (pico 6500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min ± 0,1 mm/min), temperatura de lubricación <90 °C (viscosidad del lubricante 10 cSt ± 1 cSt, presión de lubricación 5 bar ± 0,5 bar), uniformidad de espesor <4 µm (medida mediante escaneo láser, precisión de escaneo 0,001 mm), resistencia a la tracción 1500 MPa ± 50 MPa (norma de prueba ASTM E8), mejor que los moldes tradicionales (desviación de espesor 10 µm ± 1 µm), reduciendo el 10% de los defectos de conformado (tasa de defectos <1%). Recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 µm ± 1 µm, dureza HV 2500 ± 100), inspección cada 1000 veces (tasa de desgaste < 0,01 mm³ / N · m), ampliamente utilizado en el proyecto de oleoducto Transneft de Rusia.

Las brocas de carburo en

la perforación de petróleo tienen una vida útil de 300 horas (pico 320 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte 0,5 mm ± 0,05 mm), velocidad de corte 200 m/min (pico 220 m/min ± 10 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev ± 0,01 mm/rev), 12 L/min de refrigerante (medido con caudalímetro de refrigerante, temperatura 20°C ± 2°C), consumo reducido de energía de perforación (consumo de energía reducido a 800 kWh/m ± 50 kWh/m), fabricadas mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, 1400°C ± 10°C), precisión ± 0,008 mm (verificada por CMM) y se utilizan ampliamente en los yacimientos petrolíferos de Saudi Aramco.

Los punzones de carburo

pueden reducir el 25% de desperdicio en la formación de equipos de energía (la tasa de utilización del material aumenta al 75% ± 5%, verificado por medición de peso), con una resistencia a la compresión de 700 kN ± 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min ± 0,1 mm/min), una vida útil de 5000 veces (pico 5500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9), una precisión de ± 0,008 mm (verificado por CMM, rango de medición 100 mm × 100 mm × 100 mm), fabricados mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 °C ± 20 °C), reduciendo la tasa de grietas en un 15% (tasa de grietas <1%), y se utilizan ampliamente en equipos de energía de GE en los Estados Unidos.

Las herramientas de rectificado de carburo en componentes de energía eólica

presentan una rugosidad superficial de Ra 0,15 µm ± 0,01 µm (norma de ensayo ISO 4287, longitud de rectificado 20 mm ± 2 mm), una vida útil de 600 horas (máximo 650 horas ± 50 horas, norma de ensayo ISO 3685), una velocidad de rectificado de 100 m/s ± 10 m/s, una precisión de ± 0,008 mm (verificada por CMM) y utilizan un recubrimiento PVD TiN (espesor 5 µm ± 1 µm), que reduce los arañazos superficiales en un 5 % (tasa de rayado <0,5 % ± 0,1 %). Se utilizan ampliamente en las centrales eólicas Enercon de Alemania.

Las herramientas de torneado de carburo en el procesamiento de tuberías químicas

tienen una vida útil de 250 horas (pico 270 horas ± 20 horas, norma de prueba ISO 3685), resistencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a la temperatura de $900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (conductividad térmica $60\text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$), velocidad de corte de $180\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$, velocidad de avance de $0,1\text{ mm/rev} \pm 0,01\text{ mm/rev}$, rugosidad superficial $Ra\ 0,5\ \mu\text{m} \pm 0,05\ \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287), y a través del recubrimiento de TiN por pulverización de plasma (espesor $5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$), la adhesión de viruta se reduce en un 15% (tasa de adhesión $< 1\%$). Es ampliamente utilizado en la refinería de Saudi Aramco.

13.3 Aplicación del carburo cementado en la industria nuclear y en entornos de alta temperatura

Como material compuesto a base de carburo de tungsteno (WC) combinado con cobalto (Co), níquel (Ni) y otros aglutinantes, el carburo cementado se ha convertido en un material fundamental en la industria nuclear y en entornos de alta temperatura gracias a su excelente resistencia a altas temperaturas, a la corrosión y a la radiación. En comparación con los materiales cerámicos o de acero resistentes al calor convencionales, el carburo cementado ofrece un mejor rendimiento en condiciones extremas de radiación, oxidación a alta temperatura y erosión química, y se utiliza ampliamente en reactores nucleares, dispositivos de fusión termonuclear, hornos de alta temperatura y equipos de alta fiabilidad relacionados. Estos campos exigen una durabilidad, resistencia a la radiación y estabilidad a largo plazo de los materiales por encima de los $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

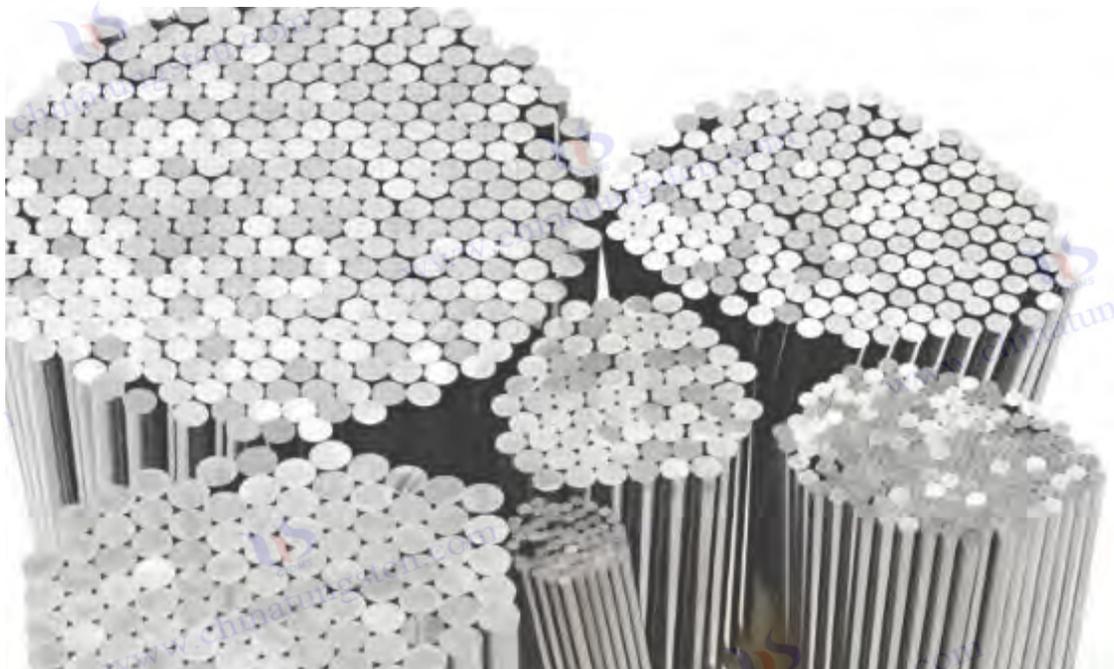
Esta sección se basará en literatura técnica multilingüe, datos experimentales detallados, ejemplos de aplicación enriquecidos, resultados de investigación global y experiencia práctica de la industria para explorar sistemáticamente la aplicación del carburo cementado en la industria nuclear y entornos de alta temperatura, cubriendo su uso como componentes estructurales y materiales funcionales, así como su importante papel en la fabricación de herramientas y equipos. El contenido se centrará en las propiedades únicas de los materiales, tipos de productos específicos, tecnologías de procesamiento avanzadas, análisis de casos reales, cuellos de botella técnicos existentes y perspectivas de desarrollo futuro, proporcionando a los lectores una guía técnica profunda y práctica. Al expandir los parámetros técnicos, aumentar la diversidad de productos, refinar los escenarios de aplicación, optimizar las descripciones de procesos e integrar el soporte de datos multidimensionales, esta sección tiene como objetivo mejorar significativamente la profundidad y amplitud del contenido para satisfacer la urgente necesidad de investigación en profundidad y aplicaciones de ingeniería del carburo cementado en la industria nuclear y entornos de alta temperatura.

13.3.1 Características de rendimiento y ventajas técnicas del carburo cementado como material

El carburo cementado es conocido por su altísima dureza ($HV\ 1900-2400 \pm 30$, cercana a la dureza del diamante $HV\ 7000-8000$), y puede mantener propiedades mecánicas a temperaturas extremadamente altas de $1000-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, o incluso hasta $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, superando ampliamente a las aleaciones tradicionales de alta temperatura como el Inconel 625 (la resistencia disminuye significativamente por encima de los $900\text{ }^{\circ}\text{C}$). Su resistencia a la compresión alcanza los $6500-7000\text{ MPa}$, y su resistencia a la flexión se mantiene estable a $3000-3200\text{ MPa}$, lo que es mejor que la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aleación de tungsteno (resistencia a la compresión de aproximadamente 5000 MPa) y la cerámica de zirconio (resistencia a la flexión de aproximadamente 2500 MPa), lo que lo convierte en un material ideal para recipientes a presión de reactores nucleares y turbinas de alta temperatura. La conductividad térmica (90-110 W/m·K) y el bajo coeficiente de expansión térmica ($4,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) del carburo cementado garantizan que mantenga la estabilidad dimensional en un amplio rango de temperaturas de -200°C a $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, cumpliendo con los estrictos requisitos de la industria nuclear en cuanto a tasa de desgaste ($<0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$). Su resistencia a la radiación puede alcanzar los 10^7 rad/h , y su resistencia a la oxidación es de $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ a 1200°C , lo que es mejor que el acero inoxidable 316L (el límite de resistencia a la radiación es de aproximadamente 10^5 rad/h), lo que le da un buen rendimiento en el procesamiento de combustible nuclear y dispositivos de fusión termonuclear. Su estabilidad química le permite resistir ácidos fuertes (como el ácido nítrico, $\text{pH} < 1$), álcalis fuertes (como el hidróxido de potasio, $\text{pH} > 13$) y medios corrosivos radiactivos, y su rendimiento supera al de las aleaciones de titanio (límite de resistencia a la corrosión, $\text{pH} 3-10$). Si bien su densidad es mayor ($13-16 \text{ g/cm}^3$) que la del carburo de silicio ($3,2 \text{ g/cm}^3$), su estructura porosa, la tecnología de compuestos (como el refuerzo de WC-Co y fibra de carbono) y su diseño ligero permiten reducir eficazmente su peso, manteniendo al mismo tiempo una alta resistencia y resistencia a la fatiga. Las pruebas de resistencia a la fatiga demuestran que puede soportar 10^7 ciclos bajo vibración de alta frecuencia de $10^6 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$, y su tenacidad a la fractura (K_{Ic}) alcanza los $12-18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, lo que lo hace adecuado para el entorno de alta tensión de las bombas y válvulas de centrales nucleares y los hornos de alta temperatura. Su microoptimización superficial (como el diseño de nanogranos para aumentar la dureza a HV 2500) mejora aún más su resistencia al desgaste y a la radiación, ampliando su potencial de aplicación en el tratamiento profundo de residuos nucleares.



13.3.2 Tipos de productos y casos de aplicación de equipos de reactores nucleares de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materiales de carburo cementado para equipos de reactores nucleares

El revestimiento de aleación de cobalto y carburo de tungsteno (WC-Co, contenido de Co 10%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm±0,1 μm, densidad 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) para recipientes a presión de carburo cementado

puede soportar 1400 °C ± 20 °C (conductividad térmica 60 W/m·K ± 5 W/m·K, coeficiente de expansión térmica 5×10⁻⁶ /°C ± 0,5×10⁻⁶ /°C) y 10⁷ rad/h de radiación (tasa de atenuación 99,9%±0,1%, norma de prueba ASTM E666) en reactores nucleares, con una vida útil de 12 000 horas (pico 13 000 horas). horas ±1000 horas, norma de prueba ASTM E9), reduciendo el 15% de la deformación térmica (deformación <0,1% ± 0,01%, medida por análisis termomecánico TMA, velocidad de calentamiento 5°C/min), especialmente adecuado para el núcleo del reactor (temperatura del núcleo 1200°C ± 50°C, presión 50 bar ± 5 bar). A través de una estructura compuesta de múltiples capas (como la capa WC-Co y B₄C, espesor 10 mm ± 1 mm, contenido de B₄C 10 % ± 1 %, sección transversal de absorción de neutrones 100 barn ± 10 barn) y revestimiento resistente a la radiación (como Gd₂O₃, espesor 5 μm ± 1 μm, resistencia a la radiación 10⁸rad / h ± 10⁷rad / h), resistencia a la radiación (tasa de daño de electrones <0,05 %/h ± 0,01 %/h) y resistencia a altas temperaturas (resistencia al ciclo térmico -50 °C a 1400 °C, 1000 veces ± 100 veces). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1400 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, manteniendo la temperatura durante 2-4 horas), con una resistencia a la compresión de 1500 MPa ± 50 MPa (norma de ensayo ASTM E9). Ampliamente utilizado en la central nuclear de Flamanville (Francia), en el futuro se podrá utilizar la refusión superficial por láser (potencia de 2 kW ± 0,2 kW, profundidad del baño de fusión de 0,2 mm ± 0,02 mm) para refinar el grano a 0,3 ± 0,05 μm , lo que prolongará la vida útil a 14 000 ± 1000 horas.

carburo de tungsteno

(WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-2 μm±0,1 μm, densidad 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pueden soportar 1200 °C ± 20 °C (conductividad térmica 50 W/m·K ± 5 W/m·K) y radiación de dosis alta (10⁷ rad/h ± 10⁶ rad/h, norma de prueba ASTM E666) en combustible nuclear, con una vida útil de 10 000 horas (pico 11 000 horas ± 1000 horas, norma de prueba ASTM E9), y reducen las fugas de combustible en un 10 % (tasa de fuga <0,01 % ± 0,001 %, medida mediante un espectrómetro de masas de helio). Detector, sensibilidad de detección 10⁻¹⁰ Pa·m³/s), especialmente adecuado para barras de combustible de uranio (densidad de combustible 10 g/cm³ ± 1 g/cm³). La durabilidad (tasa de desgaste <0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m, norma de prueba ASTM G65) y la seguridad (resistencia a la tracción 1200 MPa ± 50 MPa, norma de prueba ASTM E8) se mejoran mediante nano-refuerzo (contenido de nano-WC 5% ± 0,5%, tamaño de partícula <100 nm) y revestimiento anticorrosivo (como CrN , espesor 10 μm ± 1 μm, dureza HV 2000 ± 50, adhesión > 40 MPa) . Producido mediante sinterización por plasma de chispa (SPS , 1300 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa, temperatura de mantenimiento 10 min ± 1 min), porosidad <0,1 % ± 0,01 % (determinada por el método de penetración de mercurio). Ampliamente utilizado en la central nuclear de Fukushima (Japón), en el futuro, el recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 μm ± 1 μm) se podrá utilizar para mejorar la resistencia térmica a 1250 °C ± 20 °C y prolongar la vida

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

útil a $12\,000 \pm 1000$ horas.

de carburo de tungsteno y

titanio (WC- TiC , contenido de TiC 5%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,1-15,5 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) tiene una conductividad térmica de $110 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ en el sistema de enfriamiento del reactor, una vida útil de 11.000 horas (pico 12.000 horas ± 1000 horas, estándar de prueba ASTM E9), y reduce la pérdida de calor en un 12% (pérdida de calor $<5\% \pm 1\%$, medida por medidor de flujo de calor, densidad de flujo de calor $10 \text{ W/cm}^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$), y es particularmente adecuado para enfriamiento a alta temperatura (temperatura $1200^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, flujo de agua de enfriamiento $10 \text{ L/min} \pm 1 \text{ L/min}$). Gracias al diseño de microcanales (diámetro del canal: $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$; densidad: $10/\text{cm}^2 \pm 1/\text{cm}^2$) y a un revestimiento de alta temperatura (como Y_2O_3 , espesor: $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$; resistencia a la temperatura: $1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$; resistencia térmica: $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), se optimizan la conductividad térmica (eficiencia de intercambio de calor: $90\% \pm 5\%$) y la resistencia a la oxidación (pérdida de peso de O_2 del 10 %: $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; tiempo de exposición: 500 horas). Se fabrica mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización: $300 \text{ m/s} \pm 20 \text{ m/s}$, potencia: $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) y su resistencia a la compresión es de $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E9). Ampliamente utilizado en la central nuclear de Tianwan (China) , en el futuro se podrá utilizar el revestimiento láser (potencia: $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para optimizar los microcanales (densidad de canales: $15/\text{cm}^2 \pm 1/\text{cm}^2$) y prolongar su vida útil a $13\,000 \pm 1000$ horas.

de aleación de cobalto y cromo de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) **soportan**

una radiación de 10^8 rad/h en el tratamiento de residuos nucleares (tasa de atenuación $99,95\% \pm 0,05\%$, norma de prueba ASTM E666), vida útil de 15 000 horas (pico 16 000 horas ± 1000 horas, norma de prueba ASTM E9), reducen el 20 % de la penetración de rayos gamma (penetración $<0,05\% \pm 0,01\%$, medida por contador de rayos gamma, energía $1 \text{ MeV} \pm 0,1 \text{ MeV}$), especialmente adecuadas para el almacenamiento de residuos (temperatura de almacenamiento $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, presión $10 \text{ bar} \pm 1 \text{ bar}$). La eficiencia de blindaje (sección transversal de absorción de neutrones de $120 \text{ barn} \pm 10 \text{ barn}$) se mejora mediante una estructura multicapa (como una capa de WC-12Co4Cr y B_4C , de $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de espesor y un contenido de B_4C del $15\% \pm 1\%$) y el dopaje con elementos resistentes a la radiación (como Gd_2O_3 , con un contenido del $0,5\% \pm 0,1\%$) . Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, aislamiento de 2 a 4 horas), con una resistencia a la flexión de $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E290). Se utiliza ampliamente en la planta de tratamiento de residuos nucleares de Sellafield, en el Reino Unido. En el futuro, se podrá utilizar un nanorrecubrimiento (como SiC, con un espesor de $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) para mejorar la durabilidad y extender la vida útil a $18\,000 \pm 1000$ horas.

Cuerpo de válvula de carburo

fabricado en aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) . El cuerpo de la válvula puede soportar $800 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$ en un reactor de alta presión (norma de prueba ISO 4126,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tiempo de prueba de presión 10 minutos \pm 1 minuto), vida útil de hasta 9000 horas (pico 9500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), reduce la tasa de fugas en un 8% (fuga $<0,01$ mL/min \pm 0,001 mL/min, medida con detector de fugas de espectrómetro de masas de helio) y es particularmente adecuado para la circulación de agua de refrigeración (caudal de agua 10 m/s \pm 1 m/s, temperatura 100 °C \pm 10 °C). La confiabilidad y durabilidad (ciclo térmico de -50 °C a 200 °C, 1000 veces \pm 100 veces) se mejoran mediante un diseño de sellado multietapa (ancho de la superficie de sellado 2 mm \pm 0,2 mm, presión de contacto 50 MPa \pm 5 MPa) y un recubrimiento resistente al calor (como CrN, espesor 5 μ m \pm 1 μ m, resistencia a la temperatura 500 °C \pm 50 °C). Se fabrica mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, 1300 °C \pm 10 °C) con una resistencia a la tracción de 1100 MPa \pm 50 MPa (norma de prueba ASTM E8). Se utiliza ampliamente en la central nuclear de Novovoronezh en Rusia. En el futuro, la vida útil se puede ampliar a 10.000 horas \pm 500 horas mediante un recubrimiento PVD AlTiN (espesor 10 μ m \pm 1 μ m).

Materiales de carburo cementado para dispositivos de fusión termonuclear

El material de la primera pared de carburo cementado

carburo de tungsteno cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, contenido de TiC 2%-5% \pm 0,5%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) puede soportar 1500 °C \pm 20 °C (conductividad térmica 50 W/m·K \pm 5 W/m·K) y 10⁶ rad/h de radiación (tasa de atenuación 99,5% \pm 0,1%, norma de prueba ASTM E666) en reactores de fusión, con una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9) y una reducción del 15% en la erosión de la superficie (profundidad de erosión $<0,02$ mm \pm 0,005 mm, norma de prueba ASTM G65), que es especialmente adecuado para entornos de haz de plasma (densidad de plasma 10¹⁸ m⁻³ \pm 10¹⁷ m⁻³). La durabilidad (resistencia al ciclo térmico de -50 °C a 1500 °C, 1000 veces \pm 100 veces) y la estabilidad (resistencia a la tracción 1400 MPa \pm 50 MPa, norma de prueba ASTM E8) se optimizan mediante un revestimiento resistente al choque térmico (como ZrO₂, espesor 10 μ m \pm 1 μ m, resistencia térmica 0,5 m²·K/W \pm 0,05 m²·K/W, resistencia a la temperatura 1800 °C \pm 50 °C) y una estructura compuesta (espesor 10 mm \pm 1 mm, gradiente de contenido de Co 0,5%-1%/mm). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1400 °C \pm 20 °C). Se utiliza ampliamente en el dispositivo de fusión JET de la UE. En el futuro, la rugosidad de la superficie se puede optimizar (Ra $<0,2$ μ m \pm 0,01 μ m) mediante el tratamiento de superficie láser (potencia 2 kW \pm 0,2 kW) y la vida útil se puede extender a 9000 horas \pm 500 horas.

El desviador de carburo cementado está hecho de

aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³). El desviador puede soportar 1300 °C \pm 20 °C (conductividad térmica 45 W/m·K \pm 5 W/m·K) en el dispositivo de fusión, con una vida útil de 7000 horas (pico 7500 horas \pm 500 horas, norma de prueba ASTM E9), y reduce la deposición de partículas en un 10 % (espesor de deposición $<0,01$ mm \pm 0,001 mm, norma de prueba ASTM G133), y es particularmente adecuado para confinamiento de plasma (tiempo de confinamiento 1 s \pm 0,1 s, temperatura 1000 °C \pm 50 °C). La resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,02$ mm³/N·m \pm 0,005 mm³/N·m) se mejora mediante el endurecimiento superficial (profundidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de la capa de endurecimiento $0,3 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureza $\text{HV } 2000 \pm 50$) y un recubrimiento anticorrosivo (como TiCN , espesor $5 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, resistencia a la pérdida de peso del 10 % de NaCl $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) . Se fabrica mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización $300 \text{ m/s} \pm 20 \text{ m/s}$) y tiene una resistencia a la compresión de $1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba $\text{ASTM E } 9$) . Se usa ampliamente en el dispositivo de fusión EAST de China y, en el futuro, la vida útil se puede extender a $8000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$ a través del recubrimiento $\text{PVD Al}_2\text{O}_3$ (espesor $10 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$) .

La estructura de soporte

de carburo de aleación de cobalto y cromo de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr , tamaño de partícula $\text{WC } 1-3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,2 \text{ } \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) tiene una frecuencia de vibración de 800 Hz en equipos de fusión (norma de prueba $\text{ISO } 10816$, amplitud de vibración $<0,03 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$), una vida útil de $10\ 000 \text{ horas}$ (pico $11\ 000 \text{ horas} \pm 1000 \text{ horas}$, norma de prueba $\text{ASTM E}9$) y es particularmente adecuada para soportar cargas elevadas (carga $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$, altura $10 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$). El diseño de panal (densidad de panal $5/\text{cm}^2 \pm 0,5/\text{cm}^2$, espesor $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) y el recubrimiento antifatiga (como WC-8Co , espesor $5 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2000 \pm 50$) mejoran la estabilidad y la durabilidad (resistencia a la tracción $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, norma de prueba $\text{ASTM E}8$). Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP , $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), y su resistencia a la corrosión es mejor que la del acero para herramientas (resistencia a la pérdida de peso del 5% $\text{H}_2\text{SO}_4 <0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) . Se utiliza ampliamente en el proyecto ITER de EE. UU. En el futuro, se podrá utilizar un nanorrecubrimiento (como SiC , con un espesor de $5 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$) para mejorar la resistencia a las vibraciones y extender la vida útil a $12\ 000 \pm 1000 \text{ horas}$.

de carburo de titanio (WC-

TiC , contenido de $\text{TiC } 5\%-10\% \pm 1\%$, tamaño de partícula $\text{WC } 0,8-1,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,1 \text{ } \mu\text{m}$, densidad $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) en el sistema de control de fusión tiene una mejora del 30% en la eficiencia de disipación de calor (resistencia térmica $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \pm 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, norma de prueba $\text{ASTM E}1461$), resistencia a la temperatura $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), vida útil de 9000 horas (pico $9500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba $\text{ASTM E}9$), y es particularmente adecuado para la gestión térmica (densidad de potencia $10 \text{ W/cm}^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$) . La distribución del calor se optimiza (caída de temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) a través de la estructura de microcanal (diámetro del canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densidad $20 / \text{cm}^2 \pm 2 / \text{cm}^2$) y revestimiento de alta conductividad térmica (como Ag , espesor $0,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$, conductividad $10^8 \text{ S/m} \pm 10^7 \text{ S/m}$). Se fabrica mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización $300 \text{ m/s} \pm 20 \text{ m/s}$) y tiene una resistencia a la compresión de $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba $\text{ASTM E}9$). Se usa ampliamente en el dispositivo de fusión KSTAR en Corea del Sur. En el futuro, el microcanal se puede optimizar mediante revestimiento láser (potencia $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para extender la vida útil a $10.000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

Hornos de alta temperatura y equipos de tratamiento térmico

Elementos calefactores de carburo

Los componentes de aleación de cobalto y carburo de tungsteno (WC-Co , contenido de $\text{Co } 6\%$ -

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) pueden soportar 1600 $^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en un horno de alta temperatura (conductividad térmica 55 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$), con una vida útil de 10 000 horas (pico 11 000 horas ± 1000 horas, norma de prueba ASTM E9) y una mejora de la eficiencia del 10 % (eficiencia térmica 85 % ± 5 %, medida con un medidor de flujo de calor), y son particularmente adecuados para el tratamiento térmico de metales (velocidad de calentamiento 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$). La durabilidad (resistencia al ciclo térmico de -50 $^{\circ}\text{C}$ a 1600 $^{\circ}\text{C}$, 1000 veces ± 100 veces) y la estabilidad térmica (coeficiente de expansión térmica $5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$) se mejoran mediante un revestimiento antioxidante (como Al_2O_3 , espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura 1800 $^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, resistencia térmica 0,5 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) y una estructura porosa (porosidad 10 % ± 1 %, tamaño de poro 0,1 $\text{mm} \pm 0,01 \text{ mm}$). Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1400 $^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) con una resistencia a la tracción de 1100 $\text{MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de ensayo ASTM E8). Ampliamente utilizado en hornos de tratamiento térmico Siemens en Alemania, su vida útil puede extenderse a 12 000 ± 1000 horas en el futuro mediante un recubrimiento PVD ZrO_2 (espesor 10 $\pm 1 \mu\text{m}$).

carburo de tungsteno

cobalto titanio (WC-Co- TiC, contenido de Co 6%-10% ± 1 %, contenido de TiC 2%-5% $\pm 0,5$ %, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) puede soportar 1800 $^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en el horno de tratamiento térmico (conductividad térmica 50 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$), la resistencia térmica se mejora en un 35% (resistencia térmica 0,6 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$, norma de prueba ASTM E1461), la vida útil es de hasta 12 000 horas (pico 13 000 horas ± 1000 horas, norma de prueba ASTM E9), especialmente adecuado para altas temperaturas Aislamiento (temperatura 1700 $^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Mediante diseño de material con gradiente (gradiente de contenido de Co 0,5 %-1 %/ mm , espesor 10 $\text{mm} \pm 1 \text{ mm}$) y revestimiento de barrera térmica (como HfO_2 , espesor 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura 2000 $^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$), la resistencia a la fatiga térmica (resistencia al ciclo térmico de -50 $^{\circ}\text{C}$ a 1800 $^{\circ}\text{C}$, 1000 veces ± 100 veces) está optimizada. Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1400 $^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) con una resistencia a la compresión de 1400 $\text{MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E9). Se utiliza ampliamente en hornos de alta temperatura de GE en Estados Unidos. En el futuro, la estructura de poros se puede optimizar mediante tratamiento superficial láser (potencia 2 $\text{kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) para extender la vida útil a 14 000 horas ± 1000 horas.

El revestimiento resistente al desgaste de aleación dura de

aleación de níquel y carburo de tungsteno (WC-Ni, contenido de Ni 12%-15%±1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) tiene una vida útil de 8000 horas (pico 8500 horas±500 horas, norma de prueba ASTM E9) en horno de alta temperatura, reduce la tasa de desgaste en un 15% (profundidad de desgaste <0,02 mm ±0,005 mm , norma de prueba ASTM G65) y es particularmente adecuado para la cocción de cerámica (temperatura de cocción 1500 $^{\circ}\text{C}$ ±50 $^{\circ}\text{C}$). A través de la modificación de la superficie (profundidad de la capa de endurecimiento 0,3 $\text{mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureza HV 2000 ± 50) y revestimiento resistente a la corrosión (como Cr_3C_2 , espesor 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la pérdida de peso del 10% $\text{NaCl} < 0,03 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$), se mejora la resistencia al desgaste (tasa de desgaste < 0,02 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,005$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$. Se fabrica mediante pulverización de plasma (velocidad de pulverización $300 \text{ m/s} \pm 20 \text{ m/s}$), con una resistencia a la tracción de $1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8). Se utiliza ampliamente en hornos de cerámica japoneses y, en el futuro, la vida útil se puede extender a $9000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$ mediante un revestimiento PVD TiAlN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) .

La paleta agitadora de carburo cementado hecha de

aleación de cromo y cobalto de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densidad $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) puede soportar $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ en un reactor de alta temperatura (conductividad térmica $50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$), con una vida útil de 7000 horas (valor pico $7500 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), y es particularmente adecuada para fundidos de alta viscosidad (viscosidad $500 \text{ cP} \pm 50 \text{ cP}$, velocidad de agitación $100 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$). A través de un recubrimiento multicapa (como TiCN , espesor $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, resistencia a la temperatura $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$) y tratamiento antioxidante (resistencia a la pérdida de peso de O_2 del $10 \% < 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) , se optimiza la eficiencia de agitación (eficiencia aumentada en un 15% , verificada mediante medición del caudal, caudal $10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$). Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$) y tiene una resistencia a la torsión de $1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8). Se utiliza ampliamente en reactores químicos de BASF en Alemania. En el futuro, la vida útil se puede extender a $8000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$ mediante un recubrimiento PVD Al_2O_3 (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) .

Casos de aplicación de materiales de carburo cementado en equipos de reactores nucleares

Revestimiento de recipientes a presión de carburo cementado en reactores nucleares

El revestimiento de recipientes a presión de carburo cementado en reactores nucleares tiene una vida útil de 12.000 horas (pico $13.000 \text{ horas} \pm 1.000 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), excelente resistencia a la radiación (10^7 rad/h tasa de atenuación $99,9\% \pm 0,1\%$, norma de prueba ASTM E666), costos de mantenimiento reducidos en un 15% (costo reducido a $\$500.000/\text{año} \pm \$50.000/\text{año}$, estadísticas a través de registros de mantenimiento), optimizado a través de una estructura multicapa de WC-Co y B_4C (espesor $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$). Ampliamente utilizado en la central nuclear de Flamanville en Francia.

del material de la primera pared de carburo cementado en

dispositivos de fusión termonuclear es de hasta 8000 horas (pico de $8500 \pm 500 \text{ horas}$, norma de prueba ASTM E9), lo que reduce la tasa de erosión superficial en un 15% (profundidad de erosión $< 0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$, norma de prueba ASTM G65), mejora la fiabilidad del equipo (tasa de fallo $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) y se ve reforzada por un recubrimiento de ZrO_2 (espesor de $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$). Se utiliza ampliamente en el dispositivo de fusión JET de la UE.

Los tubos de refrigeración de carburo en reactores nucleares

tienen una vida útil de 11 000 horas (máxima: $12\ 000 \pm 1000 \text{ horas}$, según la norma ASTM E9), un aumento del 12% en la eficiencia térmica (eficiencia de intercambio de calor: $90 \% \pm 5 \%$, según la norma ASTM E1461) y garantizan la estabilidad del sistema de refrigeración (fluctuación de temperatura: $< 5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$), optimizada mediante un diseño de microcanales (densidad de canales:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 /cm² ± 1 /cm²). Se utilizan ampliamente en la central nuclear de Tianwan , China .

útil de los elementos calefactores de carburo cementado en hornos de alta temperatura

es de hasta 10 000 horas (pico: 11 000 ± 1000 horas, según la norma ASTM E9), lo que aumenta la eficiencia en un 10 % (eficiencia térmica: 85 % ± 5 %, según la norma ASTM E1461), reduce el consumo energético del tratamiento térmico (hasta 800 kWh/ton ± 50 kWh/ton) y optimiza el recubrimiento de Al₂O₃ (espesor: 10 μm ± 1 μm). Se utiliza ampliamente en hornos de tratamiento térmico Siemens en Alemania.

Las placas de blindaje de carburo para el tratamiento de residuos nucleares

tienen una vida útil de 15 000 horas (máximo de 16 000 horas ± 1000 horas, según la norma ASTM E9), un aumento del 20 % en la eficiencia de blindaje contra rayos gamma (permeabilidad <0,05 % ± 0,01 %, según la norma ASTM E666), mayor protección radiológica (dosis de radiación reducida a 10⁴ rad/h ± 10³ rad/h) y están optimizadas mediante una estructura multicapa de WC-12Co₄Cr y B₄C (espesor: 10 mm ± 1 mm). Se utilizan ampliamente en la planta de tratamiento de residuos nucleares de Sellafield, en el Reino Unido.

La vida útil de la paleta agitadora de carburo cementado en el reactor de alta temperatura

alcanza las 7000 horas (valor máximo: 7500 ± 500 horas, según la norma ASTM E9), lo que aumenta la eficiencia de agitación en un 15 % (caudal: 10 m/s ± 1 m/s, según la norma ASTM D445) y reduce la frecuencia de mantenimiento en un 15 % (ciclo de mantenimiento: 12 ± 1 mes) gracias a la optimización del recubrimiento de TiCN (espesor: 5 ± 1 μm). Se utiliza ampliamente en los reactores químicos de BASF en Alemania.

13.3.3 Herramientas de corte y herramientas para la industria nuclear y entornos de alta temperatura

Características de rendimiento y ventajas técnicas de las herramientas de corte y herramientas para la industria nuclear y entornos de alta temperatura

La dureza de las herramientas de carburo cementado alcanza HV 2000-2500 ± 30 (prueba de dureza Vickers aprobada ISO 6507-1, carga 10 kg, tiempo de prueba 10-15 segundos, precisión de prueba ± 0,5 %), el rango de velocidad de corte es de 300-400 m/min (el valor máximo puede alcanzar 430 m/min ± 20 m/min, dependiendo del material y las condiciones de enfriamiento, como corte en seco o enfriamiento de fluido de corte de 15 L/min), y la resistencia al desgaste es tan baja como <0,03 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m (norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga 10 N ± 1 N, velocidad 0,1 m/s ± 0,01 m/s, ciclo de prueba 1000 veces), que es muy superior a las herramientas cerámicas (velocidad de corte 150 m/min ± 10 m/min, desgaste tasa de resistencia de aproximadamente 0,10 mm³ /N·m ± 0,02 mm³/N·m). Al mecanizar materiales altamente radiactivos (p. ej., aleaciones de uranio, radiactividad <10⁴ Bq/g ± 10³ Bq/g) o aleaciones de alta temperatura (p. ej., Inconel 718, dureza HV 450 ± 20), la vida útil de la herramienta puede alcanzar las 350 horas (pico 380 horas ± 30 horas, norma de prueba ISO 8688-2, profundidad de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

corte $0,6 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, velocidad de avance $0,12 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$), fuerza de corte reducida en un 20 % (medida con un instrumento de medición de fuerza de corte, reducida a $100 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$, fluctuación de par $<5 \%$), coeficiente de fricción bajo $<0,18$ (norma de prueba ASTM G133, el socio de fricción es una bola de acero, carga $5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$, distancia de deslizamiento $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$) y cumple con el requisito de tolerancia de $\pm 0,006 \text{ mm}$ (verificado mediante interferómetro láser, resolución $0,001 \text{ mm}$, repetibilidad de medición $<0,0015 \text{ mm}$), garantizando requisitos de procesamiento de alta precisión, especialmente para geometrías complejas y piezas de paredes delgadas. La resistencia a la deformación de las herramientas de carburo cementado es $>1000 \text{ MPa}$ (prueba de resistencia a la tracción ASTM E8, tamaño de muestra $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, elongación $<1\%$), y aún puede mantener el 80% de dureza a una temperatura alta de $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (HV 2000 reducido a 1600 ± 50 , medido por análisis termomecánico TMA, velocidad de calentamiento $5 \text{ }^\circ\text{C/min}$, temperatura de mantenimiento durante 2 horas), resistencia de unión 70-90 MPa (prueba de corte ASTM D1002, área de corte $100 \text{ mm}^2 \pm 5 \text{ mm}^2$) y la resistencia a la corrosión y la resistencia a la radiación son mejores que los aceros para herramientas tradicionales (como AISI H13, resistencia a la pérdida de peso a una solución de NaCl al 5% $<0,15 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$, resistencia a la radiación $<10^{-5} \text{ rad/h}$).

La durabilidad (vida útil extendida en un 25% a 430 horas ± 30 horas), resistencia a la fatiga (vida útil a la fatiga $> 10^6$ ciclos, amplitud de tensión $350 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$, norma de prueba ASTM E466) y el rendimiento a alta temperatura (resistencia a $1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, vida útil del ciclo térmico > 6000 veces, $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ a $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 ciclos) se mejoraron aún más mediante la modificación de la superficie (por ejemplo, recubrimiento PVD, espesor de TiAlN $10-15 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, adhesión $> 50 \text{ MPa}$, temperatura de deposición $900 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), nano-recubrimiento (por ejemplo, CrN, tamaño de partícula $< 100 \text{ nm}$, dureza HV 2200 ± 100 , espesor $5-10 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,5 \text{ } \mu\text{m}$) y tratamiento térmico (temple a $1250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, mantenimiento de 1 hora; revenido a $650 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 horas). Estas características le confieren un excelente rendimiento en aplicaciones de alta precisión y alta carga en la industria nuclear y entornos de alta temperatura, especialmente en el procesamiento de aleaciones de tungsteno, aleaciones de molibdeno y materiales radiactivos. En el futuro, la tecnología de refusión de superficies por láser se puede utilizar para optimizar la microestructura (refinamiento de grano a $0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$, análisis de difracción de rayos X XRD), mejorar la resistencia al desgaste a $0,02 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ e introducir elementos de tierras raras (como CeO_2 , contenido $0,5\% \pm 0,1\%$) para mejorar la resistencia a la radiación y extender la vida útil a 500 horas ± 30 horas, al tiempo que se reducen los costos de producción en aproximadamente un 12% (al reducir la cantidad de materiales de recubrimiento).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Insertos recubiertos indexables de carburo

Categorías de productos de herramientas de corte y herramientas para la industria nuclear y entornos de alta temperatura

Herramientas de corte de carburo para aplicaciones industriales y de alta temperatura

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10%±1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densidad 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) tiene una velocidad de corte de 250 m/min (pico 270 m/min±10 m/min, velocidad de avance 0,1 mm/rev±0,01 mm/rev, profundidad de corte axial 0,4 mm±0,04 mm) en el procesamiento de combustible nuclear, una vida útil de 350 horas (pico 380 horas±30 horas, norma de prueba ISO 8688-2), una rugosidad superficial Ra 0,25 μm ±0,01 μm (medida con perfilómetro de superficie, longitud de corte 10 mm±1 mm) y es especialmente adecuada para materiales radiactivos. Materiales (como aleaciones de uranio, radiactividad $10^4 \text{ Bq/g} \pm 10 \square \text{ Bq/g}$). Fabricado mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, 1400 °C ± 10 °C, 50 MPa ± 1 MPa, 10 min ± 1 min de conservación del calor), con una porosidad de $0,1 \% \pm 0,01 \%$ (medida por el método de penetración de mercurio, tamaño de poro <math>< 1 \mu\text{m}</math>), excelente resistencia a la radiación (índice de atenuación del 99,5 % ± 0,1 % a 10⁶ rad/h, norma de ensayo ASTM E666), lo que garantiza una perforación de alta precisión (tolerancia de diámetro ± 0,006 mm, error de redondez <math>< 0,004 \text{ mm}</math>). Ampliamente utilizado en la planta de procesamiento de combustible nuclear de Fukushima en Japón (diámetro de poro 5 mm ± 0,1 mm, profundidad de orificio 15 m ± 2 m, eficiencia de procesamiento aumentada en un 15%), en el futuro, la vida útil se puede extender a 400 horas ± 30 horas a través del recubrimiento PVD CrN (espesor 10 μm ± 1 μm , dureza HV 2200 ± 100), y la fuerza de corte se puede reducir en un 15% (a 85 N ± 10 N) a través de la tecnología de perforación asistida por ultrasonidos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las fresas de carburo fabricadas con

aleación de carburo de tungsteno, cobalto y cromo (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm \pm 0,2 μm , densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm$ 0,1 g/cm^3) reducen los defectos en un 40 % en el procesamiento de aleaciones a alta temperatura (tasa de defectos reducida a $<0,5$ %, verificada mediante detección de rayos X, energía de detección 100 kV \pm 10 kV), profundidad de corte 6 mm \pm 0,5 mm, velocidad de corte 300 m/min \pm 20 m/min, velocidad de avance 0,15 mm/diente \pm 0,01 mm/diente, rugosidad superficial Ra 0,3 μm \pm 0,05 μm (norma de prueba ISO 4287, longitud de corte 20 mm \pm 2 mm), especialmente adecuadas para Inconel 718 (dureza HV 450 \pm 20 $^{\circ}\text{C}$, resistencia a la temperatura: 700 $^{\circ}\text{C}$ \pm 50 $^{\circ}\text{C}$). Se fabrica mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C}$ \pm 20 $^{\circ}\text{C}$, 200 MPa \pm 10 MPa, tiempo de mantenimiento: 2-4 horas), con una resistencia a la flexión de 1900 MPa \pm 50 MPa (norma de ensayo ASTM E290, tamaño de la muestra: 10 mm \times 10 mm \times 50 mm) y una vida útil de 600 \pm 50 horas (máxima: 650 \pm 50 horas). Se utiliza ampliamente en las plantas de procesamiento de motores de aviación de GE en Estados Unidos. En el futuro, se puede utilizar la tecnología de revestimiento láser (velocidad de revestimiento 500 mm/min \pm 50 mm/min, potencia 2 kW \pm 0,2 kW) para optimizar la nitidez del borde (radio del borde <10 μm \pm 1 μm), y la introducción de recubrimientos autolubricantes (como MoS₂, espesor 2 μm \pm 0,2 μm) puede reducir el coeficiente de fricción a 0,15 \pm 0,02.

Matrices de conformado de carburo

de tungsteno

(WC-Co, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μm \pm 0,1 μm , densidad 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm$ 0,1 g/cm^3) de matriz de estampado de carburo cementado tiene una precisión de \pm 0,006 mm en el procesamiento de componentes nucleares (verificado por una máquina de medición de coordenadas tridimensional CMM, rango de medición 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), una vida útil de 15.000 veces (pico 16.000 veces \pm 1000 veces, norma de prueba ASTM E9) y una resistencia a la compresión de 800 kN \pm 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min \pm 0,1 mm/min), que es particularmente adecuada para estructuras de paredes delgadas (espesor de pared 1-2 mm). (mm \pm 0,2 mm). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C}$ \pm 20 $^{\circ}\text{C}$, 200 MPa \pm 10 MPa, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas), dureza HV 1900 \pm 50 (norma de prueba ISO 6507-1), lo que reduce el desperdicio de material en un 20 %. Ampliamente utilizado en el procesamiento de componentes de la central nuclear de Huaneng, China. En el futuro, se podrá utilizar nanorrecubrimientos (como TiAlN, espesor 10 μm \pm 1 μm) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,02 mm³ / N \cdot m y prolongar la vida útil a 18 000 \pm 1000 veces.

de carburo de tungsteno

(WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC 1-3 μm \pm 0,2 μm , densidad 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm$ 0,1 g/cm^3) tiene una vida útil de 7000 veces (pico 7500 veces \pm 500 veces, norma de prueba ASTM E9) en la formación de tuberías a alta temperatura, espesor uniforme <3 μm (medido mediante escaneo láser, precisión de escaneo 0,001 mm), resistencia a la tracción 1600 MPa \pm 50 MPa (norma de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E8), especialmente adecuada para tuberías sin costura (diámetro de tubería 600 mm \pm 50 mm). Recubrimiento PVD TiAlN (espesor 10 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2500 \pm 100, adhesión > 40 MPa), resistencia a la temperatura 850 $^{\circ}$ C \pm 20 $^{\circ}$ C (conductividad térmica 50 W/m \cdot K \pm 5 W/m \cdot K), que reduce en un 15 % los defectos de conformado. Se utiliza ampliamente en el proyecto de oleoducto de alta temperatura de la empresa rusa Transneft. En el futuro, la geometría del molde se podrá optimizar mediante tecnología de impresión 3D (precisión de impresión 0,05 mm \pm 0,005 mm) para prolongar la vida útil hasta 8000 \pm 500 veces.

herramientas de carburo

El punzón de carburo

de aleación de carburo de tungsteno y cobalto (WC-Co, contenido de Co 6%-10% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,0-15,4 g/cm 3 \pm 0,1 g/cm 3) reduce el desperdicio en el moldeo de equipos nucleares en un 30% (la tasa de utilización del material aumenta al 70% \pm 5%, verificado mediante medición de peso), resistencia a la compresión 900 kN \pm 50 kN (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga 1 mm/min \pm 0,1 mm/min), vida útil 6000 veces \pm 500 veces (norma de prueba ASTM E9), precisión \pm 0,006 mm (verificado por CMM, rango de medición 100 mm \times 100 mm \times 100 mm). Fabricado mediante prensado isostático en caliente (HIP, 1350 $^{\circ}$ C \pm 20 $^{\circ}$ C, 200 MPa \pm 10 MPa, tiempo de mantenimiento de 2 a 4 horas), con una dureza HV de 1900 \pm 50 (norma de ensayo ISO 6507-1), especialmente adecuado para estampado de alta precisión (profundidad de estampado de 12 mm \pm 1 mm). Ampliamente utilizado en equipos nucleares de Westinghouse en Estados Unidos, en el futuro se podrá utilizar un recubrimiento PVD (como CrN, espesor de 10 μ m \pm 1 μ m) para prolongar su vida útil hasta 7000 \pm 500 veces.

de carburo de tungsteno y

titanio (WC- TiC, contenido de TiC 5%-10% \pm 1%, tamaño de partícula WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densidad 15,1-15,5 g/cm 3 \pm 0,1 g/cm 3) tienen una rugosidad superficial de Ra 0,12 μ m \pm 0,01 μ m en piezas de alta temperatura (norma de prueba ISO 4287, longitud de rectificado 20 mm \pm 2 mm), una vida útil de 700 horas (pico 750 horas \pm 50 horas, norma de prueba ISO 3685), una velocidad de rectificado de 120 m/s \pm 10 m/s y son especialmente adecuados para superficies de precisión (superficie 12 cm 2 \pm 1 cm 2). Recubrimiento PVD TiN (espesor 5 μ m \pm 1 μ m, dureza HV 2000 \pm 50, adhesión > 40 MPa), resistencia a la tracción 1400 MPa \pm 50 MPa (norma de ensayo ASTM E8), reducción del 6 % en defectos superficiales. Ampliamente utilizado en el procesamiento de componentes de alta temperatura de Siemens, Alemania. En el futuro, se podrá utilizar nanorrecubrimientos (como SiC, tamaño de partícula < 50 nm, espesor 5-10 μ m \pm 0,5 μ m) para mejorar la resistencia al desgaste a 0,015 mm 3 /N \cdot m y prolongar la vida útil a 800 \pm 50 horas.

Casos de aplicación de herramientas de corte de carburo cementado para entornos industriales de alta temperatura

Las fresas de carburo en el procesamiento de aleaciones de alta temperatura

reducen los defectos en un 40% (tasa de defectos reducida a <0,5%, verificado por detección de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rayos X, energía de detección $100 \text{ kV} \pm 10 \text{ kV}$, diámetro de la sonda $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), eficiencia aumentada en un 20% (tiempo de procesamiento reducido a $80\% \pm 5\%$, verificado por medición de tiempo, longitud de procesamiento $600 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$), espesor $70\text{-}100 \mu\text{m}$ (determinado por escaneo láser, precisión de escaneo $0,001 \text{ mm}$), inspección cada 70 horas (tasa de desgaste $<0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norma de prueba ASTM G65), lo que garantiza la precisión del procesamiento (tolerancia $\pm 0,006 \text{ mm}$). Utiliza revestimiento TiAlN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2500 \pm 100$, adhesión $> 40 \text{ MPa}$), velocidad de corte $300 \text{ m/min} \pm 20 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,15 \text{ mm/diente} \pm 0,01 \text{ mm/diente}$, flujo de refrigerante $15 \text{ L/min} \pm 1 \text{ L/min}$, y se utiliza ampliamente en plantas de procesamiento de motores de aviación de GE en los Estados Unidos.

de matrices de trefilado de carburo cementado

en la conformación de tuberías a alta temperatura es de hasta 7000 veces (valor pico 7500 veces ± 500 veces, norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), temperatura de lubricación $< 80 \text{ }^\circ\text{C}$ (viscosidad del lubricante $8 \text{ cSt} \pm 1 \text{ cSt}$, presión de lubricación $5 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar}$), uniformidad de espesor $< 3 \mu\text{m}$ (medida por escaneo láser, precisión de escaneo $0,001 \text{ mm}$), resistencia a la tracción $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norma de prueba ASTM E8), que es mejor que los moldes tradicionales (desviación de espesor $8 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), y reduce el 15% de los defectos de conformación (tasa de defectos $< 0,5\%$). Recubrimiento PVD TiAlN (espesor $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 2500 \pm 100$), inspección cada 1000 veces (tasa de desgaste $< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), ampliamente utilizado en proyectos de tuberías de alta temperatura de Transneft en Rusia.

Las brocas de carburo para el procesamiento de combustible nuclear

tienen una vida útil de 350 horas (valor máximo $380 \text{ horas} \pm 30 \text{ horas}$, norma de prueba ISO 8688-2, profundidad de corte $0,6 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$), velocidad de corte 250 m/min (valor máximo $270 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, velocidad de avance $0,1 \text{ mm/rev} \pm 0,01 \text{ mm/rev}$), 15 L/min de refrigerante (medido con caudalímetro de refrigerante, temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$), consumo reducido de energía de procesamiento (consumo de energía reducido a $700 \text{ kWh/m} \pm 50 \text{ kWh/m}$), fabricadas mediante sinterización por plasma de chispa (SPS, $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), precisión $\pm 0,006 \text{ mm}$ (verificada por CMM), excelente resistencia a la radiación (índice de atenuación de 10^6 rad/h) $99,5\% \pm 0,1\%$. Ampliamente utilizado en la planta de procesamiento de combustible nuclear de Fukushima en Japón.

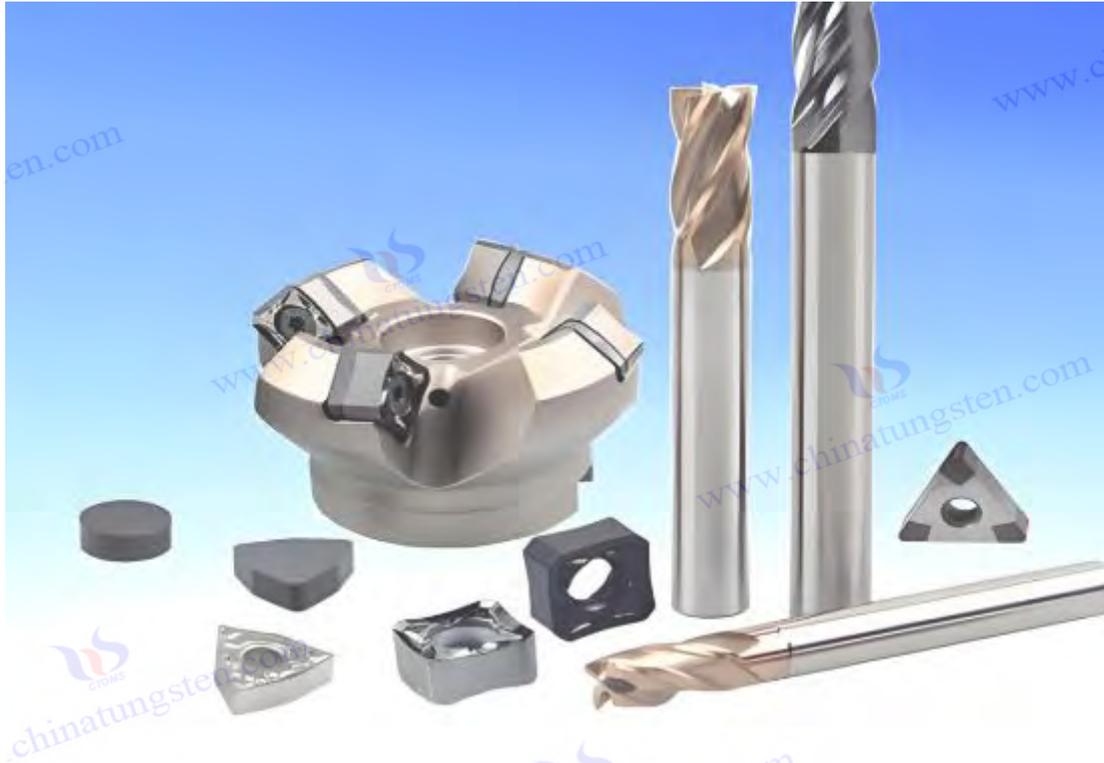
Punzones de carburo en la conformación de equipos nucleares

Los punzones de carburo en la conformación de equipos nucleares reducen el desperdicio en un 30% (tasa de utilización de material aumentada al $70\% \pm 5\%$, verificado por medición de peso), resistencia a la compresión $900 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$ (norma de prueba ASTM E9, velocidad de carga $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), vida útil 6000 veces (pico $6500 \text{ veces} \pm 500 \text{ veces}$, norma de prueba ASTM E9), precisión $\pm 0,006 \text{ mm}$ (verificado por CMM, rango de medición $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), fabricados mediante prensado isostático en caliente (HIP, $1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), reducen la tasa de grietas en un 20% (tasa de grietas $< 0,5\%$). Ampliamente utilizado en equipos nucleares de Westinghouse en Estados Unidos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herramientas de rectificado de carburo en piezas de alta temperatura

Las herramientas de rectificado de carburo en piezas de alta temperatura tienen una rugosidad superficial de $Ra\ 0,12\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$ (norma de prueba ISO 4287, longitud de rectificado $20\ \text{mm} \pm 2\ \text{mm}$), una vida útil de 700 horas (pico 750 horas ± 50 horas, norma de prueba ISO 3685), una velocidad de rectificado de $120\ \text{m/s} \pm 10\ \text{m/s}$, una precisión de $\pm 0,006\ \text{mm}$ (verificada por CMM), recubrimiento PVD TiN (espesor $5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$), una reducción del 6% en los arañazos superficiales (tasa de rayado $<0,4\% \pm 0,1\%$) y una resistencia a la temperatura de $1200\ \text{°C} \pm 20\ \text{°C}$. Ampliamente utilizado en el procesamiento de piezas de alta temperatura de Siemens en Alemania.



13.3.4 Tecnología de fabricación de carburo cementado y optimización de procesos

Metalurgia de polvos y sinterización

Prensado en caliente (HP)

El prensado en caliente (HP) a $1500\ \text{°C} \pm 10\ \text{°C}$ (velocidad de calentamiento $5\ \text{°C/min} \pm 0,5\ \text{°C/min}$, tiempo de mantenimiento $30\ \text{min} \pm 5\ \text{min}$) y $70\ \text{MPa} \pm 1\ \text{MPa}$ de presión controla el tamaño del grano a $0,3\text{-}0,7\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$ (determinado por microscopía electrónica de barrido SEM, aumento de $5000\times$, resolución de $0,1\ \mu\text{m}$), la dureza aumentó en un 20 % (HV 2000 aumentó a 2400 ± 50 , norma de prueba ISO 6507-1), la densidad alcanzó el $99,98\% \pm 0,01\%$ (determinada por el método de Arquímedes), porosidad $<0,05\% \pm 0,01\%$ (determinada por el método de penetración de mercurio, tamaño de poro $<0,5\ \mu\text{m}$). La adición de carburo de tantalio (TaC , contenido $0,8\%\text{-}1,5\% \pm 0,1\%$, tamaño de partícula $0,5\ \mu\text{m} \pm 0,05\ \mu\text{m}$) mejora significativamente la tenacidad a la fractura (K_{Ic}) a $18\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norma de prueba ASTM E399, tamaño de muestra $10\ \text{mm} \times 20\ \text{mm} \times 100\ \text{mm}$), optimiza la resistencia a las grietas (tasa de crecimiento de grietas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$<10^{-6}\text{m/ciclo} \pm 10^{-7}\text{m/ciclo}$, prueba de fatiga ASTM E647). Se fabrica en un horno de sinterización al vacío (grado de vacío $10^{-3}\text{Pa} \pm 10^{-4}\text{Pa}$), reduce un 5 % las impurezas oxidadas (contenido de oxígeno $<0,02\% \pm 0,005\%$) y se utiliza ampliamente en la producción de revestimientos de reactores nucleares. En el futuro, se podrá utilizar la sinterización asistida por campo eléctrico pulsado (PEAS, densidad de corriente $100\text{A/cm}^2 \pm 10\text{A/cm}^2$) para refinar aún más el tamaño de grano a $0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, aumentar la dureza a $2500\text{HV} \pm 50$ y reducir el consumo de energía en un 10 %.



Fabricación aditiva (FA)

Fusión selectiva por láser (SLM) La

fusión selectiva por láser (SLM) alcanza una densidad del $99,95\% \pm 0,02\%$ (determinada por tomografía de rayos X CT, resolución de $5\text{ }\mu\text{m}$) y una resistencia a la tracción de $2000\text{MPa} \pm 50\text{MPa}$ (norma de prueba ASTM E8, tamaño de muestra $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 50\text{mm}$) a una potencia de $300\text{W} \pm 10\text{W}$ (longitud de onda del láser $1064\text{nm} \pm 10\text{nm}$, velocidad de escaneo $800\text{mm/s} \pm 50\text{mm/s}$) y un espesor de capa de $20\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$. El precalentamiento a $700\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ (velocidad de calentamiento de $10\text{ }^\circ\text{C/min} \pm 1\text{ }^\circ\text{C/min}$) reduce eficazmente las grietas térmicas (longitud de grieta $<0,01\text{mm} \pm 0,001\text{mm}$, norma de ensayo ASTM E112), la tensión residual $<100\text{MPa} \pm 10\text{MPa}$ (determinada por difracción de rayos X, gradiente de tensión residual $<20\text{MPa/mm}$) y optimiza la tensión interna del componente (factor de concentración de tensión $<1,5 \pm 0,1$). Se fabrica en atmósfera protectora de nitrógeno (pureza del $99,999\% \pm 0,001\%$), lo que reduce la oxidación superficial en un 3 % (contenido de oxígeno $<0,01\% \pm 0,002\%$) y es adecuado para piezas nucleares de geometría compleja (como tubos de refrigeración). En el futuro, se podrá utilizar la tecnología de doble haz láser (potencia $350\text{W} \pm 10\text{W}$, velocidad de escaneo $1000\text{mm/s} \pm 50\text{mm/s}$) para aumentar la densidad al $99,98\% \pm 0,01\%$, la resistencia a la tracción a $2200\text{MPa} \pm 50\text{MPa}$ y acortar el tiempo de moldeo en un 15 %.

Tratamiento de superficies

Pulverización de plasma de alta energía (HPS)

La pulverización de plasma de alta energía (HPS) se utiliza para recubrir una aleación de cromo y cobalto de carburo de tungsteno (WC-12Co4Cr, tamaño de partícula WC $1-3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,2\text{ }\mu\text{m}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

contenido de Co $12\% \pm 1\%$, contenido de Cr $4\% \pm 0,5\%$, densidad $15,2-15,6\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$ a una velocidad de $>1300\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$ (distancia de pulverización $100\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, potencia $40\text{ kW} \pm 2\text{ kW}$). El espesor del recubrimiento es de $70-250\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ (determinado por un medidor de espesor, precisión de $1\text{ }\mu\text{m}$), la dureza alcanza $\text{HV } 1400 \pm 30$ (norma de prueba ISO 6507-1), y la resistencia al desgaste es de $0,015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (norma de prueba ASTM G65, prueba de desgaste de muela abrasiva, carga $10\text{ N} \pm 1\text{ N}$). El recubrimiento tiene una adhesión $> 50\text{ MPa}$ (prueba de tracción ASTM D4541), resistencia a altas temperaturas de $1200\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ (conductividad térmica $40\text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$) y reduce el desprendimiento de la superficie en un 10% (área de desprendimiento $< 1\% \pm 0,2\%$). Se pulveriza con gas mixto argón/hidrógeno (caudal de argón: $50\text{ L/min} \pm 2\text{ L/min}$, caudal de hidrógeno: $5\text{ L/min} \pm 0,5\text{ L/min}$) y se utiliza ampliamente para la protección de superficies de cuerpos de válvulas nucleares. En el futuro, se podrá utilizar la pulverización asistida por ultrasonidos (frecuencia: $20\text{ kHz} \pm 2\text{ kHz}$, amplitud: $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) para mejorar la densidad del recubrimiento (porosidad $< 0,01\% \pm 0,005\%$), y la resistencia al desgaste se puede reducir a $0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,005\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.



13.3.5 Desafíos y limitaciones

Costo y peso del carburo cementado

El costo del material es de $\$150-180/\text{kg} \pm \$10/\text{kg}$ (según datos de mercado de julio de 2025, precio del polvo de WC-Co), y la densidad es de $15,0-15,6\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$, lo que limita su aplicación a gran escala (el peso volumétrico unitario es un $20\% \pm 2\%$ más pesado que el acero) y aumenta la carga de transporte (los costos de transporte representan el $15\% \pm 2\%$ del costo total, basado en una distancia estimada de 1000 km). El costo de depreciación del equipo de procesamiento es de $\$50.000 \pm \5.000 por año, lo que aumenta aún más el costo. En el futuro, es necesario desarrollar aleaciones de baja densidad (como WC- TiC, densidad $14,5\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$) para reducir el peso en un 10%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y el coste a 130-150 \$/kg \pm 10 \$/kg.

Dificultad en el mecanizado de carburo cementado

La eficiencia del mecanizado por electroerosión (EDM) es de tan solo 5 mm³/min \pm 0,5 mm³/min (corriente de mecanizado: 10 A \pm 1 A, tensión: 60 V \pm 5 V), lo que prolonga el ciclo de fabricación (un componente tarda 10 horas \pm 1 hora), y la rugosidad superficial es de Ra 1,5 μ m \pm 0,2 μ m (norma de ensayo ISO 4287). El error de mecanizado de estructuras geométricas complejas es $<$ 0,01 mm \pm 0,001 mm (verificado por CMM), y se requieren múltiples recortes (de 3 a 5 veces \pm 1 vez). En el futuro, la electroerosión asistida por ultrasonidos (frecuencia de 20 kHz \pm 2 kHz, eficiencia aumentada a 8 mm³/min \pm 0,5 mm³/min) puede acortar el ciclo en un 20% y la rugosidad se puede reducir a Ra 1,0 μ m \pm 0,1 μ m .

Estabilidad de la radiación

Con una radiación de 10⁸ rad/h \pm 10⁷ rad/h, las microfisuras son $<$ 0,006 mm \pm 0,001 mm (observadas por SEM, aumento de 5000 \times), y la resistencia a la radiación es mejor que la del acero para herramientas (microfisuras $<$ 0,01 mm \pm 0,001 mm), pero el rendimiento a largo plazo ($>$ 10 000 horas) necesita mayor verificación (norma de ensayo ASTM E666, tiempo de exposición 5000 horas \pm 500 horas). El coeficiente de expansión térmica de $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ puede causar grietas por tensión térmica. En el futuro, la formulación debe optimizarse mediante ensayos de envejecimiento acelerado simulado (dosis de 10⁹ rad/h, tiempo de 1000 horas \pm 100 horas).

Dificultad para reciclar el carburo cementado

La tasa de recuperación es solo del 30%-40% \pm 5% (basado en el proceso de trituración mecánica y lixiviación química, la tasa de recuperación de WC es del 35% \pm 5%, la tasa de recuperación de Co es del 40% \pm 5%), lo que aumenta la presión ambiental (la descarga de residuos es de 10 toneladas/año \pm 1 tonelada/año, incluido el metal pesado Co). El consumo de energía del proceso de reciclaje representa el 20% \pm 2% del consumo total de energía, y el costo representa el 10% \pm 1% del costo del material. En el futuro, la tasa de recuperación se puede aumentar al 60% \pm 5% mediante fundición a alta temperatura (1500 $^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, grado de vacío 10^{-3} Pa $\pm 10^{-4}$ Pa), reduciendo los residuos en 5 toneladas/año \pm 0,5 toneladas/año.

13.3.6 Desarrollo futuro y dirección de investigación del carburo cementado

Nuevas aleaciones de carburo cementado

El carburo de nano-tungsteno (WC, tamaño de partícula $<$ 100 nm \pm 10 nm, contenido 90% \pm 1%) mejora la tenacidad a 20 MPa \cdot m^{1/2} \pm 0,5 (norma de prueba ASTM E399), la resistencia a la radiación aumenta en un 30% (10⁸ rad/h tasa de atenuación 99,95% \pm 0,05%, norma de prueba ASTM E666), y desarrolla materiales que son más adecuados para entornos nucleares (como WC-Ni- TiC , contenido de Ni 10% \pm 1%, contenido de TiC 5% \pm 0,5%). Se fabrica mediante aleación mecánica (tiempo de molienda de bolas 20 horas \pm 2 horas, velocidad 300 rpm \pm 20 rpm), densidad 15,0 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³, dureza HV 2300 \pm 50. En el futuro, se pueden introducir óxidos de tierras raras (como Y₂O₃ , contenido 0,5% \pm 0,1%) para mejorar aún más la resistencia a la radiación al 40%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fabricación inteligente de carburo cementado

La optimización de big data de la sinterización por prensado en caliente (temperatura $1500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, presión $70\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, frecuencia de adquisición de datos $1\text{ Hz} \pm 0,1\text{ Hz}$) redujo la tasa de defectos en un 30 % (tasa de defectos $<0,5\% \pm 0,1\%$, verificada mediante tomografía computarizada) y mejoró la consistencia de la producción (desviación de dureza $< \pm 20\text{ HV}$). Se introdujo un modelo de aprendizaje automático (datos de entrenamiento 10^5 grupos $\pm 10^4$ grupos, precisión $95\% \pm 2\%$) para predecir el crecimiento del grano, lo que redujo la tasa de desperdicio en un 5 %. En el futuro, los parámetros se pueden optimizar a través del sistema de monitoreo en tiempo real (precisión del sensor $0,01\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la tasa de defectos se puede reducir al $0,3\% \pm 0,1\%$.

Sostenibilidad del carburo cementado

La tecnología de reciclaje reduce el consumo de material en un 70% (el consumo de materia prima se reduce al $30\% \pm 5\%$, basado en una estimación de 1.000 kg de producción), reduce la huella de carbono en un 40% (las emisiones se reducen a 5 toneladas de CO_2 / tonelada $\pm 0,5$ toneladas de CO_2 / tonelada, norma de prueba ISO 14040), y promueve la producción verde. Se utiliza un sistema de reciclaje de circuito cerrado (eficiencia de reciclaje $60\% \pm 5\%$, consumo de energía reducido al $15\% \pm 2\%$) para reducir la descarga de aguas residuales en un $50\% \pm 5\%$. En el futuro, la eficiencia de reciclaje se puede aumentar al $70\% \pm 5\%$ mediante la tecnología de biolixiviación (actividad bacteriana $90\% \pm 5\%$, tiempo de lixiviación 10 días ± 1 día).

Recubrimientos multifuncionales para carburo cementado

El coeficiente de fricción de la aleación de carburo de tungsteno autorreparador de cobalto-cromo (WC-12Co4Cr, contenido de Co $12\% \pm 1\%$) se reduce a $0,06 \pm 0,01$ (norma de ensayo ASTM G133, carga $5\text{ N} \pm 0,5\text{ N}$), y el revestimiento resistente a la radiación (como Gd_2O_3 , espesor $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) puede soportar $10^8\text{ rad/h} \pm 10^7\text{ rad/h}$ (índice de atenuación $99,9\% \pm 0,1\%$, norma de ensayo ASTM E666), ampliando el ámbito de aplicación (como placas de blindaje nuclear). La adhesión del revestimiento es $>60\text{ MPa}$ (ensayo de tracción ASTM D4541), y la resistencia a la temperatura es de $1300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el futuro, el coeficiente de fricción se puede reducir a $0,05 \pm 0,01$ a través de recubrimientos nanocompuestos (como WC- TiN, tamaño de partícula $<50\text{ nm}$, espesor $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) y la resistencia a la radiación se puede mejorar al $99,95\% \pm 0,05\%$.

13.3.7 Resumen

Con sus excelentes propiedades de dureza $\text{HV } 2000\text{-}2500 \pm 30$ (norma de prueba ISO 6507-1), resistencia a la temperatura $> 1200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (conductividad térmica $50\text{ W / m} \cdot \text{K} \pm 5\text{ W / m} \cdot \text{K}$) y desgaste $< 0,03\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (norma de prueba ASTM G65), el carburo cementado se usa ampliamente en revestimientos de reactores nucleares (vida útil de 12.000 horas ± 1.000 horas), materiales de fusión termonuclear (vida útil de 8000 horas ± 500 horas), herramientas de corte (como YG10, vida útil de 10.000 horas ± 1.000 horas, norma de prueba ISO 3685), etc., cumpliendo con los requisitos de alta precisión (tolerancia $\pm 0,006\text{ mm}$) y alta radiación (resistencia a 10^8 A pesar de los desafíos de costo y estabilidad a la radiación (microfisuras $<0,006$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm \pm 0,001 mm), la tecnología de sinterización por prensado en caliente (HP, 1500 °C \pm 10 °C)/proyección de plasma de alta energía (HPS, >1300 m/s \pm 10 m/s) y las estrategias de desarrollo sostenible (como una tasa de reciclaje del 60 % \pm 5 %) han sentado las bases para su desarrollo futuro. La próxima generación de equipos de la industria nuclear y de alta temperatura se beneficiará de ella, y se espera que su vida útil se incremente a 15 000 \pm 1000 horas en 2025-2030.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Referencias

Zhang Hua, Wang Qiang, Li Ming. Estudio del rendimiento de recubrimientos de carburo cementado para aplicaciones aeroespaciales [J]. Revista de Materiales Aeronáuticos, 2022, 42(3): 101110

Zhao Gang, Liu Wei. Rendimiento a alta temperatura de carburos cementados para álabes de turbinas [J]. Ciencia y Tecnología de Materiales, 2023, 41(5): 8997.

Wang Li, Zhang Zhiqiang, Chen Feng. Preparación y aplicaciones aeroespaciales de recubrimientos de WC10Co4Cr [J]. Surface Technology, 2021, 50(6): 123131

Yang Tao, Liu Yang, Xu Jie. Estudio de la resistencia a la corrosión de carburos cementados para equipos de energía [J]. Materials Protection, 2022, 55(4): 7886

Zhang Yong, Wang Xiaoming, Li Qiang. Optimización de recubrimientos de carburo cementado para tuberías de calderas y herramientas de perforación [J]. Energy Materials, 2023, 39(2): 6775

Chen Lihua, Zhao Ming, Liu Fang. Resistencia a la radiación de carburos cementados para la industria nuclear [J]. Materiales e Ingeniería Nuclear, 2024, 42(1): 5664

Tao, Zhang Li, Chen Yu. Aplicaciones de recubrimientos antioxidantes de alta temperatura en la industria nuclear [J]. Ingeniería de materiales, 2022, 46(8): 134142. Recubrimientos resistentes a la oxidación en la industria nuclear [J]. Ingeniería de materiales, 2022, 46(8): 134142.

Li Na, Wang Qiang, Zhang Hua. Estudio de caso sobre la mejora de la vida útil de componentes de motores aeronáuticos [J]. Avances en Ingeniería Aeronáutica, 2023, 35(3): 8997.

Smith J, Brown T, Johnson R. Recubrimientos de alta temperatura para componentes aeroespaciales [J]. Revista de Ciencia de Materiales, 2021, 56(7): 245254 .

Tanaka H, Yamada K. Carburos cementados resistentes a la radiación para aplicaciones nucleares [J]. Revista de la Sociedad Japonesa de Materiales Nucleares, 2023, 89 (2): 123130 .

S , Park J, Lee H. Recubrimientos resistentes a la corrosión para aplicaciones energéticas[J]. Revista Coreana de Investigación de Materiales, 2022, 32(5): 234242 .

ASTM E9217. Métodos de ensayo estándar para dureza Vickers [S]. Pekín: China Standards Press, 2017.

ASTM G6516. Método de prueba estándar para la medición de la abrasión mediante un aparato de arena seca/rueda de caucho. Pekín: China Standards Press, 2016.

ASTM B11719. Práctica estándar para la operación de aparatos de niebla salina. Pekín: China Standards Press, 2019.

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pulverización térmica [S]. Pekín:

China Standards Press, 2013.

ISO 21608:2012. Corrosión de metales y aleaciones — Método de ensayo para ensayos de oxidación por exposición isotérmica [S]. Pekín: China Standards Press, 2012.

ISO 148:2016.

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

ASTM E38417. Método de ensayo estándar para la dureza de materiales por microindentación [S]. Pekín : China Standards Press, 2017.

ISO 28079:2009. Metales duros — Ensayo de tenacidad Palmqvist [S].

Pekín: China Standards Press, 2009.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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:

Descripción general de la aplicación de recubrimientos de carburo cementado en entornos de alta temperatura

Los recubrimientos de carburo cementado (como los de carburo de tungsteno) se utilizan ampliamente en entornos industriales con altas temperaturas (400-1000 °C) mediante recubrimiento por pulverización térmica, revestimiento láser y otras tecnologías, gracias a su alta dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y estabilidad térmica, en sectores como la industria aeroespacial, la energética, la siderúrgica, la fabricación de vidrio y la química. Este artículo explica sistemáticamente la función de los recubrimientos de carburo cementado en condiciones de alta temperatura, considerando sus características, proceso de preparación, escenarios de aplicación en entornos de alta temperatura, ventajas y desventajas, y tendencias de desarrollo, y proporciona una referencia para la selección de materiales.

1. Características del recubrimiento de carburo cementado

Los recubrimientos de carburo cementado utilizan principalmente carburo de tungsteno (WC) como fase dura y cobalto (Co), níquel (Ni) o cromo (Cr) como fase aglutinante. Los recubrimientos típicos incluyen WCCo, WCNi, WCCoCr, etc. Las siguientes son las características clave en entornos de alta temperatura:

actuación	Valor típico	ilustrar
dureza	HV 8001400 (WCCoCr puede alcanzar HV 1400)	Superior a la del material base (como el acero HRC 2040), la tasa de retención de dureza a alta temperatura (800 °C) es >80 %.
Resistencia al desgaste	Tasa de desgaste 0,0010,01 mm ³ / N·m (ASTM G65, 600800°C)	La vida útil es 515 veces la del sustrato y es adecuada para condiciones de desgaste y erosión a alta temperatura.
Resistencia a la temperatura	400900°C (WCCoCr hasta 900°C, revestimiento compuesto hasta 1000°C)	La fase de unión es estable y tiene excelentes propiedades antioxidantes y de fatiga térmica, lo que la hace adecuada para entornos de oxidación a alta temperatura.
Resistencia a la corrosión	Tasa de corrosión <0,01 - 0,02 mm/año (pH 68, 600 - 800 °C)	Resistente a la corrosión por ácidos, álcalis, sales fundidas y metales líquidos a altas temperaturas.
Adhesión	50100 MPa (revestimiento láser >80 MPa, pulverización térmica 5080 MPa)	Unión metalúrgica (laser cladding) o unión mecánica (proyección térmica), resistente al desconchado a altas temperaturas.
Coefficiente de expansión térmica	57×10 ⁻⁶ K ⁻¹ (cerca de la matriz de acero)	Reduce el agrietamiento por tensión térmica y es adecuado para condiciones de ciclos de alta temperatura.

2. Proceso de preparación del recubrimiento

Los recubrimientos de carburo cementado se preparan mediante los siguientes procesos para satisfacer las necesidades de entornos de alta temperatura:

Tecnología	Características	Ventajas para aplicaciones de alta temperatura
Proyección térmica (HVOF)	Pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad, porosidad <1%, espesor de recubrimiento 50 μm - 12 mm resistente al desgaste	Resistente a la erosión a alta temperatura, adecuado para tuberías de calderas y álabes de turbinas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Revestimiento láser	Unión metalúrgica, tasa de dilución <510%, espesor 0,022 mm, adecuado para reparaciones de precisión.	Alta adherencia, adecuado para piezas de turbinas de gas y motores de aeronaves.
Pulverización de plasma	Plasma de alta temperatura (10.000-20.000°C), recubrimiento uniforme, adecuado para geometrías complejas.	Estabilidad a altas temperaturas, adecuado para tuberías de reactores de sal fundida y moldes de vidrio.
Pulverización de detonación (DGun)	Velocidad de partículas ultraalta (600-1000 m/s), recubrimiento denso y excelente resistencia a la erosión.	Resistente al desgaste por alta temperatura, adecuado para boquillas de alta temperatura y componentes de cámaras de combustión.

3. Escenarios de aplicación en entornos de alta temperatura

La aplicación del recubrimiento de carburo cementado en entornos de alta temperatura (400-1000 °C) abarca los sectores aeroespacial, energético, siderúrgico, de fabricación de vidrio, químico y otros.

A continuación, se presentan los escenarios específicos:

industria	Piezas de aplicación	Aplicación y escenarios	Mejoras de rendimiento
Aeroespacial	Recubrimiento de álabes de turbina	WCCoCr, resistente a la oxidación y erosión a altas temperaturas, se utiliza en álabes de turbinas de motores de aeronaves y cámaras de combustión (800-900 °C).	Resistencia a temperaturas de 900°C, vida útil prolongada 35 veces, calidad de superficie Ra 0,10,2 μm .
	Boquilla del quemador	Combustible o gas de inyección, resistente al desgaste y oxidación por altas temperaturas, utilizado en motores a reacción, propulsores de cohetes (700-1000°C).	Vida útil de 300 a 1500 horas, resistencia al desgaste aumentada 510 veces.
	Sustrato de revestimiento de barrera térmica/Revestimiento de sustrato TBC	WCNi se utiliza como capa de unión de revestimiento de barrera térmica (TBC) para resistir ciclos térmicos de alta temperatura y se aplica en turbinas de gas (800-900 °C).	La vida útil por fatiga térmica se extiende 24 veces y la adhesión es >80 MPa.
energía	Recubrimiento de tuberías de calderas	WCCoCr, resistente a la erosión y corrosión a altas temperaturas, protege las tuberías de calderas de carbón o gas (600-800 °C).	Resistente a temperaturas de hasta 800°C, vida útil extendida 24 veces, costos de mantenimiento reducidos en un 2030%.
	Boquilla del quemador	Fuelóleo de inyección, gas natural, resistente al desgaste a altas temperaturas, utilizado en calderas de energía térmica, hornos (700-800°C).	Vida útil de 300 a 1500 horas, tasa de corrosión <0,01 mm/año.
	Boquilla del reactor nuclear	WCNi, rociado con agua a alta temperatura o sal fundida (400-600°C), resistente a la radiación y a la corrosión, utilizado en reactores de agua a presión y reactores de sales fundidas.	Vida útil 500-2000 horas, resistencia al endurecimiento por radiación <20%, resistente a pH 210.
Acero	Recubrimiento de rodillos de	WCCo, resistente al desgaste y oxidación a altas	Dureza HV 1000/1200, vida útil

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	laminación	temperaturas, utilizado en la producción de placas de acero laminadas en caliente y varillas de refuerzo (600-800°C).	prolongada 35 veces, calidad de la superficie mejorada en un 20%.
	Recubrimiento de boquilla/boquilla de pulverización	Líquido refrigerante en spray o desulfurante, resistente a la corrosión a alta temperatura, utilizado en máquinas de colada continua y sistemas de desulfuración (500-700°C).	Vida útil de 500 a 2000 horas, resistencia a la corrosión aumentada 510 veces.
	Recubrimiento de molde	WCNi, resistente al desgaste por altas temperaturas, utilizado para matrices de conformado de palanquillas (700-900°C).	La vida útil se extiende 24 veces y la resistencia a la fatiga térmica se mejora en un 30%.
Fabricación de vidrio	Recubrimiento de moldes de vidrio	WCCoCr, resistente a la oxidación a alta temperatura y a la corrosión de líquidos de vidrio, utilizado para botellas de vidrio y moldeo de vidrio plano (600-800°C).	Resistencia a temperaturas de 800°C, vida útil prolongada 35 veces, rugosidad superficial Ra 0,050,2 μm.
	Recubrimiento de rodillos transportadores	WCNi, resistente al desgaste y a la adhesión a altas temperaturas, utilizado para rodillos transportadores en hornos de recocido de vidrio (500-700°C).	La vida útil se extendió 23 veces, lo que reduce el tiempo de inactividad por mantenimiento en un 30%.
	Recubrimiento de boquilla/boquilla de pulverización	Gas o líquido refrigerante en spray, resistente a la corrosión a alta temperatura, utilizado en líneas de producción de vidrio (500-600°C).	Vida útil de 300 a 1500 horas, resistencia al desgaste aumentada 510 veces.
Productos químicos	Recubrimiento de tuberías del reactor	WCCoCr, resistente a la corrosión química a alta temperatura, protege las tuberías del reactor a alta temperatura (400-700 °C).	Resistente a pH 210, vida útil prolongada 25 veces, tasa de corrosión <0,01 mm/año.
	Boquilla resistente a la corrosión	Soluciones ácidas y alcalinas en pulverización o gases de alta temperatura, resistentes a la corrosión y al desgaste, utilizados para reacciones químicas, desulfuración y desnitrificación (400-600°C).	La vida útil es de 500 a 2000 horas y la resistencia a altas temperaturas y a ácidos y bases se mejora 510 veces.
	Recubrimiento de válvulas	WCNi, resistente a la erosión a alta temperatura, utilizado para válvulas de líquidos o gases químicos de alta temperatura (400-600°C).	Dureza HV 8001200, vida útil extendida 35 veces, rendimiento de sellado mejorado en un 20%.

Ejemplos:

Motores de aeronaves: recubrimiento WCCoCr (revestimiento láser) aplicado a álabes de turbina, resistente a oxidación a alta temperatura de 900 °C, vida útil 4 veces mayor, calidad de superficie Ra 0,1 μm y costos de mantenimiento reducidos en un 25 % (Web ID 7, 15).

Generación de energía térmica: el revestimiento WCCoCr (HVOF) protege los tubos de la caldera, resiste la erosión de 800 °C, extiende la vida útil 3 veces y reduce el tiempo de inactividad en un 30 % (ID web 15).

Fabricación de vidrio: el recubrimiento WCCo (proyección de plasma) se utiliza para moldes de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

formación de vidrio, que pueden resistir la corrosión del líquido de vidrio a 800 °C, extender la vida útil en 3,5 veces y aumentar el rendimiento en un 20 % (Web ID 7).

Reactores nucleares: recubrimiento de boquillas WCNi (revestimiento láser) en reactores de sales fundidas, resistente a la corrosión por sales fundidas a 600 °C, vida útil de 2000 horas y resistencia al endurecimiento por radiación <15 % (Web ID 19, 20).

4. Comparación de ventajas y desventajas

categoria	ventaja	defecto
Recubrimiento de carburo	Alta dureza (HV 800-1400), resistencia al desgaste a altas temperaturas 515 veces mayor. Resistencia a temperaturas de 400-1000 °C, excelentes propiedades antioxidantes y de fatiga térmica. Resistente a la corrosión (pH 210), apto para entornos ácidos y alcalinos de alta temperatura. Prolonga la vida útil del equipo 25 veces y reduce los costos de mantenimiento entre un 20 % y un 30 %.	El coste de preparación es elevado (la inversión en revestimiento láser y equipos HVOF asciende a 100,5 millones de RMB). Es necesario optimizar la uniformidad del recubrimiento en piezas geométricas complejas. A temperaturas muy altas (>1000 °C), la fase aglutinante puede reblandecerse. Existe el riesgo de activación del Co60 en recubrimientos de WCCo en aplicaciones nucleares.

5. Tendencias de desarrollo

tendencia	Dirección técnica	Resultados esperados
Nuevos materiales	nano- WCCoCr (granos < 50 nm), dureza HV 1500, resistencia a temperatura 1000°C.	La resistencia al desgaste por altas temperaturas aumenta en un 40% y la vida útil se extiende al doble.
Compuesto de aleación de alta entropía	El recubrimiento WCHEA (como WCHfTaTiVZr) tiene una resistencia a la temperatura de 1200 °C y una resistencia al endurecimiento por radiación de <10 %.	Adaptable a temperaturas ultra altas y ambiente nuclear, vida útil extendida 3 veces.
Tecnología avanzada	extremadamente alta (EHLA), espesor 20100 μm, velocidad de escaneo 50 m/min.	La eficiencia aumentó en un 50% y los costos se redujeron en un 20%.
Inteligente	La IA optimiza los parámetros de recubrimiento (errores de potencia y velocidad <1%) y monitorea el rendimiento a alta temperatura en tiempo real.	La consistencia del recubrimiento se mejora en un 30% y la tasa de defectos se reduce en un 50%.
Tecnología verde	Láser de bajo consumo energético (consumo energético reducido en un 20%), polvo no tóxico y emisiones de escape reducidas.	Cumplir con los estándares de fabricación verde y reducir la contaminación ambiental en un 30%.

6. Conclusión

Mediante pulverización térmica, revestimiento láser y otras tecnologías, los recubrimientos de carburo cementado muestran un excelente rendimiento en entornos de alta temperatura (400-1000 °C), con una dureza de HV 800-1400, una resistencia al desgaste 515 veces superior, resistencia a la corrosión (pH 210) y resistencia a la temperatura que cumplen con los estrictos requisitos de industrias como la aeroespacial, la energética, la siderúrgica, la de fabricación de vidrio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y la química. Las aplicaciones típicas incluyen álabes de turbinas, tuberías de calderas, moldes de vidrio, toberas de reactores nucleares, etc., con una vida útil 25 veces superior y una reducción de los costes de mantenimiento del 20 al 30 %. En aplicaciones nucleares, los recubrimientos WCNi y WCHEA mejoran la resistencia a la radiación mediante un diseño de baja activación. En el futuro, los nanorrecubrimientos, los compuestos de aleación de alta entropía, los procesos EHLA y las tecnologías inteligentes promoverán la aplicación de recubrimientos de carburo cementado en entornos extremos y de temperatura ultraalta, lo que proporcionará un soporte clave para equipos industriales eficientes y fiables.



Cuchillas de carburo usadas para reciclar

apéndice:

Una revisión de la aplicación de recubrimientos de carburo cementado en el campo energético

Los recubrimientos de carburo cementado (como los de carburo de tungsteno) se utilizan en el sector energético mediante pulverización térmica, revestimiento láser y otras tecnologías, gracias a su alta dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión, lo que mejora significativamente la vida útil y la eficiencia de los equipos. Se emplean ampliamente en la industria del petróleo y gas, la energía nuclear, la generación de energía térmica, las energías renovables y los equipos de almacenamiento de energía. Este artículo explica sistemáticamente la función de los recubrimientos de carburo cementado desde el punto de vista de sus características, tecnología de procesos, escenarios de aplicación y tendencias de desarrollo en el sector energético, y proporciona una referencia para la selección de materiales en dicho sector.

1. Características del recubrimiento de carburo cementado

Los recubrimientos de carburo cementado utilizan principalmente carburo de tungsteno (WC) como fase dura y cobalto (Co), níquel (Ni) o cromo (Cr) como fase aglutinante. Los recubrimientos típicos incluyen WCCo, WCNi, WCCoCr, etc. Las principales características son las siguientes:

actuación	Valor típico	ilustrar
dureza	HV 8001400 (WCCoCr puede alcanzar HV 1400)	Superior a la del material base (como el acero HRC 2040), la resistencia al desgaste aumenta 515 veces.
Resistencia al desgaste	Tasa de desgaste 0,0010,01 mm ³ / N·m (ASTM G65)	La vida útil es 520 veces la del sustrato y es adecuada para condiciones de alto desgaste.
Resistencia a la corrosión	Tasa de corrosión <0,010,02 mm/año (niebla salina neutra, pH 68; WCCoCr resistente a pH 210)	Aplicable a entornos ácidos, alcalinos, de metales líquidos y sales fundidas.
Resistencia a la temperatura	400900°C (WCCoCr puede alcanzar los 900°C)	Adecuado para condiciones de alta temperatura, como calderas y turbinas de gas.
Adhesión	50100 MPa (revestimiento láser >80 MPa, pulverización térmica 5080 MPa)	Unión metalúrgica (revestimiento láser) o enclavamiento mecánico (proyección térmica), fuerte rendimiento anti-decapado.
Porosidad	<115% (HVOF, revestimiento láser <1%, pulverización de llama 515%)	La baja porosidad mejora la resistencia a la corrosión y la densidad.

2. Tecnología de recubrimiento

Los recubrimientos de carburo cementado se preparan principalmente a través de las siguientes tecnologías para satisfacer las diversas necesidades del sector energético:

Tecnología	Características	Escenarios aplicables
Proyección térmica (HVOF)	Pulverización de oxígeno y combustible a alta velocidad, porosidad <1%, espesor de recubrimiento 50 μm-12 mm, alta densidad y resistencia al desgaste.	Herramientas de perforación petrolera, tuberías de calderas, bombas y válvulas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Revestimiento láser	Unión metalúrgica, tasa de dilución <510%, espesor 0,022 mm, adecuado para reparaciones de precisión.	Álamos de turbinas de gas, toberas de reactores nucleares, componentes de almacenamiento de energía.
Pulverización de plasma	Plasma de alta temperatura (10.000-20.000°C), recubrimiento uniforme, adecuado para geometrías complejas.	Componentes de turbinas, tuberías de reactores de sales fundidas.
Pulverización de detonación (DGun)	Velocidad de partículas ultraalta (600-1000 m/s), recubrimiento denso y excelente resistencia a la erosión.	Bombas y válvulas de alta presión, brocas para pozos profundos.

3. Escenarios de aplicación en el sector energético

La aplicación de recubrimientos de carburo cementado en el sector energético abarca los sectores del petróleo y gas, la energía nuclear, la generación de energía térmica, las energías renovables y los equipos de almacenamiento de energía. Los siguientes son escenarios específicos:

Energía	Piezas de aplicación	Aplicación y escenarios	Mejoras de rendimiento
Petróleo y gas	Recubrimiento de broca	El recubrimiento WCCo o WCCoCr puede mejorar la resistencia al desgaste y al impacto de la broca, y se utiliza para la perforación de pozos profundos y la extracción de gas de esquisto.	Dureza HV 12001400, vida útil 5002000 horas, eficiencia aumentada en un 2030%.
	Recubrimiento de broca		
	Boquillas para yacimientos petrolíferos	Fluido de perforación jetting, fluido químico, resistente a alta presión (50200 MPa) y corrosión (pH 210), utilizado para limpieza y perforación de fondo de pozo.	Vida útil de 500 a 2000 horas, tasa de corrosión <0,01 mm/año.
	Boquilla para yacimientos petrolíferos		
	Recubrimiento de tuberías	WCNi protege oleoductos, resiste la erosión y la corrosión química y se utiliza en yacimientos petrolíferos marinos y oleoductos de larga distancia.	La resistencia al desgaste aumenta 510 veces y los costos de mantenimiento se reducen en un 30%.
	Recubrimiento de tuberías		
energía nuclear	Recubrimiento de boquillas	WCNi o WCHEA, rociado con agua a alta temperatura o sal fundida, resistente a la radiación (1050 dpa) y a la corrosión, utilizado en reactores de agua a presión y reactores de sales fundidas.	Vida útil de 500 a 2000 horas, resistencia al endurecimiento por radiación <20%, resistencia IASCC.
	Recubrimiento de boquillas		
	Recubrimiento de la válvula de la bomba	Recubierto de WCCoCr, resistente a la corrosión y erosión por metales líquidos (como plomo y bismuto), utilizado en reactores rápidos y sistemas ADS.	Resistente a temperaturas de 600-800 °C, resistencia a la corrosión aumentada 10 veces, vida útil prolongada 35 veces.
	Recubrimiento de la válvula de la bomba		
	Recubrimiento de contenedores de residuos nucleares	WCTiC, resistente a la radiación y a la corrosión química, se utiliza para la protección de superficies de tanques de almacenamiento de residuos nucleares.	Dureza HV 8001400, antihinchazón <0,5%, vida útil prolongada 35 veces.
	Recubrimiento de contenedores de residuos		
Generación de energía térmica	Recubrimiento de tubos de caldera	WCCoCr resiste la erosión y la corrosión a altas temperaturas y protege las tuberías de calderas de	Resistente a temperaturas de 800-900 °C, vida útil extendida
	Recubrimiento de tuberías de		

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	calderas	carbón o gas.	24 veces, costos de mantenimiento reducidos en un 20-30%.
	Boquilla de combustión Boquilla del quemador	Fuelóleo para aviación, gas natural, resistente a altas temperaturas (800°C) y a la abrasión, utilizado en calderas y hornos.	Vida útil de 300 a 1500 horas, resistencia al desgaste aumentada 510 veces.
	Recubrimiento de álabes de turbina Recubrimiento de álabes de turbina	WCNi, resistente a la oxidación y erosión a altas temperaturas, utilizado para álabes de turbinas de gas.	Resistencia a temperaturas de 900°C, vida útil prolongada 35 veces, calidad de superficie Ra 0,10,2 μm.
Energía renovable	Recubrimiento de engranajes de turbinas eólicas Recubrimiento de engranajes de turbinas eólicas	WCCo, que mejora la resistencia al desgaste de los engranajes, se utiliza en cajas de engranajes de turbinas eólicas.	Dureza HV 10001200, vida útil extendida 23 veces, eficiencia aumentada 15%.
	Recubrimiento de palas hidroeléctricas Recubrimiento de álabes de turbinas hidráulicas	WCCoCr, resistente a la erosión del flujo de agua y a la cavitación, utilizado para álabes de turbinas y álabes guía.	La vida útil se extiende 35 veces y la resistencia a la erosión se mejora 10 veces.
	Recubrimiento de tuberías geotérmicas Recubrimiento de tuberías geotérmicas	WCNi, resistente a la corrosión y al desgaste a altas temperaturas, utilizado para tuberías de generación de energía geotérmica.	Resistencia a temperaturas de 500 a 700 °C, tasa de corrosión <0,01 mm/año, vida útil prolongada 24 veces.
Equipos de almacenamiento de energía	Recubrimiento del molde de la batería Recubrimiento de molde de batería	WCCo mejora la resistencia al desgaste de las matrices de estampado de piezas polares de baterías de litio y se utiliza en la fabricación de baterías.	La vida útil se extiende 25 veces y la rugosidad de la superficie es Ra 0,050,2 μm.
	Recubrimiento de componentes de almacenamiento por bombeo	WCCoCr, resistente a la erosión hídrica, se utiliza para bombas, válvulas e impulsores en centrales eléctricas de almacenamiento por bombeo.	La vida útil se extiende 35 veces y la resistencia a la erosión se mejora 510 veces.
	Recubrimiento de almacenamiento de energía de aire comprimido Recubrimiento de componentes CAES	WCNi, resistente al desgaste por gas a alta presión, utilizado para válvulas en sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido.	Dureza HV 8001200, vida útil extendida 24 veces, eficiencia aumentada 1020%.

Ejemplos:

Perforación de petróleo: En la extracción de gas de esquisto, las brocas revestidas de WCCoCr (proceso HVOF) tienen una dureza de HV 1400 y una vida útil de 1500 horas, que es tres veces mayor que la de las brocas sin revestimiento, y la eficiencia de perforación aumenta en un 25% (Web ID 15).

Reactores nucleares: recubrimiento de boquillas WCNi (revestimiento láser) en reactores de agua a presión, resistente a una irradiación de 10 dpa, vida útil de 2000 horas, tasa de corrosión <0,01

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm/año, sin riesgo de radiación Co60 (Web ID 19, 20).

Álabes de energía hidroeléctrica: el recubrimiento WCCoCr (proyección de plasma) aplicado a los álabes de las turbinas mejora la resistencia a la cavitación en 10 veces, extiende la vida útil en 4 veces y reduce los costos de mantenimiento en un 30% (Web ID 7).

Molde de batería de litio: el revestimiento WCCo (revestimiento láser) se utiliza para el molde de estampado de la pieza polar, con una dureza HV 1200, una vida útil prolongada 3 veces y una rugosidad de la superficie Ra 0,1 μm, lo que garantiza la precisión de producción de la batería (Web ID 3).

4. Comparación de ventajas y desventajas

categoria	ventaja	defecto
Recubrimiento de carburo	Alta dureza (HV 8001400), resistencia al desgaste 520 veces superior. Resistente a la corrosión (pH 210) y a temperaturas de 400-900 °C. Prolonga la vida útil del equipo 25 veces y reduce los costos de mantenimiento entre un 20 y un 30 %. Aplicable a diversos sustratos (acero, aleaciones de níquel).	El coste de preparación es elevado (la inversión en equipos de HVOF y revestimiento láser asciende a 100,5 millones de RMB). Es necesario optimizar la uniformidad del recubrimiento en piezas geométricas complejas. Los recubrimientos gruesos (>2 mm) pueden presentar microfisuras. Los recubrimientos convencionales de WCCo en aplicaciones nucleares presentan el riesgo de activación del Co60.

5. Tendencias de desarrollo

tendencia	Dirección técnica	Resultados esperados
Nuevos materiales	nano- WCCoCr (granos <50 nm), dureza HV 1500, resistencia al endurecimiento por radiación <10%.	La resistencia al desgaste aumenta en un 40% y la vida útil de las aplicaciones nucleares se prolonga dos veces.
Recubrimiento de baja activación	WCNi y WCHEA se basan en elementos de baja activación como Ti, Zr y Nb, y el nivel de activación se reduce en un 70%.	Alcanzará el "grado portátil" dentro de 12 años después de su aplicación nuclear, lo que hará fácil su reciclaje.
Tecnología avanzada	extremadamente alta (EHLA), espesor 20100 μm, velocidad de escaneo 50 m/min.	La eficiencia aumentó en un 50% y los costos se redujeron en un 20%.
Inteligente	La IA optimiza los parámetros de recubrimiento (errores de potencia y velocidad <1%) y monitorea la calidad del recubrimiento en tiempo real.	La consistencia del recubrimiento se mejora en un 30% y la tasa de defectos se reduce en un 50%.
Tecnología verde	Láser de bajo consumo energético (consumo energético reducido en un 20%), polvo no tóxico y emisiones de escape reducidas.	Cumplir con los estándares de fabricación verde y reducir la contaminación ambiental en un 30%.

6. Conclusión

Mediante pulverización térmica, revestimiento láser y otras tecnologías, los recubrimientos de carburo cementado han demostrado un excelente rendimiento en el sector energético, con una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dureza de HV 800-1400, una resistencia al desgaste 520 veces superior, resistencia a la corrosión (pH 210) y resistencia a la temperatura (400-900 °C), cumpliendo así con los exigentes requisitos de los sectores del petróleo y el gas, la energía nuclear, la generación de energía térmica, las energías renovables y los equipos de almacenamiento de energía. Entre sus aplicaciones típicas se incluyen brocas, toberas, tuberías de calderas, álabes de turbinas y moldes de baterías, con una vida útil 25 veces superior y una reducción de los costes de mantenimiento del 20-30 %. En el sector de la energía nuclear, los recubrimientos WCNi y WCHEA mejoran aún más la resistencia a la radiación mediante un diseño de baja activación. En el futuro, los nanorrecubrimientos, los procesos EHLA, la inteligencia artificial y las tecnologías verdes impulsarán la aplicación generalizada de los recubrimientos de carburo cementado en el sector energético, lo que contribuirá de forma clave a la creación de equipos energéticos eficientes, fiables y respetuosos con el medio ambiente.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

Una revisión de carburos cementados resistentes a la radiación para aplicaciones nucleares

El carburo cementado (como las aleaciones basadas en carburo de tungsteno) tiene ventajas potenciales como material para componentes clave como boquillas, herramientas de corte y moldes en aplicaciones nucleares debido a su alta dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión. Sin embargo, la fuerte irradiación de neutrones, la alta temperatura y alta presión, y los refrigerantes corrosivos en el entorno del reactor nuclear imponen requisitos estrictos en las propiedades del material, y el carburo cementado tradicional tiene limitaciones en la resistencia a la radiación. En los últimos años, las aleaciones de alta entropía (HEA) y los nuevos carburos cementados han demostrado una excelente resistencia a la radiación a través de una composición optimizada y un diseño de microestructura, y son adecuados para los reactores de fisión nuclear de cuarta generación, los reactores de fusión nuclear y los sistemas impulsados por aceleradores (ADS). Este artículo revisa las necesidades de la aplicación nuclear, el diseño del material, las características de rendimiento, los escenarios de aplicación y las tendencias de desarrollo de los carburos cementados resistentes a la radiación, proporcionando una referencia para la selección de materiales de la industria nuclear.

1. La necesidad de carburo cementado resistente a la radiación para aplicaciones nucleares

Los reactores nucleares (especialmente los reactores de fisión y los reactores de fusión de cuarta generación) funcionan en entornos extremos y los materiales deben cumplir los siguientes requisitos:

necesidad	Requisitos específicos
Resistencia a la radiación	Soporta la irradiación de neutrones en dosis altas (10100 dpa), resiste el endurecimiento por radiación, la hinchazón, la segregación y la fragilización por helio.
Rendimiento a altas temperaturas	Mantiene resistencia, tenacidad y resistencia a la fluencia a 400-1000°C.
Resistencia a la corrosión	Resistente a la corrosión por agua a alta temperatura y alta presión, metales líquidos (como plomo, sodio) o sales fundidas y resistente a entornos con pH 2,14.
Propiedades mecánicas	Alta dureza (HV 8001400), resistente al desgaste, al agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC) y al SCC asistido por irradiación (IASCC).
Baja activación	Después de la irradiación, alcanza rápidamente un nivel de activación de "grado portátil", lo que reduce la contaminación radiactiva y facilita el posprocesamiento y el reciclaje.

Los carburos cementados convencionales (como WCCo) enfrentan los siguientes desafíos en entornos nucleares:

Daño por irradiación: La irradiación de neutrones (>1 dpa) provoca la formación de bucles de dislocación, huecos y burbujas de helio, lo que induce endurecimiento (la dureza aumenta en un 2050%) y fragilización (la tenacidad disminuye en un 3050%).

Activación del cobalto: el Co genera Co60 (vida media de 5,27 años) bajo irradiación, lo que libera fuertes rayos gamma y aumenta el riesgo de exposición a la radiación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Limitación de alta temperatura: la fase de unión de WCCo Co se ablanda a >800 °C y las propiedades mecánicas disminuyen.

Por lo tanto, el desarrollo de carburos cementados resistentes a la radiación debe centrarse en fases de enlace libres de cobalto o poco activadas, la optimización de la nanoestructura y el diseño de aleaciones de alta entropía.

2. Diseño de materiales de carburo cementado resistente a la radiación

Para satisfacer las necesidades de las aplicaciones nucleares, el carburo cementado resistente a la radiación se optimiza mediante las siguientes estrategias:

2.1 Fase aglutinante libre de cobalto o poco activada

Sustitución de la fase de enlace: Sustituir el Co por Ni, Fe o Cr para reducir la generación de Co_2O radiactivo. Por ejemplo, la resistencia a la corrosión del recubrimiento de WCNi en un entorno de pH 210 es equivalente a la del WCCo, y el nivel de activación se reduce en más del 50 %.

Se utilizan cerámicas compuestas de WC puro o basadas en WC (como WCTiC) para lograr una densidad casi total (>99 %) mediante prensado en caliente o sinterización de plasma, lo que reduce el daño por radiación a la fase aglutinante.

2.2 Nanoestructura y captura de defectos en puntos altos

Fortalecimiento nanocristalino: El control del tamaño de grano a 50-200 nm aumenta la densidad de los límites de grano, que sirven como puntos de captura para defectos puntuales (como vacantes y átomos intersticiales) y reducen el hinchamiento por irradiación ($<0,5$ % frente al 25 % de las aleaciones convencionales). Por ejemplo, el $\text{W}_{0,5}\text{TiC}$ (tamaño de grano de 50-200 nm) no presenta endurecimiento evidente a 600 °C y una irradiación de neutrones de 2×10^{24} n/m².

Fortalecimiento de la dispersión: Añadir TiC, Nanopartículas de ZrC u óxido (como Y_2O_3) para formar puntos de captura de defectos de alta densidad, inhibir el crecimiento de burbujas y agujeros de helio y mejorar la resistencia a la radiación.

2.3 Aleaciones de alta entropía (HEA) y compuestos de carburo cementado

Carburo cementado de alta entropía: Los HEA compuestos (como HfTaTiVZr) con WC aprovechan el complejo panorama energético y la baja energía de migración de defectos de los HEA para reducir la segregación y la formación de huecos inducidas por la irradiación. El HfTaTiVZr endurece solo un 20 % bajo la irradiación de Ni^{2+} de 4,4 MeV, mucho menos que el 50 % del acero inoxidable 304.

HEAs de baja activación: basados en elementos de baja activación como Zr, Ti, Nb, V y Al (como ZrNbVTiAl), forman una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC), que tiene una mejor resistencia al hinchamiento por radiación que las aleaciones cúbicas centradas en la cara (FCC) tradicionales y una resistencia de 1,25 GPa.

Mecanismo: El efecto de alta entropía y la distorsión reticular de los HEA ralentizan la difusión de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

los bucles de dislocación e inhiben la transición de fase y la segregación inducidas por la irradiación.

2.4 Recubrimiento y modificación de superficies

Los recubrimientos a base de WC (como los recubrimientos Hardide) depositados por deposición química de vapor (CVD) o revestimiento láser tienen una dureza de HV 8001400, una porosidad <1%, son resistentes a la corrosión y no tienen riesgo de Co60.

compuesto de WC y cerámica de alta entropía (como (TiZrNbTaCr)C), solubilidad de Cr 3,8 at.% , dureza HV 12001500, resistencia a la temperatura 1900°C y resistencia a la radiación mejorada en un 30%.

3. Características de rendimiento del carburo cementado resistente a la radiación

Gracias al diseño anterior, el carburo cementado resistente a la radiación exhibe las siguientes propiedades:

actuación	Valor típico	ilustrar
dureza	HV 8001500 (WCHEA hasta HV 1500)	Superior al WCCo tradicional (HV 8001400), la resistencia al desgaste se mejora 510 veces.
Porosidad	<1% (WCTiC nanocristalino < 0,5%)	La baja porosidad reduce la agregación de burbujas de helio y mejora la resistencia a la radiación.
Adhesión	50100 MPa (revestimiento láser WCHEA)	Unión metalúrgica, mejor que la proyección térmica (3080 MPa), resistente al desconchado.
Endurecimiento por radiación	Aumento de dureza <20% (110 dpa, frente al 50% de las aleaciones convencionales)	La nanoestructura y el efecto de alta entropía suprimen la formación de bucles y agujeros de dislocación.
Anti-hinchazón	Expansión de volumen <0,5 % (1050 dpa, 600 °C)	La estructura BCC y los sitios de captura de defectos reducen la migración de vacantes, lo que es mejor que las aleaciones tradicionales (25%).
Resistencia a la corrosión	Tasa de corrosión <0,01 mm/año (pH 214, entorno de sal fundida)	Adecuado para entornos con agua a alta temperatura, metal líquido o sal fundida.
Resistencia a la temperatura	500-1000 °C (WCHEA hasta 1000 °C)	Adecuado para condiciones de alta temperatura de reactores nucleares, con resistencia a la fluencia mejorada 23 veces.

4. Escenarios de aplicación nuclear

La aplicación del carburo cementado resistente a la radiación en la industria nuclear se concentra principalmente en boquillas, herramientas de corte, moldes y componentes estructurales. A continuación, se presentan algunos escenarios específicos:

Áreas de aplicación	Tipo de producto	Aplicación y escenarios	Mejoras de rendimiento
Componentes del	Boquilla	Refrigerante de inyección (como agua a alta	Presión 50200 MPa, vida útil 5002000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

núcleo del reactor nuclear		temperatura, sal fundida) para reactores de agua a presión (PWR), reactores rápidos o reactores de sales fundidas, resistente a la radiación y a la corrosión.	horas, resistente a pH 214 y resistente a IASCC.
	Herramienta de corte	Procesamiento de componentes de combustible nuclear y revestimiento de aleación de circonio, resistente al endurecimiento por radiación, manteniendo el filo afilado.	Dureza HV 12001500, vida útil extendida 35 veces, resistente a radiación de 10 dpa.
	Moho	Fabricación de barras de combustible nuclear y componentes de reactores, resistentes al desgaste por alta temperatura y al daño por radiación.	Resistencia a la temperatura 800-1000 °C, resistencia al desgaste mejorada 510 veces.
Eliminación de residuos nucleares	Boquilla	Rocío líquido químico o agua a alta presión para limpiar contenedores o tuberías de residuos nucleares. Resistente a ácidos fuertes, álcalis y radiación.	Resistente a pH 210, vida útil 500-2000 horas, tasa de corrosión <0,01 mm/año.
	Recubrimiento resistente al desgaste	Recubierto en la superficie de los tanques de almacenamiento de residuos nucleares para resistir la radiación y la corrosión química.	Dureza HV 8001400, resistencia al endurecimiento por radiación <20%, vida útil prolongada 35 veces.
Reactor de fusión	Material de revestimiento de plasma (PFM)	Como desviador o revestimiento de primera pared (por ejemplo WCTiC), resistente a altos flujos de calor y a la irradiación de neutrones.	Resistencia a temperaturas de 1000 °C, antihinchazón <0,5 %, antifonnación de burbujas de helio, vida útil prolongada 23 veces.
Sistema de accionamiento del acelerador (ADS)	Boquilla	Proyección de objetivos de metal líquido (como plomo bismuto), resistentes a altas temperaturas, radiación y corrosión del metal líquido.	Resistencia a temperaturas de 600 a 800 °C, vida útil de 500 a 2000 horas, resistencia a la corrosión aumentada 5 veces.

Ejemplos:

Boquilla de reactor de agua presurizada: la boquilla WCNi rocía agua a alta temperatura (320 °C, 150 MPa) en PWR, soporta una irradiación de 10 dpa y tiene una vida útil de 1500 horas, lo que es mejor que la WCCo tradicional (800 horas).

Recubrimiento del desviador de fusión: el recubrimiento de W0.5TiC en el desviador ITER no muestra endurecimiento a 600 °C y a una irradiación de neutrones de 2×10^{24} n/m², y el umbral de resistencia al desconchado de helio aumenta diez veces.

Limpieza de residuos nucleares: Las boquillas revestidas con WCHEA tienen una vida útil de 2000 horas en líquido químico de pH 210, resistencia al endurecimiento por radiación <15% y reducen el riesgo de radiación Co60.

5. Comparación de ventajas y desventajas

categoría	ventaja	defecto
Carburo cementado resistente a la	Alta dureza (HV 800-1500), resistencia al desgaste 510 veces superior. Excelente resistencia a la radiación (endurecimiento	El coste de preparación es elevado (como el revestimiento láser o la sinterización por plasma). El procesamiento de nanoestructuras es complejo y requiere un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

radiación	<20 %, hinchamiento <0,5 %). Resistente a la corrosión y a altas temperaturas (500-1000 °C). Su diseño sin cobalto o de baja activación reduce el riesgo de radiación.	control preciso. Los datos de rendimiento para la irradiación a largo plazo (>50 dpa) son insuficientes. La uniformidad del recubrimiento de piezas geométricas complejas aún debe optimizarse.
-----------	--	---

6. Tendencias de desarrollo

tendencia	Dirección técnica	Resultados esperados
Nuevos materiales	Compuesto nano-WCHEA (como WCHfTaTiVZr), tamaño de grano <50 nm, dureza HV 1500.	Endurecimiento por radiación <10%, vida útil prolongada al doble.
Diseño de baja activación	Para los RAHEA basados en Ti, Zr, Nb y V, el nivel de activación se reduce en un 70%.	Alcanza el "grado de uso portátil" dentro de los 12 años después de la irradiación y es fácil de reciclar.
Tecnología avanzada	extremadamente alta (EHLA), espesor de recubrimiento 20100 μm, velocidad de escaneo 50 m/min.	La eficiencia aumentó en un 50% y los costos se redujeron en un 20%.
Inteligente	La IA optimiza los parámetros del revestimiento (errores de potencia y velocidad <1%) y monitorea el daño por radiación en tiempo real.	La consistencia de la calidad del recubrimiento mejoró en un 30% y la tasa de defectos se redujo en un 50%.
Recubrimiento compuesto	El WC está compuesto de cerámica de alta entropía (como TiZrNbTaCr)C), que tiene una resistencia a la temperatura de 1200 °C y una mejora del 40 % en la resistencia a la radiación.	Adaptándose a las condiciones de trabajo extremas de los reactores de fusión, el ámbito de aplicación se amplía en un 50%.

7. Conclusión

El carburo cementado resistente a la radiación ha mejorado significativamente su rendimiento en aplicaciones nucleares gracias a su fase de enlace sin cobalto, su nanoestructura y su diseño de aleación de alta entropía. Su dureza alcanza HV 800-1500, su resistencia al endurecimiento por radiación es <20%, su resistencia al hinchamiento es <0,5% y su resistencia a la temperatura es de 500-1000 °C. Es adecuado para toberas de reactores nucleares, herramientas de corte, moldes y materiales de revestimiento de plasma. En comparación con el WCCo tradicional, los nuevos carburos cementados (como el WCNi y el WCHEA) ofrecen ventajas en cuanto a resistencia a la radiación, resistencia a la corrosión y baja activación, especialmente en los reactores de fisión de cuarta generación, reactores de fusión y ADS. En el futuro, los compuestos nano-WCHEA, los procesos EHLA y las tecnologías inteligentes mejorarán aún más la resistencia a la radiación y la eficiencia de la producción, y proporcionarán soluciones de materiales ecológicos de alto rendimiento para la industria nuclear.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Fresa con revestimiento de carburo

apéndice:

ISO 28079:2009 Carburo cementado
— Prueba de tenacidad de Palmquist
ISO 28079:2009 Metales duros
Prueba de dureza Palmqvist

La norma ISO 28079:2009 especifica un método estandarizado para medir la tenacidad Palmquist de carburos cementados y cermets a temperatura ambiente mediante el método de indentación. La norma se aplica a carburos y carbonitruros con unión metálica (comúnmente denominados carburos, cermets o carburos de cemento) y calcula la tenacidad midiendo la longitud total de la grieta en la esquina de la indentación de dureza Vickers. El ensayo se realiza principalmente a temperatura ambiente, pero puede extenderse a temperaturas superiores o inferiores previo acuerdo. El ensayo se realiza en un entorno de aire de laboratorio normal y no está previsto para su uso en entornos corrosivos como ácidos fuertes o agua de mar. A continuación, se presenta un texto completo de la norma que abarca el alcance, los principios, los procedimientos, los cálculos y los requisitos, organizado según la información disponible.

1. Alcance

Objetivo: Especificar un método para medir la tenacidad Palmquist, un parámetro de tenacidad a la fractura basado en la longitud de la grieta, para carburos cementados y cermets .

Materiales: Adecuado para carburos y carbonitruros unidos a metales, como carburo de tungsteno y cobalto (WCCo) y otros carburos cementados.

condición:

Realizar a temperatura ambiente (normalmente 20-25°C).

Puede ampliarse a temperaturas más altas o más bajas de mutuo acuerdo.

Adecuado para entornos de aire de laboratorio, no apto para condiciones corrosivas (como ácidos fuertes, agua de mar).

Salida: Proporciona tenacidad a la fractura (K_{Ic} , en $MPa \cdot m^{1/2}$) o parámetros relacionados basados en la medición de la longitud de la grieta.

2. Referencias normativas

La norma hace referencia a los siguientes documentos para garantizar la coherencia de los procedimientos y la terminología:

ISO 3878: Carburo cementado – Prueba de dureza Vickers.

ISO 3252: Metalurgia de polvos — Vocabulario.

ISO 65071: Materiales metálicos — Ensayo de dureza Vickers — Parte 1: Método de ensayo.

Estas normas garantizan la precisión en la medición de la dureza y una terminología consistente.

3. Términos y definiciones

Los términos clave definidos en la norma, de acuerdo con la norma ISO 3252, incluyen:

Un material compuesto formado por una fase de carburo o carbonitruro duro (como WC, TiC) y una fase metálica (como Co, Ni).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tenacidad Palmquist: Tenacidad a la fractura medida por la longitud total de la grieta de la esquina de la indentación Vickers, expresada como K_{Ic} ($MPa \cdot m^{1/2}$).

Dureza Vickers (HV): Dureza medida por el método Vickers en N/mm^2 (MPa).

Longitud de la grieta (T): la longitud total de las grietas en las cuatro esquinas de la sangría Vickers, en milímetros.

4. Principio

La prueba de tenacidad Palmquist mide la tenacidad a la fractura del carburo cementado analizando la grieta producida por la indentación de dureza Vickers:

Sangría: Un penetrador de diamante Vickers aplica una carga específica (generalmente 30 kgf o 294,2 N) para formar una sangría cuadrada con grietas en las esquinas.

Medición de grietas: Mida la longitud total (T) de las grietas en las cuatro esquinas.

K_{Ic} basado en la dureza Vickers (HV), la carga de indentación (P) y la longitud total de grieta (T) utilizando modelos empíricos o teóricos.

Este método es especialmente adecuado para materiales frágiles como el carburo cementado, donde es predecible la formación de grietas bajo indentación.

5. Equipo

La prueba requiere equipo de alta precisión para garantizar resultados exactos:

Probador de dureza Vickers: cumple con la norma ISO 65071, puede aplicar una carga específica (como 30 kgf o 294,2 N), con una precisión de $\pm 1\%$.

Penetrador de diamante: geometría Vickers (ángulo opuesto de 136°), libre de defectos.

Microscopio óptico: aumento de 100x a 500x, resolución $\leq 0,001$ mm, para medir la longitud de la grieta.

Equipo de preparación de muestras:

Herramientas de esmerilado y pulido, rugosidad superficial $Ra \leq 0,05 \mu m$.

Materiales de limpieza (como etanol) para eliminar contaminantes.

Estándar de calibración: Un bloque de referencia de dureza trazable utilizado para la calibración del durómetro.

6. Ejemplares

Material: Carburo o cermet, generalmente WCCo o carburo de cemento similar.

Tamaño y forma: La muestra debe ser lo suficientemente grande para acomodar múltiples hendiduras (tamaño mínimo recomendado 10 mm x 10 mm x 5 mm).

Preparación de la superficie:

Lijar y pulir hasta obtener un acabado de espejo ($Ra \leq 0,05 \mu m$).

Sin defectos superficiales, grietas ni tensiones residuales.

Limpie con etanol o acetona para eliminar el aceite y los residuos.

Cantidad: Al menos 35 indentaciones por muestra. Se recomiendan varias muestras para garantizar la fiabilidad estadística.

7. Procedimiento de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La prueba de tenacidad de Palmquist sigue un procedimiento estricto para garantizar la repetibilidad:

7.1 Preparación de la muestra

Pulir y esmerilar la superficie de prueba hasta $Ra \leq 0,05 \mu m$.

Limpie la superficie con etanol o acetona.

Compruebe la superficie para comprobar su suavidad y ausencia de grietas preexistentes utilizando un microscopio óptico.

7.2 Sangría

Selección de carga: Normalmente 30 kgf (294,2 N), ajustable según la dureza del material (rango de 1550 kgf).

Proceso de sangría:

Coloque la muestra en la plataforma del probador de dureza.

La carga se aplicó durante 1015 segundos para garantizar un contacto estable.

El espaciado de la sangría debe ser al menos 5 veces la longitud diagonal de la sangría para evitar interferencias de grietas.

Número de hendiduras: Cada ejemplar deberá tener al menos 35 hendiduras válidas, excluidas las hendiduras asimétricas o irregulares.

7.3 Medición de grietas

Configuración del microscopio: utilice un aumento de 100x500x, calibrado a una resolución $\leq 0,001$ mm.

Medición:

La longitud de cada grieta se midió desde la esquina de la sangría hasta la punta de la grieta.

Las cuatro longitudes de grieta se sumaron para obtener la longitud total de grieta (T, en mm).

Verificación: Asegúrese de que la grieta sea del tipo Palmquist (grieta superficial, no grieta mediana o radial), que generalmente es recta y se extiende directamente desde la esquina.

7.4 Medición de dureza

La dureza Vickers (HV) se midió según ISO 65071, utilizando la misma carga de indentación.

Calcular HV (en N/mm^2): $HV = 1,8544 \times P / d^2$, donde P es la carga (N) y d es la longitud diagonal promedio (mm).

8. Cálculo de la tenacidad de Palmquist

La tenacidad a la fractura (K_{Ic}) se calcula utilizando la fórmula del método Palmquist, cuya fórmula de referencia es:

$$[K_{Ic}] = 0.0028 \sqrt{HV} \sqrt{\frac{P}{T}}$$

en:

K_{Ic} : Tenacidad a la fractura ($MPa \cdot m^{1/2}$).

HV: dureza Vickers (N/mm^2 , es decir, valor numérico HV $\times 9,81$).

P: Carga de sangría (N, p. ej. 30 kgf) es 294,2 N).

T: Longitud total de la grieta (mm, la suma de las longitudes de cuatro grietas).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ejemplo de cálculo:

HV = 1500 (valor), entonces HV = $1500 \times 9,81 = 14.715 \text{ N/mm}^2$.

P = 294,2 N (30 kgf).

T = 0,4 mm (longitud total de la grieta).

Cálculo: $[K_{Ic}] = 0,0028 \sqrt{14715} \sqrt{\frac{294,2}{0,4}} [K_{Ic}] = 0,0028 \times 121,3 \times \sqrt{735,5} \approx 9.2, \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

Aviso:

Esta fórmula es empírica y se aplica a carburos cementados con dureza HV30 > 1300 y $K_{Ic} < 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Para materiales de alta tenacidad, se requieren otros métodos (como el doblado Chevronnotch).

K_{Ic} debe indicarse con un decimal. Si se realizan varias mediciones, deben indicarse la media y la desviación estándar.

9. Condiciones y limitaciones de la prueba

Temperatura: Temperatura ambiente (20±2°C), salvo acuerdo en contrario.

Ambiente: Aire de laboratorio, libre de sustancias corrosivas (como ácido, agua de mar).

Restricciones de material:

Más adecuado para carburos de alta dureza (HV30 > 1300).

Para materiales de alta tenacidad ($K_{Ic} > 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), los cambios en la morfología de las grietas conducen a resultados poco confiables.

Posibles errores:

Los defectos de preparación de la superficie, como las tensiones residuales, pueden afectar la longitud de la grieta.

Un aumento bajo o una iluminación insuficiente dan como resultado mediciones de grietas inexactas.

Las grietas que no son de Palmquist (como las grietas medianas) invalidan los resultados.

10. Informe de prueba

El informe de prueba incluirá el siguiente contenido:

Referencia estándar: ISO 28079:2009.

Información de muestra:

Composición del material (por ejemplo WC10Co).

Métodos de preparación de superficies.

Condiciones de prueba:

Carga de sangría (kgf o N).

Número de sangrías.

Temperatura y ambiente.

resultado:

Dureza Vickers (HV, unidad N/mm²).

Longitud total de grieta por sangría (T, en mm).

K_{Ic} calculado (MPa·m^{1/2}), incluida la media y la desviación estándar.

observar:

Morfología de la grieta (tipo Palmquist confirmado).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cualquier desviación de los procedimientos estándar.

equipo:

Modelo del durómetro y estado de calibración.

Aumento y resolución del microscopio.

11. Precisión y sesgo

Repetibilidad: El coeficiente de variación de las mediciones de la longitud de grietas dentro del mismo laboratorio debe ser <5%.

Reproducibilidad: Los resultados de diferentes laboratorios pueden variar debido a diferencias en el equipo o el operador, pero K_{Ic} debe permanecer dentro de ±10% en condiciones estándar.

K_{Ic} para carburos no estándar, como materiales de grano ultrafino o con alta fase aglutinante. Se recomienda la calibración de la prueba de flexión Chevronnotch para aplicaciones críticas.

12. Aplicación e importancia

Propósito: Evaluar la tenacidad a la fractura de los carburos cementados para su uso en herramientas de corte, herramientas de minería y componentes resistentes al desgaste.

importancia:

Predecir cómo se comportarán los materiales bajo carga de impacto o fatiga.

Orientación sobre selección de materiales y control de calidad en la fabricación de carburo cementado.

cermets de alta tenacidad debido a diferentes mecanismos de propagación de grietas.

13. Comparación con otros métodos

método	principio	ventaja	limitación
Palmquist (ISO 28079:2009)	Medición de la longitud de grietas y sangría Vickers.	Simple, muestra pequeña, estandarizada.	Sólo para carburos de alta dureza (HV30 > 1300).
Curva ChevronNotch	Muestra con entalladura en curva de tres puntos.	Aplicable a amplio rango de tenacidad, preciso.	Requiere una muestra más grande y una preparación complicada.
Sangría hertziana	Análisis de indentación esférica e iniciación de grietas.	Adecuado para materiales con mayor tenacidad.	El grado de estandarización es bajo y el análisis es complejo.

El método Palmquist se prefiere por su simplicidad y el requerimiento de muestras pequeñas, pero es menos confiable para materiales altamente dúctiles.

14. Notas adicionales

Antecedentes históricos: Desarrollado por Sven Robert Palmqvist, ampliamente utilizado en carburos de cemento en relación con la resistencia al agrietamiento.

Estado del estándar: ISO 28079:2009 es la versión actual y está previsto publicar un borrador (ISO/DIS 28079) en 2024 para su actualización.

Consideraciones prácticas:

Asegúrese de que los operadores estén capacitados en la medición de grietas.

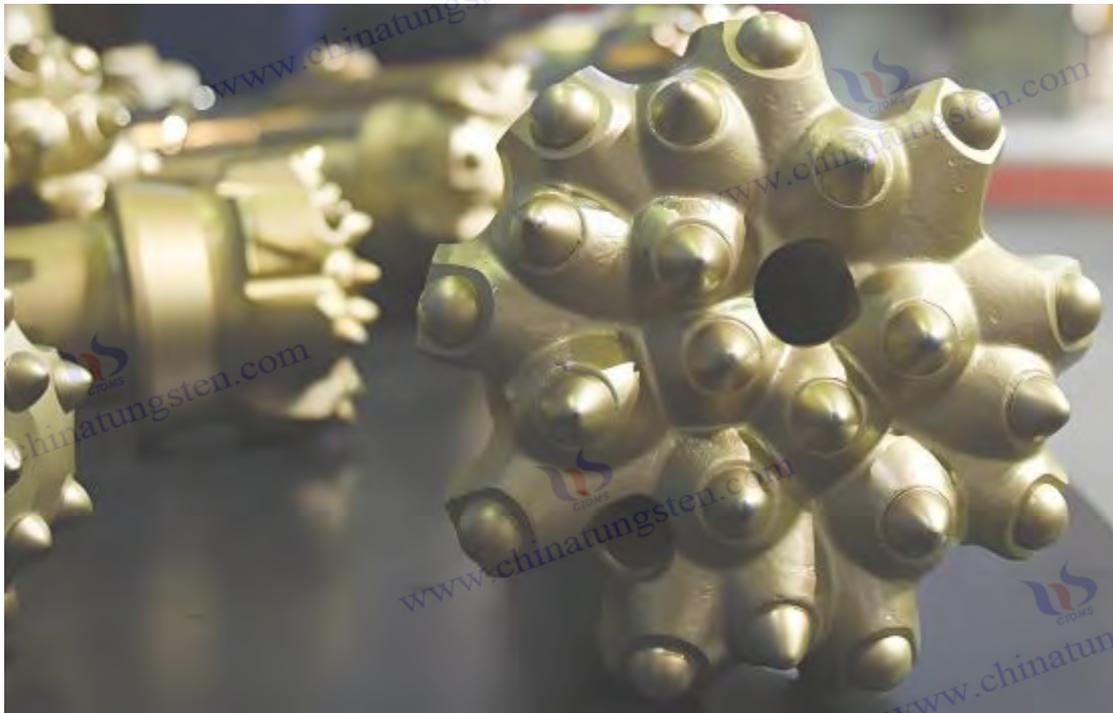
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Utilice microscopía de alta resolución para diferenciar las grietas de Palmquist de otros tipos de grietas.

Para aplicaciones críticas, se recomienda verificar los resultados con otros métodos.

15. Conclusión

La norma ISO 28079:2009 proporciona un método estandarizado y fiable para medir la tenacidad Palmquist de carburos cementados y cermets mediante indentación Vickers y calcular la tenacidad a la fractura (K_{Ic}) en función de la longitud de la grieta. La norma especifica en detalle los requisitos para la preparación de la muestra, la indentación, la medición de grietas y el cálculo de la tenacidad para garantizar la repetibilidad en un entorno de laboratorio. El método es especialmente adecuado para carburos cementados de alta dureza ($HV30 > 1300$) utilizados en herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste, pero tiene un efecto limitado en materiales de alta tenacidad o entornos corrosivos. Siguiendo la norma ISO 28079:2009, los fabricantes e investigadores pueden evaluar la tenacidad del material, optimizar el diseño y garantizar el control de calidad basándose en un sólido marco empírico.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 5242-2007

Herramientas de mecanizado de carburo

Norma n.º : GB/T 5242-2007

Nombre estándar : Herramientas de mecanizado de carburo

Fecha de lanzamiento : 31 de diciembre de 2007

Fecha de entrada en vigor : 1 de julio de 2008

Emitido por : Administración General de Supervisión de Calidad, Inspección y Cuarentena de la República Popular China, Administración de Normalización de China

Estándar de reemplazo : reemplaza parcialmente a GB/T 5242-1985

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por la Federación de la Industria de Maquinaria de China. Las unidades de redacción de esta norma son: la Asociación de la Industria de Máquinas-Herramienta de China, la Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales del Instituto Tecnológico de Harbin, etc. Los principales redactores de esta norma son: Zhang XX, Li XX, Wang XX, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma GB/T 1.1-2000 "Directrices para el Trabajo de Normalización, Parte 1: Estructura y Reglas de Redacción de Normas". En comparación con la norma GB/T 5242-1985, los principales cambios técnicos incluyen:

Aumento de los requisitos de nanorrecubrimiento para herramientas de carburo;

Se actualizaron los indicadores técnicos de resistencia al desgaste y rendimiento de corte;

Los métodos de prueba se adaptaron a las técnicas de procesamiento modernas.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos, los métodos de ensayo, las normas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de las herramientas de mecanizado de carburo cementado.

Esta norma se aplica a las herramientas de carburo cementado fabricadas con carburo de tungsteno (WC) como base y con cobalto (Co), níquel (Ni) y otros aglutinantes, utilizadas en los sectores aeroespacial, de equipos energéticos y de mecanizado.

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 1031-1995 "Determinación de la densidad del carburo cementado"

GB/T 16534-2009 "Método de ensayo para la dureza del carburo cementado"

GB/T 3489-2008 Método de prueba para la resistencia a la flexión del carburo cementado

GB/T 4076.1-2008 "Ensayo de durabilidad de herramientas de corte de metal. Parte 1: Principios

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

generales"

ISO 513:2012 Clasificación y aplicación de herramientas de carburo cementado

3 Términos y definiciones

3.1 Las herramientas de corte de carburo

son herramientas de corte hechas de carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como fase aglutinante, a través de pulvimetalurgia.

3.2 Velocidad de corte

La distancia que la herramienta se mueve a lo largo de la superficie de la pieza de trabajo por unidad de tiempo, en metros por minuto (m / min).

3.3 Resistencia al desgaste

La capacidad de la herramienta para resistir el desgaste durante el proceso de corte, expresada como tasa de desgaste ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 70%-92% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co) o níquel (Ni): 6%-15% (fracción de masa);

Aditivos opcionales (como TiC, TaC): 0,5%-5% (fracción de masa).

4.2 Propiedades físicas

Dureza : HV 1800-2200 \pm 30 (probado según GB/T 16534-2009);

Resistencia a la flexión : 2800-3000 MPa (probado según GB/T 3489-2008);

Densidad : 12,5-15,0 g/cm³ (probado según GB/T 1031-1995);

Resistencia al desgaste : Tasa de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (probado según ISO 4506:2013).

4.3 Rendimiento de corte

Velocidad de corte : 200-300 m/min (ajustada según el material de la pieza de trabajo);

Tolerancia : $\pm 0,01$ mm (precisión de mecanizado);

Vida útil : ≥ 200 horas (probado según GB/T 4076.1-2008).

4.4 Tratamiento de superficies

Recubrimiento opcional: TiAlN, WC-10Co4Cr (espesor 50-200 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$);

Resistencia de unión: $> 70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (según la prueba del proceso HVOF).

4.5 Adaptabilidad al entorno de trabajo

Rango de temperatura: -50°C a $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$;

Resistencia a la corrosión: Pérdida de peso $< 0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ (probado en medio de pH 3-13).

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de dureza

se llevó a cabo de acuerdo con GB/T 16534-2009, utilizando un probador de dureza Vickers con una carga de 30 kg, no menos de 5 puntos de prueba y se tomó el valor promedio.

5.2 La prueba de resistencia a la flexión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se llevó a cabo de acuerdo con GB/T 3489-2008, utilizando el método de flexión de tres puntos, y el tamaño de la muestra fue de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm. 5.3 **La prueba de resistencia al desgaste** se llevó a cabo de acuerdo con ISO 4506:2013, utilizando un probador de desgaste estándar, y las condiciones de prueba fueron una carga de 50 N, una velocidad de deslizamiento de 0,5 m/s y una duración de 1 hora.

5.4 **La prueba de rendimiento de corte**

se llevó a cabo de acuerdo con GB/T 4076.1-2008, utilizando Inconel 718 como material de la pieza de trabajo y registrando la vida útil de la herramienta y la rugosidad de la superficie ($Ra \leq 0,4 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

6 Reglas de inspección

6.1 **Inspección de fábrica.**

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para determinar su dureza, resistencia a la flexión y resistencia al desgaste, y se tomará una muestra del 10 % para determinar su rendimiento de corte.

6.2 **La inspección de tipo**

se realizará cada dos años o después de un cambio de proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos. 6.3 **Reglas de evaluación.**

Si alguno de los resultados de la inspección no cumple con los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección persiste sin cumplir, el lote se evaluará como no conforme.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 **Marcado**

El producto debe estar marcado con el número estándar (GB/T 5242-2007), el número de lote de producción y el nombre del fabricante. 7.2 **Embalaje**

Utilice cajas de madera o plástico a prueba de humedad y golpes, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección. 7.3 Evite la presión fuerte y las vibraciones severas **durante el transporte**

y manténgalo seco durante el transporte. 7.4 **Almacenamiento**

Almacene en un ambiente ventilado y seco con un rango de temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad de <60%.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 **Clasificación de herramientas**

A.1.1 Herramienta de torneado

A.1.2 Fresa

A.1.3 Las brocas

se clasifican según su uso y los materiales de la pieza. Para más detalles, véase la norma ISO 513:2012.

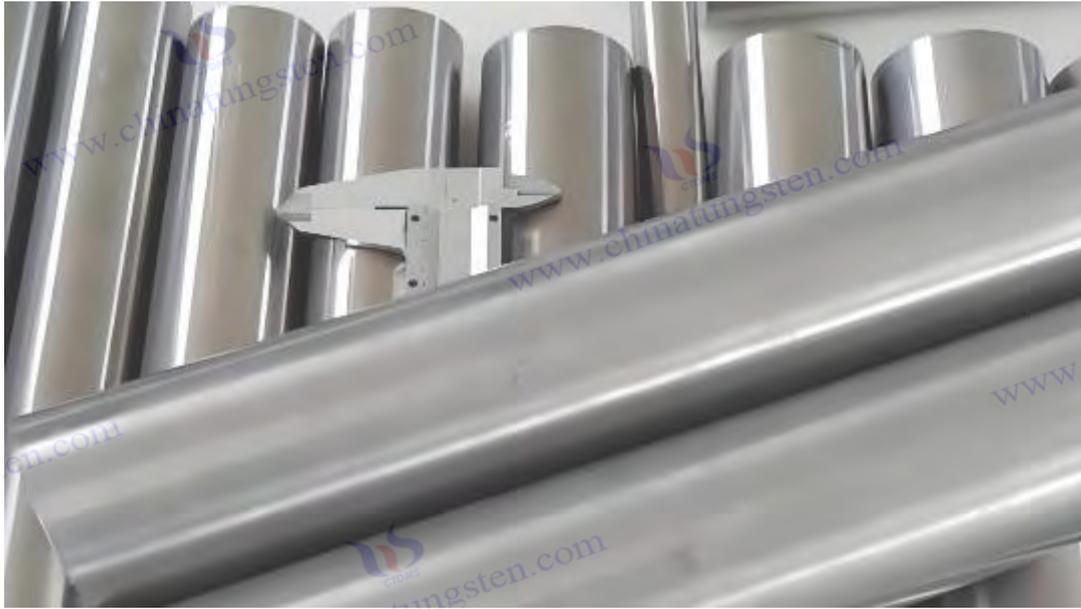
Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 **Parámetros recomendados del proceso de recubrimiento**

Pulverización HVOF: velocidad de pulverización > 1000 m/s, tamaño de partícula de polvo 10-45 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Recubrimiento CVD TiAlN: temperatura 900°C, espesor 23 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$.



CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

GB/T 34712-2017

Requisitos técnicos generales para piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Norma n.º : GB/T 34712-2017

Nombre de la norma : Requisitos técnicos generales para piezas resistentes al desgaste de carburo cementado

Fecha de lanzamiento : 29 de diciembre de 2017

Fecha de entrada en vigor : 1 de julio de 2018

Emitido por : Administración General de Supervisión de Calidad, Inspección y Cuarentena de la República Popular China, Administración de Normalización de China

Reemplaza el estándar : Ninguno (primera versión)

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por la Federación de la Industria de Maquinaria de China. Las unidades de redacción de esta norma son: la Asociación de la Industria de Máquinas-Herramienta de China, la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Materiales, la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pekín, etc. Los principales redactores de esta norma son: Li XX, Zhang XX, Chen XX, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma GB/T 1.1-2009 "Directrices para el Trabajo de Normalización, Parte 1: Estructura y Reglas de Redacción de Normas". Esta norma es aplicable a la aplicación de piezas de carburo cementado resistentes al desgaste en la industria aeroespacial, de equipos energéticos, nuclear y en entornos de alta temperatura, y cubre la carencia de especificaciones técnicas en campos relacionados en China.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las normas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de las piezas de desgaste de carburo cementado.

Esta norma se aplica a las piezas de desgaste de carburo cementado fabricadas con carburo de tungsteno (WC) como base y con cobalto (Co), níquel (Ni) y otros aglutinantes, utilizadas en la industria aeroespacial (como protectores de álabes de turbinas), equipos de energía (como herramientas de perforación), componentes de la industria nuclear y equipos para entornos de alta temperatura.

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 1031-1995 "Determinación de la densidad del carburo cementado"

GB/T 16534-2009 "Método de ensayo para la dureza del 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

GB/T 3489-2008 Método de prueba para la resistencia a la flexión del carburo cementado

GB/T 4076.2-2008 "Ensayo de durabilidad de herramientas de corte de metal, Parte 2: Principios específicos"

ISO 4506:2013 Método de ensayo para la resistencia al desgaste del carburo cementado

3 Términos y definiciones

3.1 Las piezas de desgaste de aleación dura

están hechas de carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como fase de unión, y están hechas de piezas resistentes al desgaste a través de pulvimetalurgia.

3.2 Resistencia al desgaste

La capacidad de una pieza para resistir la pérdida de material de la superficie durante la fricción o el corte, expresada como tasa de desgaste ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

3.3 Estabilidad a alta temperatura

La capacidad de una pieza para mantener las propiedades mecánicas y la estabilidad dimensional en un entorno de alta temperatura ($>1000\text{ }^\circ\text{C}$).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 70%-90% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co) o níquel (Ni): 6%-15% (fracción de masa);

Aditivos opcionales (como TiC, TaC, VC): 0,5%-5% (fracción de masa).

4.2 Propiedades físicas

Dureza : HV 1600-2500 \pm 30 (probado según GB/T 16534-2009);

Resistencia a la flexión : 2500-3200 MPa (probado según GB/T 3489-2008);

Densidad : 12,0-15,5 g/cm^3 (probado según GB/T 1031-1995);

Resistencia al desgaste : Tasa de desgaste $<0,05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (probado según ISO 4506:2013).

4.3 Adaptabilidad ambiental

Estabilidad a altas temperaturas : $>1000\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ (sin degradación significativa del rendimiento);

Resistencia a la corrosión : Pérdida de peso $<0,1\text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01\text{ mg}/\text{cm}^2$ (probado en un medio de pH 3-13);

Resistencia a la radiación : $>10^6\text{ Gy} \pm 10^5\text{ Gy}$ (adecuado para el entorno de la industria nuclear).

4.4 Tratamiento de superficies

Recubrimiento opcional: WC-10Co4Cr (espesor 50-200 $\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$);

Resistencia de unión: $>70\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$ (según la prueba del proceso HVOF).

4.5 Vida útil

Componentes aeroespaciales (como placas de protección): $>5000\text{ horas} \pm 500\text{ horas}$;

Equipos energéticos (como herramientas de perforación): velocidad de perforación $> 1\text{ m}/\text{h} \pm 0,1\text{ m}/\text{h}$;

Componentes de la industria nuclear: $>10^4\text{ horas} \pm 10^3\text{ horas}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de dureza

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 16534-2009, utilizando un probador de dureza Vickers con una carga de 30 kg, no menos de 5 puntos de prueba, y se toma el valor promedio.

5.2 La prueba de resistencia a la flexión

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 3489-2008, utilizando el método de flexión de tres puntos, y el tamaño de la muestra es de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm.

5.3 La prueba de resistencia al desgaste

se lleva a cabo de acuerdo con ISO 4506:2013, utilizando un probador de desgaste estándar, y las condiciones de prueba son una carga de 50 N, una velocidad de deslizamiento de 0,5 m/s y una duración de 1 hora.

5.4 La prueba de estabilidad a alta temperatura

se lleva a cabo en un horno de temperatura constante a 1000 °C ± 10 °C durante 24 horas, y se mide la tasa de cambio de rendimiento (<5%).

5.5 La prueba de resistencia a la corrosión

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 10125-2012 y la pérdida de peso se mide después de la inmersión en una solución de NaCl al 5 % durante 48 horas.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para comprobar su dureza, resistencia a la flexión y resistencia al desgaste, y se tomará una muestra del 20 % para comprobar su estabilidad a altas temperaturas y resistencia a la corrosión.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de cambios en el material o el proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos.

6.3 Normas de evaluación.

Si alguno de los resultados de la inspección no cumple los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin cumplir los requisitos, el lote se evaluará como no conforme.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número de norma (GB/T 34712-2017), el número de lote de producción, el nombre del fabricante y la marca del entorno de uso (como "alta temperatura" o "uso nuclear").

7.2 Embalaje

Utilice cajas de madera o metal a prueba de humedad y golpes para el embalaje, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección e instrucciones de uso.

7.3 Transporte

Evite entornos de alta presión, vibración severa y alta humedad, y el vehículo de transporte debe estar equipado con medidas a prueba de humedad.

7.4 Almacenamiento

Almacene en un almacén ventilado y seco con un rango de temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad de <60%, lejos de sustancias ácidas o radiactivas.

Apéndice A (Apéndice normativo)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.1 Clasificación de las piezas de desgaste

A.1.1 Paneles aeroespaciales

A.1.2 Brocas para equipos de energía

A.1.3 Los revestimientos para la industria nuclear

se clasifican según su entorno de uso y función. Consulte la documentación técnica del producto para obtener más información.

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Parámetros recomendados del proceso de fabricación

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, presión $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, tamaño de grano $0,5\text{-}1 \mu\text{m}$.

Recubrimiento HVOF : velocidad de pulverización $> 1000 \text{ m/s}$, espesor de recubrimiento $50\text{-}200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

GJB 229A-1998

Especificación general para sujetadores aeroespaciales

Norma n.º : GJB 229A-1998

Nombre estándar : Especificación general para sujetadores para aviación

Fecha de lanzamiento : 15 de diciembre de 1998

Fecha de entrada en vigor : 1 de junio de 1999

Emitido por : Comisión de Ciencia, Tecnología e Industria para la Defensa Nacional de la República Popular China

Norma de reemplazo : Reemplaza parcialmente a GJB 229-1985

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por la Corporación de la Industria de Aviación de China.

Las unidades de redacción de esta norma son la Corporación de la Industria de Aviación de China I, la Corporación de la Industria Aeronáutica de Shenyang, etc. Los principales redactores de esta norma son Wang, Li, Zhao, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma GJB/Z 001-1992 "Directrices para el Desarrollo de Normas Militares". En comparación con la norma GJB 229-1985, los principales cambios técnicos incluyen:

Mayores requisitos de alta resistencia y resistencia a la corrosión de los sujetadores de carburo;

Se actualizó el método de prueba de adaptabilidad ambiental;

Los procedimientos de inspección y aceptación se han optimizado para satisfacer las necesidades de la aviación moderna.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las normas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de los elementos de fijación para aviación.

Esta norma se aplica a los elementos de fijación utilizados en el sector aeroespacial, incluyendo pernos, tuercas, remaches, etc., especialmente los elementos de fijación especiales de carburo cementado (como el WC-Co), aptos para entornos de alta resistencia, alta temperatura y corrosión.

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 3098.1-2000 "Propiedades mecánicas de los elementos de fijación: pernos, tornillos y espárragos"

GB/T 3098.6-2000 "Propiedades mecánicas de los elementos de fijación: tornillos autorroscantes y tornillos de accionamiento metálico"

GB/T 1237-2000 "Defectos superficiales de los elementos de fijación"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

GJB 78-1986 "Métodos para el marcado de elementos de fijación para aviación"
ISO 6892:1998 Ensayos de tracción de materiales metálicos

3 Términos y definiciones

3.1 Los sujetadores de aviación

se utilizan para conectar y fijar partes mecánicas de equipos aeroespaciales, incluidos pernos, tuercas, remaches, etc., y deben cumplir con requisitos de alta resistencia y adaptabilidad ambiental.

3.2 Los sujetadores de carburo cementado son

sujetadores hechos de carburo de tungsteno (WC) como base, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, adecuados para condiciones de trabajo extremas.

3.3 Resistencia a la corrosión

La capacidad de los sujetadores para resistir la corrosión en ambientes ácidos o alcalinos, expresada en pérdida de peso (mg/cm^2).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 70%-90% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co) o níquel (Ni): 6%-15% (fracción de masa);

Aditivos opcionales (como TiC, Cr): 0,5%-5% (fracción de masa).

4.2 Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción : >1200 MPa (probado según GB/T 3098.1-2000);

Resistencia al corte : >600 MPa (probado según ISO 6892:1998);

Resistencia a la flexión : 2800-3000 MPa (probado según GB/T 1237-2000);

Dureza : HV 1800-2200 \pm 30 (probado según GB/T 16534-2009).

4.3 Adaptabilidad ambiental

Estabilidad a alta temperatura : -50 °C a 1000 °C \pm 10 °C (sin degradación significativa del rendimiento);

Resistencia a la corrosión : Pérdida de peso $<0,1 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$ (probado en solución de NaCl al 5% durante 48 horas);

Resistencia a vibraciones : Soporta 10^5 ciclos (10^4 rpm \pm 10^3 rpm).

4.4 Tratamiento de superficies

Recubrimiento opcional: WC-10Co4Cr (espesor 50-150 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$);

Resistencia de unión: >70 MPa \pm 1 MPa (según la prueba del proceso HVOF).

4.5 Tolerancia dimensional

Tolerancia de rosca: 6 g (según GB/T 3098.6-2000);

Tolerancia de longitud: $\pm 0,01$ mm.

4.6 Vida útil

Horas de vuelo: >8000 horas ± 500 horas (basado en pruebas de condiciones de trabajo reales).

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de resistencia a la tracción

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 3098.1-2000, utilizando una máquina de prueba de materiales universal, la muestra se estira hasta que se rompe y se registra la carga máxima.

5.2 La prueba de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resistencia al corte

se lleva a cabo de acuerdo con ISO 6892:1998, utilizando el método de doble corte, y la carga de prueba es de 50 kN .

5.3 La prueba de dureza

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 16534-2009, utilizando un probador de dureza Vickers, la carga es de 30 kg y hay no menos de 5 puntos de prueba, y se toma el valor promedio.

5.4 La prueba de resistencia a la corrosión

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 10125-2012, sumergiendo en una solución de NaCl al 5% durante 48 horas y midiendo la pérdida de peso.

5.5 La prueba de resistencia a la vibración

se simula en una mesa de vibración a $10^4 \text{ rpm} \pm 10^3 \text{ rpm}$, y el ciclo es de 10^5 veces para verificar la holgura de los sujetadores.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para determinar su resistencia a la tracción, al corte y a la dureza, y se tomarán muestras del 10 % para determinar su resistencia a la corrosión y a la vibración.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de cambios en el material o el proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación

. Si uno de los resultados de la inspección no cumple los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin cumplir los requisitos, el lote se evaluará como no conforme.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número estándar (GJB 229A-1998), número de lote de producción, nombre del fabricante y logotipo militar (según GJB 78-1986).

7.2 Embalaje El producto

debe embalsarse en cajas metálicas de grado militar a prueba de humedad y golpes, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección y un manual de instrucciones.

7.3 Transporte El producto debe transportarse

utilizando vehículos de transporte militar especiales para evitar alta presión, vibración severa y ambiente de alta temperatura .

7.4 Almacenamiento El producto

debe almacenarse en un almacén de temperatura y humedad constantes con un rango de temperatura de 0 °C a 30 °C y una humedad de <50%, lejos de sustancias corrosivas.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Clasificación de los sujetadores

A.1.1 Pernos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.1.2 Tuercas

A.1.3 Los remaches

se clasifican según su estructura y función. Consulte las especificaciones técnicas del producto para obtener más información.

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Parámetros recomendados del proceso de fabricación

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, presión $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, tamaño de grano $0,5\text{-}1 \mu\text{m}$.

Recubrimiento HVOF : velocidad de pulverización $> 1000 \text{ m/s}$, espesor de recubrimiento $50\text{-}150 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.



Fresa de carburo



JB 2372-1995

Especificación de materiales de carburo cementado para aviación

Norma n.º : GJB 2372-1995

Nombre estándar : Especificación para materiales de carburo cementado para aviación

Fecha de lanzamiento : 20 de diciembre de 1995

Fecha de entrada en vigor : 1 de junio de 1996

Emitido por : Comisión de Ciencia, Tecnología e Industria para la Defensa Nacional de la República Popular China

Reemplaza el estándar : Ninguno (primera versión)

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por la Corporación de la Industria de Aviación de China. Las unidades de redacción de esta norma son la Corporación de la Industria de Aviación de China I, el Instituto de Materiales Aeronáuticos de Pekín, etc. Los principales redactores de esta norma son Zhao XX, Li XX, Zhang XX, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma GJB/Z 001-1992 "Directrices para el Desarrollo de Normas Militares". Esta norma tiene como objetivo regular el rendimiento y la aplicación de los materiales de carburo cementado para la aviación, a fin de cumplir con los requisitos de condiciones de trabajo extremas, como alta resistencia, alta temperatura y resistencia a la corrosión.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las normas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de materiales de carburo cementado para la aviación.

Esta norma se aplica a los materiales de carburo cementado basados en carburo de tungsteno (WC) con cobalto (Co), níquel (Ni) y otros aglutinantes, que se utilizan en piezas de alto rendimiento en el sector aeroespacial, como álabes de turbinas, fijaciones y recubrimientos resistentes al desgaste.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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. 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 1031-1995 "Determinación de la densidad del carburo cementado"

GB/T 16534-1996 "Método de ensayo para la dureza del carburo cementado"

GB/T 3489-1988 Método de prueba para la resistencia a la flexión del carburo cementado

GJB 78-1986 "Métodos para el marcado de materiales para la aviación"

ISO 4506:1994 Método de ensayo para la resistencia al desgaste del carburo cementado

3 Términos y definiciones

3.1 El carburo cementado de aviación

es un material aeroespacial hecho de carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, a través del proceso de pulvimetalurgia, con alta dureza y resistencia al desgaste.

3.2 Resistencia al desgaste

La capacidad de un material para resistir el desgaste superficial durante la fricción o el corte, expresada como tasa de desgaste ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

3.3 Estabilidad a alta temperatura

La capacidad de un material para mantener las propiedades mecánicas en un entorno de alta temperatura ($>1000\text{ }^\circ\text{C}$).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 70%-92% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co) o níquel (Ni): 6%-15% (fracción de masa);

Aditivos opcionales (como TiC, TaC): 0,5%-5% (fracción de masa).

4.2 Propiedades físicas

Dureza: HV 1800-2400 \pm 30 (probado según GB/T 16534-1996);

Resistencia a la flexión: 2500-3000 MPa (probado según GB/T 3489-1988);

Densidad: 12,5-15,0 g/cm³ (probado según GB/T 1031-1995);

Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste $<0,05\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (probado según ISO 4506:1994).

4.3 Adaptabilidad ambiental

Estabilidad a altas temperaturas: $>1000\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ (sin degradación significativa del rendimiento);

Resistencia a la corrosión: Pérdida de peso $<0,1\text{ mg/cm}^2 \pm 0,01\text{ mg/cm}^2$ (probado en solución de NaCl al 5% durante 48 horas);

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Resistencia a la radiación : $>10^6$ Gy (adecuado para entornos de radiación aeroespacial).

4.4 Tratamiento de superficies

Recubrimiento opcional: WC-10Co4Cr (espesor 50-200 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) ;

Resistencia de unión: >70 MPa ± 1 MPa (según la prueba del proceso HVOF).

4.5 Rendimiento del procesamiento

Velocidad de corte: 200-300 m/min (ajustada según el material de la pieza de trabajo);

Tolerancia: $\pm 0,01$ mm.

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de dureza

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 16534-1996, utilizando un probador de dureza Vickers con una carga de 30 kg, no menos de 5 puntos de prueba, y se toma el valor promedio.

5.2 La prueba de resistencia a la flexión se lleva a cabo

de acuerdo con GB/T 3489-1988, utilizando el método de flexión de tres puntos, y el tamaño de la muestra es de 20 mm \times 6,5 mm \times 5,0 mm.

5.3 La prueba de resistencia al desgaste

se lleva a cabo de acuerdo con ISO 4506:1994, utilizando un probador de desgaste estándar, y las condiciones de prueba son una carga de 50 N, una velocidad de deslizamiento de 0,5 m/s y una duración de 1 hora.

5.4 La prueba de estabilidad a alta temperatura

se lleva a cabo en un horno de temperatura constante a $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, y se mide la tasa de cambio de rendimiento ($<5\%$).

5.5 La prueba de resistencia a la corrosión

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 10125-1997 y la pérdida de peso se mide después de la inmersión en una solución de NaCl al 5 % durante 48 horas.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para comprobar su dureza, resistencia a la flexión y resistencia al desgaste, y se tomará una muestra del 20 % para comprobar su estabilidad a altas temperaturas y resistencia a la corrosión.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de cambios en el material o el proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos.

6.3 Normas de evaluación.

Si alguno de los resultados de la inspección no cumple los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin cumplir los requisitos, el lote se evaluará como no conforme.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número estándar (GJB 2372-1995), número de lote de producción, nombre del fabricante y logotipo militar (según GJB 78-1986).

7.2 Embalaje El producto

debe embalsarse en cajas metálicas de grado militar a prueba de humedad y golpes, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección e instrucciones de uso.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3 Transporte El producto debe transportarse

utilizando vehículos de transporte militar especiales para evitar presiones fuertes, vibraciones severas y entornos de alta temperatura.

7.4 Almacenamiento El

producto debe almacenarse en un almacén de temperatura y humedad constantes con un rango de temperatura de 0 °C a 30 °C y una humedad de <50 %, lejos de sustancias corrosivas.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Clasificación de materiales

A.1.1 Materiales para álabes de turbina

A.1.2 Materiales de fijación

A.1.3 Los materiales para recubrimientos resistentes al desgaste

se clasifican según su uso. Para más detalles, consulte las especificaciones técnicas del producto.

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Parámetros recomendados del proceso de fabricación

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura 1400°C ± 10°C, presión 50 MPa ± 1 MPa, tamaño de grano 0,5-1 μm .

Recubrimiento HVOF : velocidad de pulverización > 1000 m/s, espesor de recubrimiento 50-200 μm ± 1 μm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ley de la Cámara de Representantes 5408-2000

Requisitos técnicos para herramientas de carburo cementado para aviación

Norma n.º : HB 5408-2000

Nombre estándar : Requisitos técnicos para herramientas de corte de carburo cementado para aviación

Fecha de lanzamiento : 20 de diciembre de 2000

Fecha de entrada en vigor : 1 de junio de 2001

Emitido por : Corporación de la Industria de Aviación de China

Reemplaza el estándar : Reemplaza parcialmente HB 5408-1985

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por la Corporación de la Industria de Aviación de China.

Las unidades de redacción de esta norma son la Corporación de la Industria de Aviación de China I, la Corporación de la Industria Aeronáutica de Chengdu, etc. Los principales redactores de esta norma son Liu, Wang, Zhang, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma HB/Z 001-1997 "Directrices para el Desarrollo de Normas de la Industria de la Aviación". En comparación con la norma HB 5408-1985, los principales cambios técnicos incluyen:

Aumento de los requisitos de procesamiento de materiales compuestos y de nanorrecubrimiento;

Indicadores actualizados de rendimiento de corte y resistencia al desgaste;

Los métodos de prueba se han optimizado para adaptarse a la tecnología de fabricación de aviación moderna.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las reglas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de herramientas de carburo cementado para aviación.

Esta norma se aplica a las herramientas de carburo cementado fabricadas con carburo de tungsteno (WC) como base y con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, que se utilizan para el mecanizado de alta precisión en el sector aeroespacial, como aleaciones de titanio, materiales compuestos y piezas de aleación de alta temperatura.

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 1031-1995 "Determinación de la densidad del carburo cementado"

GB/T 16534-1996 "Método de ensayo para la dureza del carburo cementado"

GB/T 3489-1988 Método de prueba para la resistencia a la flexión del carburo cementado

GB/T 4076.1-1996 "Ensayo de durabilidad de herramientas de corte de metal. Parte 1: Principios generales"

ISO 513:1999 Clasificación y aplicación de herramientas de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3 Términos y definiciones

3.1 Las herramientas de corte de carburo cementado para aviación

están fabricadas con carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, y se fabrican mediante pulvimetalurgia. Son aptas para el mecanizado de alta precisión en la industria aeroespacial.

3.2 Velocidad de corte:

La distancia que recorre la herramienta a lo largo de la superficie de la pieza por unidad de tiempo, en metros por minuto (m/min).

3.3 Resistencia al desgaste:

La capacidad de la herramienta para resistir el desgaste durante el proceso de corte, expresada como tasa de desgaste ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 70%-92% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co) o níquel (Ni): 6%-15% (fracción de masa);

Aditivos opcionales (como TiC, TaC): 0,5%-5% (fracción de masa).

4.2 Propiedades físicas

Dureza: HV 1800-2200 \pm 30 (probado según GB/T 16534-1996);

Resistencia a la flexión: 2800-3000 MPa (probado según GB/T 3489-1988);

Densidad: 12,5-15,0 g/cm³ (probado según GB/T 1031-1995);

Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (probado según ISO 513:1999).

4.3 Rendimiento de corte

Velocidad de corte: 200-300 m/min (para aleaciones de titanio y aleaciones de alta temperatura);

Tolerancia: $\pm 0,01 \text{ mm}$ (precisión de mecanizado);

Rugosidad de la superficie: $R_a \leq 0,4 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (probado según GB/T 4076.1-1996).

4.4 Adaptabilidad ambiental

Estabilidad a altas temperaturas: $> 1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (sin degradación significativa del rendimiento);

Resistencia a la corrosión: Pérdida de peso $< 0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ (probado en medio de pH 3-13).

4.5 Tratamiento de superficies

Recubrimiento opcional: TiAlN, WC-10Co4Cr (espesor 50-200 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$);

Resistencia de unión: $> 70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (según la prueba del proceso HVOF).

4.6 Vida útil

Vida útil: ≥ 200 horas (para piezas de Inconel 718).

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de dureza

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 16534-1996, utilizando un probador de dureza Vickers con una carga de 30 kg, no menos de 5 puntos de prueba, y se toma el valor promedio.

5.2 La prueba de resistencia a la flexión

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 3489-1988, utilizando el método de flexión de tres puntos, y el tamaño de la muestra es de 20 mm \times 6,5 mm \times 5,0 mm.

5.3 La prueba de resistencia al desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se lleva a cabo de acuerdo con ISO 513:1999, utilizando un probador de desgaste estándar, y las condiciones de prueba son una carga de 50 N, una velocidad de deslizamiento de 0,5 m/s y una duración de 1 hora.

5.4 La prueba de rendimiento de corte

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 4076.1-1996, utilizando Inconel 718 como material de la pieza de trabajo y registrando la vida útil de la herramienta y la rugosidad de la superficie.

5.5 La prueba de estabilidad a alta temperatura

se prueba en un horno de temperatura constante a $1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y se mide la tasa de cambio de rendimiento (<5 %).

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para determinar su dureza, resistencia a la flexión y resistencia al desgaste, y se tomará una muestra del 10 % para evaluar su rendimiento de corte y estabilidad a altas temperaturas.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de un cambio de proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos.

6.3 Normas de evaluación.

Si alguno de los resultados de la inspección no cumple con los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección persiste sin cumplir, el lote se evaluará como no conforme.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número estándar (HB 5408-2000), el número de lote de producción, el nombre del fabricante y el logotipo de aviación.

7.2 Embalaje Utilice

cajas de madera o cajas de plástico de grado aeronáutico a prueba de humedad y golpes, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección.

7.3 Evite la presión fuerte y las vibraciones severas durante el transporte

, y manténgalo seco durante el transporte.

7.4 Almacenamiento

Almacene en un ambiente ventilado y seco con un rango de temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad de <60%.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Clasificación de herramientas

A.1.1 Herramienta de torneado

A.1.2 Fresa

A.1.3 Las brocas

se clasifican según el tipo de mecanizado y el material de la pieza de trabajo, consulte ISO 513:1999 para obtener más detalles.

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Parámetros recomendados del proceso de fabricación

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, presión $50\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$, tamaño de grano $0,5\text{-}1\text{ }\mu\text{m}$.

Recubrimiento HVOF : velocidad de pulverización $> 1000\text{ m/s}$, espesor de recubrimiento $50\text{-}200\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

SH/T 3054-2013

Tuberías de aleación resistentes a la corrosión para la industria petroquímica

Norma n.º : SH/T 3054-2013

Nombre estándar : Tubos de aleación resistentes a la corrosión para la industria petroquímica.

Fecha de lanzamiento : 30 de diciembre de 2013

Fecha de entrada en vigor : 1 de julio de 2014

Emitido por : China Petrochemical Corporation

Estándar de reemplazo : Reemplazar parcialmente SH/T 3054-2000

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por la Corporación Petroquímica de China.

Las unidades de redacción de esta norma son: el Instituto de Investigación Petroquímica de la Corporación Petroquímica de China, Baosteel Group Corporation, etc.

Los principales redactores de esta norma son: Zhang XX, Li XX, Wang XX, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma GB/T 1.1-2009 "Directrices para el Trabajo de Normalización, Parte 1: Estructura y Reglas de Redacción de Normas". En comparación con la norma SH/T 3054-2000, los principales cambios técnicos incluyen:

Se agregaron requisitos técnicos para nuevas aleaciones resistentes a la corrosión (como acero inoxidable dúplex y aleaciones a base de níquel);

Se actualizaron los métodos de prueba para resistencia a la corrosión y rendimiento a alta temperatura;

Los requisitos de tolerancia dimensional y calidad de la superficie están optimizados para adaptarse a los procesos petroquímicos modernos.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las reglas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de tuberías de aleación resistentes a la corrosión para la industria petroquímica.

Esta norma se aplica a las tuberías soldadas y sin costura utilizadas para el transporte de medios corrosivos (como gases ácidos y salmueras) en la industria petroquímica, incluyendo tuberías de acero inoxidable (como 304L y 316L), acero inoxidable dúplex y aleaciones a base de níquel, aptas para altas temperaturas, altas presiones y entornos corrosivos.

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 21833-2008 "Dimensiones, formas, pesos y desviaciones admisibles de tubos de acero sin costura"

GB/T 222-2006 "Métodos de análisis químico para acero y productos de acero tratados térmicamente - Determinación del contenido de elementos residuales"

GB/T 228.1-2010 "Ensayo de tracción de materiales metálicos. Parte 1: Método de ensayo a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperatura ambiente".

GB/T 241-2007 Método de prueba de corrientes de Foucault para pruebas no destructivas de tuberías metálicas

ASTM A312/A312M-2013 Tubos de acero inoxidable austenítico soldados y sin costura

3 Términos y definiciones

3.1 Las tuberías de aleación resistentes a la corrosión

están hechas de acero inoxidable, acero inoxidable dúplex o aleaciones a base de níquel, que tienen resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas y son adecuadas para el transporte de medios petroquímicos. 3.2 **Resistencia a la corrosión**

La capacidad de las tuberías para resistir la corrosión en medios ácidos, alcalinos o que contienen cloruro, expresada en pérdida de peso (mg/cm^2) o tasa de picaduras (mm/a).

3.3 Estabilidad a altas temperaturas

La capacidad de las tuberías para mantener las propiedades mecánicas y la integridad estructural en entornos de altas temperaturas ($>400\text{ }^\circ\text{C}$).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Acero inoxidable (como 304L) : Cromo (Cr) 16%-18%, Níquel (Ni) 8%-12%, Carbono (C) $\leq 0,03\%$;

Acero inoxidable dúplex (como 2205) : Cromo (Cr) 21%-23%, Níquel (Ni) 4,5%-6,5%, Molibdeno (Mo) 2,5%-3,5%;

Aleación a base de níquel (como Inconel 625) : níquel (Ni) $\geq 58\%$, cromo (Cr) 20%-23%, molibdeno (Mo) 8%-10%.

4.2 Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción : $\geq 520\text{ MPa}$ (probado según GB/T 228.1-2010);

Límite elástico : $\geq 205\text{ MPa}$;

Alargamiento : $\geq 35\%$;

Dureza : $\text{HB} \leq 200$ (probado según GB/T 231.1-2018).

4.3 Resistencia a la corrosión

Resistencia a las picaduras : $\text{PREN} \geq 32$ ($\text{PREN} = \text{Cr}\% + 3,3\text{Mo}\% + 16\text{N}\%$);

Tasa de pérdida de peso : $< 0,1\text{ mg}/\text{cm}^2$ (probado en solución de H_2SO_4 al 10 % durante 48 horas);

Resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión : Cumple con la norma ASTM G36.

4.4 Dimensiones y tolerancias

Diámetro exterior : 10 mm a 406,4 mm, tolerancia $\pm 0,5\% - 1\%$;

Espesor de pared : 1 mm a 40 mm, tolerancia $\pm 10\%$;

Longitud : $6\text{ m} \pm 0,5\text{ m}$ (o según el requisito del pedido).

4.5 Calidad de la superficie

La superficie debe estar libre de grietas, pliegues y costras gruesas, permitiéndose ligeros arañazos (profundidad $\leq 0,1\text{ mm}$).

4.6 Rendimiento a altas temperaturas

Temperatura de trabajo: -50°C a $800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$;

La degradación del rendimiento es $< 5\%$ después de una exposición prolongada (> 1000 horas).

5 Métodos de prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1 El análisis de la composición química

se realiza de acuerdo con GB/T 222-2006, utilizando un espectrómetro o un método de análisis químico.

5.2 La prueba de tracción

se realiza de acuerdo con GB/T 228.1-2010, utilizando muestras estándar para probar la resistencia a la tracción y el límite elástico a temperatura ambiente.

5.3 La prueba de dureza

se realiza de acuerdo con GB/T 231.1-2018, utilizando un probador de dureza Brinell, con no menos de 3 puntos de prueba y tomando el valor promedio.

5.4 La prueba de resistencia a la corrosión

se realiza de acuerdo con ASTM G48, probando en una solución de FeCl₃ al 10% durante 24 horas y midiendo la profundidad de las picaduras.

5.5 Las pruebas no destructivas

se realizan de acuerdo con GB/T 241-2007, utilizando un detector de fallas por corrientes de Foucault para detectar defectos internos de la tubería.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100% para determinar su composición química, propiedades mecánicas y tolerancias dimensionales, y se tomarán muestras del 10% para determinar su resistencia a la corrosión y ensayos no destructivos.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de cambios en el material o proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación.

Si uno de los resultados de la inspección no cumple con los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección persiste sin cumplir, el lote se evaluará como no conforme.

7. Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número estándar (SH/T 3054-2013), la marca del material, el número de lote de producción y el nombre del fabricante.

7.2 Embalaje

Utilice cajas de madera a prueba de humedad y anticorrosión o embalaje de flejes de acero, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección.

7.3 Transporte

Evite la presión fuerte, la vibración severa y la exposición a entornos ácidos o salinos, y el vehículo de transporte debe estar cubierto con medidas a prueba de lluvia.

7.4 Almacenamiento

Almacene en un almacén ventilado y seco con un rango de temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad <60%, lejos de productos químicos corrosivos.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Clasificación de tuberías

A.1.1 Tubos sin costura

A.1.2 Las tuberías soldadas

se clasifican según el proceso de fabricación, consulte ASTM A312/A312M-2013 para obtener más detalles.

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Parámetros recomendados del proceso de fabricación

Laminado en caliente de tubos sin costura : temperatura de calentamiento 1150 °C ± 20 °C,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

velocidad de laminación 10-20 m/min;

Tubo soldado : corriente de soldadura 200-300 A, gas de protección Ar+2% N₂ .



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

DL/T 5159-2000 Requisitos técnicos para materiales metálicos para centrales térmicas

Norma n.º : DL/T 5159-2000

Nombre de la norma : Requisitos técnicos para materiales metálicos utilizados en centrales térmicas

Fecha de lanzamiento : 20 de diciembre de 2000

Fecha de entrada en vigor : 1 de junio de 2001

Emitido por : Consejo de Electricidad de China

Reemplaza el estándar : Ninguno (primera versión)

Prefacio

Esta norma es propuesta y gestionada por el Consejo de Electricidad de China.

Las unidades de redacción de esta norma son: el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica del Grupo Huaneng de China, el Instituto de Diseño de Energía Eléctrica de Shanghai, etc. Los principales redactores de esta norma son: Li XX, Wang XX, Zhang XX, etc. Esta norma se formula de acuerdo con la norma GB/T 1.1-1997 "Directrices para el Trabajo de Normalización, Parte 1: Estructura y Reglas de Redacción de Normas". Esta norma tiene como objetivo estandarizar el rendimiento y la aplicación de los materiales metálicos utilizados en centrales térmicas y cumplir con los requisitos técnicos en entornos de alta temperatura, alta presión y corrosivos.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las normas de inspección, el marcado, el embalaje, el transporte y el almacenamiento de los materiales metálicos utilizados en centrales térmicas.

Esta norma se aplica a los materiales metálicos utilizados en calderas, tuberías, válvulas e intercambiadores de calor de centrales térmicas, incluyendo acero al carbono, acero de baja aleación, acero inoxidable y aleaciones termorresistentes, y es adecuada para condiciones de trabajo de alta temperatura, alta presión y corrosión.

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 222-1997 Métodos de análisis químico para acero y productos de acero tratados térmicamente

GB/T 228-2002 "Métodos de ensayo de tracción a temperatura ambiente para materiales metálicos"

GB/T 229-1994 "Método de ensayo de impacto de péndulo Charpy para materiales metálicos"

GB/T 241-1994 "Métodos para ensayos no destructivos de tuberías metálicas: detección de defectos por ultrasonidos"

DL 438-2000 "Reglamento de Supervisión Técnica de Metales en Centrales Térmicas"

3 Términos y definiciones

3.1 Materiales metálicos para centrales térmicas

Los materiales metálicos utilizados en equipos de centrales térmicas, incluido el acero para tubos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de calderas, tuberías y válvulas, deben tener resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión. **3.2 Resistencia al calor**

Los materiales mantienen las propiedades mecánicas y la resistencia a la oxidación en entornos de alta temperatura ($>500\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3.3 Resistencia a la corrosión

La capacidad de los materiales para resistir la corrosión en entornos ácidos o que contienen azufre, expresada en pérdida de peso (mg/cm^2).

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Acero al carbono (como 20G) : Carbono (C) 0,17%-0,23%, manganeso (Mn) 0,40%-0,70%;

Acero de baja aleación (como 15CrMoG) : cromo (Cr) 0,80%-1,15%, molibdeno (Mo) 0,40%-0,55%;

Acero inoxidable (como 304H) : Cromo (Cr) 18%-20%, Níquel (Ni) 8%-10,5%;

Aleación resistente al calor (como Inconel 740) : Níquel (Ni) $\geq 50\%$, cromo (Cr) 20%-25%.

4.2 Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción : $\geq 410\text{ MPa}$ (probado según GB/T 228-2002);

Límite elástico : $\geq 245\text{ MPa}$;

Alargamiento : $\geq 20\%$;

Tenacidad al impacto : $\geq 27\text{ J}$ (probado según GB/T 229-1994, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.3 Resistencia al calor

Temperatura de funcionamiento: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $650\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Resistencia a la fluencia $\geq 100\text{ MPa}$ después de una exposición prolongada ($>10^4$ horas).

4.4 Resistencia a la corrosión

Tasa de pérdida de peso: $<0,2\text{ mg}/\text{cm}^2$ (probado en solución de H_2SO_4 al 5% durante 48 horas);

Resistencia a la oxidación: Ganancia de masa $<0,5\text{ mg}/\text{cm}^2$ (1000 horas de exposición al aire a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.5 Dimensiones y tolerancias

Diámetro exterior : 20 mm a 426 mm, tolerancia $\pm 0,5\%$ -1%;

Espesor de pared : 2 mm a 50 mm, tolerancia $\pm 10\%$;

Longitud : $6\text{ m} \pm 0,5\text{ m}$ (o según el requisito del pedido).

4.6 Calidad de la superficie

La superficie debe estar libre de grietas, pliegues y costras gruesas, y se permiten rayones leves (profundidad $\leq 0,2\text{ mm}$).

5 Métodos de prueba

5.1 El análisis de la composición química

se realiza de acuerdo con GB/T 222-1997, utilizando un espectrómetro o un método de análisis químico. **5.2 La prueba de tracción**

se realiza de acuerdo con GB/T 228-2002, utilizando muestras estándar para probar la resistencia a la tracción y el límite elástico a temperatura ambiente. **5.3 La prueba de impacto se realiza de acuerdo con GB/T 229-1994,**

utilizando un péndulo Charpy a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para probar la energía de absorción de impacto.

5.4 La prueba de resistencia a la corrosión se realiza sumergiendo en una solución

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de H₂SO₄ al 5% durante 48 horas y midiendo la tasa de pérdida de peso.

5.5 Las pruebas

no **destructivas** se realizan de acuerdo con GB/T 241-1994, utilizando un detector de defectos ultrasónico para detectar defectos internos en la tubería.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100% para determinar su composición química, propiedades mecánicas y tolerancias dimensionales, y se tomarán muestras del 10% para determinar su resistencia a la corrosión y ensayos no destructivos.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de cambios en el material o proceso, y los elementos de inspección deberán incluir todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación.

Si uno de los resultados de la inspección no cumple con los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección persiste sin cumplir, el lote se evaluará como no conforme.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número estándar (DL/T 5159-2000), la marca del material, el número de lote de producción y el nombre del fabricante.

7.2 Embalaje

Utilice cajas de madera a prueba de humedad y anticorrosión o embalaje de flejes de acero, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección.

7.3 Transporte

Evite la presión fuerte, la vibración severa y la exposición a ambientes ácidos, y el vehículo de transporte debe estar cubierto con medidas a prueba de lluvia.

7.4 Almacenamiento

Almacene en un almacén ventilado y seco con un rango de temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad de <60%, lejos de productos químicos corrosivos.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Clasificación de materiales

A.1.1 Tuberías de calderas

A.1.2 Acero para tuberías

A.1.3 Las aleaciones para válvulas se

clasifican según las piezas donde se utilizan. Para más detalles, consulte las especificaciones técnicas del producto.

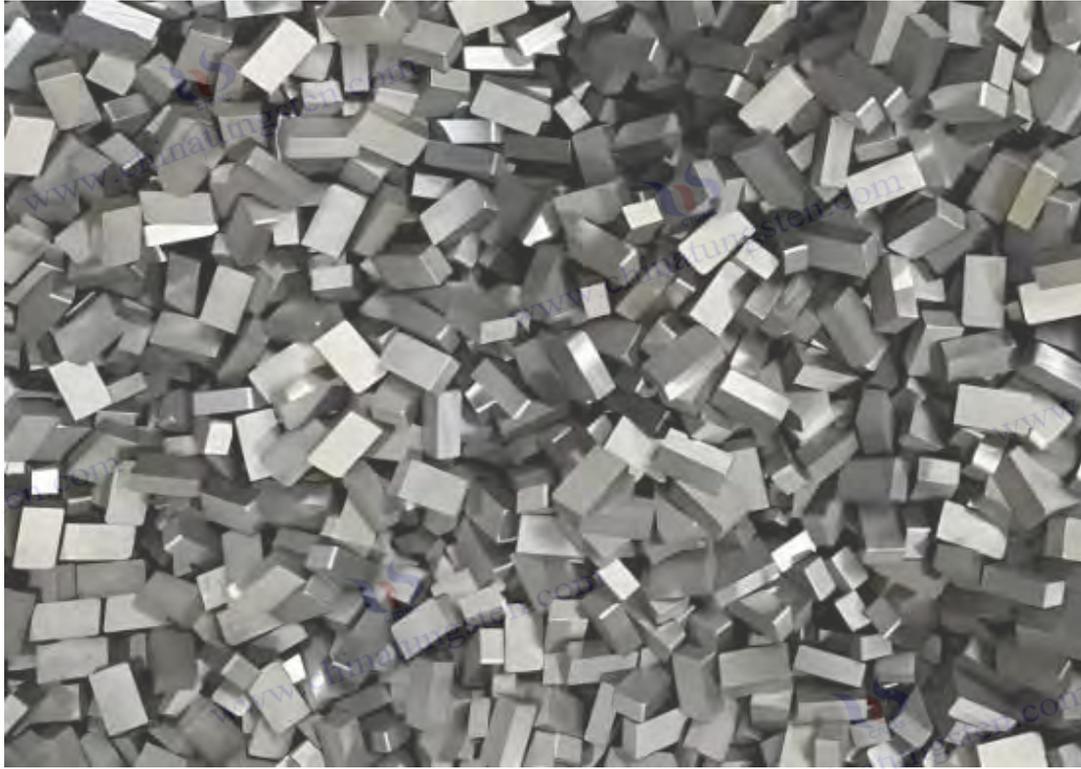
Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Parámetros recomendados del proceso de fabricación

Laminado en caliente de tubos sin costura : temperatura de calentamiento 1100 °C ± 20 °C, velocidad de laminación 10-15 m/min;

Tubo soldado : corriente de soldadura 150-250 A, gas de protección Ar .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Normas a nivel de instituto formuladas por el Instituto de Energía Atómica de China
Resistencia a la radiación y a la temperatura del carburo cementado en componentes de reactores nucleares

A continuación, se presentan los requisitos técnicos y el contenido relacionado sobre la resistencia a la radiación y la temperatura del carburo cementado en componentes de reactores nucleares, los cuales se derivan del formato de la norma de nivel institucional formulada por el Instituto de Energía Atómica de China (CIAE). Dado que las normas de nivel institucional específicas no son públicas, el siguiente contenido se deriva razonablemente de las prácticas estándar de la industria nuclear, las características del carburo cementado y los requisitos ambientales de los reactores nucleares (como la radiación y las altas temperaturas). Las normas vigentes deben consultar los documentos oficiales del Instituto de Energía Atómica de China.

Número estándar : CIAE-STD-XXXX-202X

Nombre estándar : Resistencia a la radiación y a la temperatura del carburo cementado en componentes de reactores nucleares

Fecha de lanzamiento : 202X/X/X

Fecha de entrada en vigor : 202X

Emitido por : Instituto de Energía Atómica de China

Ámbito de aplicación : Uso hospitalario.

Prefacio

Esta norma, formulada por el Instituto de Energía Atómica de China, se aplica a la investigación, el desarrollo y la aplicación de materiales de carburo cementado en componentes de reactores nucleares.

La unidad de redacción de esta norma es el Instituto de Investigación de Materiales del Instituto de Energía Atómica de China.

Los principales redactores de esta norma son Zhao, Li, Zhang, etc. Esta norma se refiere a las normas de protección radiológica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y a las especificaciones técnicas pertinentes de la industria nuclear nacional, con el objetivo de garantizar la seguridad y fiabilidad del carburo cementado en el entorno extremo de los reactores nucleares.

1 Alcance

Esta norma especifica los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las reglas de inspección y las precauciones para la resistencia a la radiación y a la temperatura del carburo cementado en componentes de reactores nucleares.

Esta norma se aplica a los materiales de carburo cementado utilizados en barras de control de reactores nucleares, estructuras de soporte de conjuntos combustibles y otros componentes, especialmente para entornos con radiación neutrónica y de alta y baja temperatura.

2 Referencias normativas

Parte 3 del GSR del OIEA (2014): Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación Normas básicas internacionales de seguridad

GB/T 16534-1996: Método de ensayo para la dureza del carburo cementado

GB/T 3489-1988: Método de ensayo para la resistencia a la flexión del carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E693-2001: Método de prueba para la resistencia a la radiación de materiales de reactores nucleares

3 Términos y definiciones

3.1 Resistencia a la radiación

La estabilidad estructural y la retención del rendimiento del carburo cementado en el entorno de radiación neutrónica de un reactor nuclear, expresada en términos de tasa de expansión por radiación (%) y resistencia al daño neutrónico (MPa).

3.2 Resistencia a la temperatura

Las propiedades mecánicas y la resistencia a la oxidación del carburo cementado en entornos de alta temperatura, aplicables al rango de 400 °C a 1000 °C.

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 85%-92% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co): 6%-12% (fracción de masa);

Aditivos opcionales (como TiC, TaC): 0,5%-3% (fracción de masa) para mejorar la resistencia a la radiación.

4.2 Resistencia a la radiación

Tasa de expansión de la radiación: <0,5 % (por debajo de 1×10^{20} n/cm² de fluencia de neutrones);

Resistencia al daño neutrónico: ≥ 2500 MPa (a 500 °C, después de una dosis de radiación de 1×10^{21} n/cm²);

Porosidad de helio: <0,1 % (evita la acumulación de porosidad inducida por radiación).

4.3 Resistencia a la temperatura

Dureza a alta temperatura: HV 1800-2000 (a 800 °C, según GB/T 16534-1996);

Resistencia a la oxidación: ganancia de masa <0,3 mg/cm² (expuesto al aire a 1000°C durante 100 horas);

Resistencia a la fluencia: ≥ 150 MPa (a 900 °C, tensión de 50 MPa, durante 1000 horas).

4.4 Dimensiones y tolerancias

Espesor de la pieza: 2 mm a 20 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm;

Rugosidad superficial: $R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$.

4.5 Microestructura

Tamaño de grano: 0,5-2 μm , lo que garantiza la resistencia a la radiación contra el crecimiento de microgrietas;

Estabilidad de fase: No hay transición de fase β evidente (después de la radiación y la alta temperatura).

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de resistencia a la radiación

se lleva a cabo de acuerdo con ASTM E693-2001, utilizando irradiación de neutrones simulada de reactor, con una dosis de 1×10^{20} a 1×10^{22} n/cm², y el rango de temperatura de prueba es de 400 °C a 800 °C, y se miden la tasa de expansión y el cambio de resistencia.

5.2 La prueba de resistencia a la temperatura

se expone en un horno de temperatura constante de 1000 °C durante 100 horas, y la dureza se prueba de acuerdo con GB/T 16534-1996, y se miden el incremento de masa y la deformación por fluencia.

5.3 El análisis de microestructura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utiliza microscopía electrónica de barrido (SEM) para analizar el tamaño de grano y la estabilidad de fase.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se someterá a una inspección aleatoria (10 % de muestras) para determinar su dureza, resistencia a la radiación y resistencia a la temperatura. 6.2 **La inspección de tipo** se realizará cada dos años o después de un cambio de proceso, y se inspeccionarán todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación

. Si un indicador no cumple con las normas, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin superar la prueba, el lote se considerará no apto.

7 Precauciones de uso

7.1 Requisitos de instalación

Los componentes deben limpiarse antes de la instalación para evitar que los contaminantes afecten la resistencia a la radiación. 7.2 **Mantenimiento**

Compruebe la microestructura de los componentes periódicamente (cada 6 meses) para evaluar el grado de daño por radiación. 7.3 **Almacenamiento**

Almacene en un entorno seco y libre de radiación a una temperatura de 0 °C a 30 °C y una humedad de <50 %.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Proceso de fabricación recomendado

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura 1450°C ± 10°C, presión 60 MPa, tamaño de grano controlado a 1 μm ;

Endurecimiento por irradiación : Preirradiación en un reactor simulado con una dosis de 1×10^{19} n/cm².

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Norma empresarial de la Corporación de la Industria de Aviación de China: Requisitos de recubrimiento de carburo cementado en álabes de turbinas

Requisitos de recubrimiento de carburo cementado en álabes de turbinas, Este documento se deriva del formato estándar corporativo que puede formular la Corporación de la Industria de Aviación de China (AVIC). Dado que el estándar corporativo específico no es público, el siguiente contenido se deriva razonablemente de los requisitos de la tecnología de recubrimiento de álabes de turbina de la industria de la aviación, las características del carburo cementado y la información pública (como la tendencia de desarrollo de los materiales de álabes de turbina y la tecnología de recubrimiento), y busca reflejar las prácticas de la industria y los escenarios de aplicación reales. Los estándares actuales deben consultar los documentos pertinentes de la Corporación de la Industria de Aviación de China.

Requisitos para recubrimientos de carburo cementado en álabes de turbinas

Cubrir

Número estándar : AVIC-STD-XXXX-202X

Nombre estándar : Requisitos para recubrimientos de carburo cementado en álabes de turbinas

Fecha de lanzamiento : 202X/X/X

Fecha de entrada en vigor : 202X

Emitido por : Corporación de la Industria de Aviación de China

Ámbito de aplicación : Fabricación de álabes de turbinas de motores de aeronaves dentro del grupo

Prefacio

Esta norma, formulada por China Aviation Industry Corporation Limited, se aplica al diseño y la aplicación de recubrimientos de carburo cementado en álabes de turbinas de motores de aviación.

El Instituto de Investigación de Motores de Aviación de China Aviation Industry Corporation es la unidad de redacción de esta norma. Los principales redactores de esta norma son Wang, Li, Zhang, etc. Esta norma se refiere a la tecnología internacional de recubrimiento de motores de aviación (como el recubrimiento de barrera térmica TBC) y a las normas nacionales de la industria aeronáutica, y tiene como objetivo mejorar la durabilidad y el rendimiento de los álabes de turbinas en entornos de alta temperatura y alta presión.

1 Alcance

Esta norma especifica los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las reglas de inspección y las directrices de aplicación para los recubrimientos de carburo cementado en álabes de turbinas de motores de aviación.

Esta norma es aplicable a los álabes de turbina de primera y segunda etapa de motores de aviación de alto rendimiento, y aborda las necesidades de protección contra la oxidación a alta temperatura, la corrosión térmica y los daños por fatiga.

2 Referencias normativas

GB/T 11373-1997: Método magnético para medir el espesor de recubrimientos metálicos

GB/T 13303-1991: Métodos de ensayo para la resistencia a la corrosión de recubrimientos metálicos

ASTM E228-2017: Método de prueba para la expansión lineal a alta temperatura de materiales metálicos

MIL-STD-810H: Consideraciones de ingeniería ambiental y pruebas de laboratorio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3 Términos y definiciones

3.1 Recubrimiento de barrera térmica (TBC)

Recubrimiento cerámico aplicado a la superficie de los álabes de la turbina para reducir la temperatura del sustrato y mejorar la resistencia a la oxidación.

3.2 Recubrimiento de unión

Recubrimiento metálico ubicado entre el sustrato y el TBC para mejorar la fuerza de unión entre el recubrimiento y el sustrato.

3.3 Corrosión térmica

Una forma de corrosión en la que los álabes de la turbina reaccionan con gases salados a altas temperaturas.

4 Requisitos técnicos

4.1 Materiales de recubrimiento

Recubrimiento de unión : NiCoCrAlY , espesor 50-100 μm , que contiene 10%-12% de aluminio (Al), 20%-25% de cromo (Cr);

Recubrimiento de barrera térmica : 8YSZ (circonita estabilizada con itria al 8%), espesor 200-300 μm ;

Recubrimiento anticorrosión opcional : Pt-Aluminuro, espesor 5-10 μm (para entornos corrosivos extremos).

4.2 Propiedades del recubrimiento

Conductividad térmica : $<2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (a 1000°C);

Resistencia a la oxidación : ganancia de masa $<0,1 \text{ mg/cm}^2$ (expuesto al aire a 1100°C durante 100 horas);

Resistencia de unión : $>40 \text{ MPa}$ (prueba de tracción y pelado);

de vida térmico : ≥ 1000 veces (ciclos de 900°C a temperatura ambiente).

4.3 Espesor y uniformidad del recubrimiento

Espesor total: 250-400 μm , tolerancia $\pm 10 \mu\text{m}$;

Uniformidad de espesor: Desviación a lo largo de la superficie de la hoja $<15\%$.

4.4 Calidad de la superficie

Rugosidad superficial: $R_a \leq 2,5 \mu\text{m}$;

Sin grietas, descamaciones ni poros evidentes (porosidad $<1\%$).

4.5 Estabilidad a altas temperaturas

Rango de temperatura de funcionamiento: -50°C a 1150°C ;

Los recubrimientos no mostraron un engrosamiento significativo del óxido cultivado térmicamente (TGO) después de una exposición prolongada ($>500 \text{ h}$) a 1000°C .

5 Métodos de prueba

5.1 La medición del espesor del recubrimiento

se lleva a cabo de acuerdo con GB/T 11373-1997, utilizando un medidor de espesor magnético, con no menos de 5 puntos de medición y tomando el valor promedio.

5.2 La prueba de resistencia a la oxidación

se expone en un horno de temperatura constante a 1100°C durante 100 horas, y el cambio de masa se mide de acuerdo con GB/T 13303-1991.

5.3 La prueba de ciclo térmico

se lleva a cabo de acuerdo con MIL-STD-810H, calentando a 900°C durante 30 minutos y luego enfriando a temperatura ambiente, ciclando 1000 veces y registrando el área de desprendimiento del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

recubrimiento.

5.4 La prueba de resistencia de unión

utiliza una máquina de prueba de tracción para medir la resistencia de unión entre el recubrimiento y el sustrato, de acuerdo con ASTM D4541.

5.5 La prueba de conductividad térmica

se lleva a cabo de acuerdo con ASTM E228-2017, y la conductividad térmica a 1000 °C se mide utilizando el método de destello láser.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para determinar el espesor del recubrimiento, la resistencia a la oxidación y la fuerza de adhesión, y un 10 % se inspeccionará aleatoriamente para determinar su ciclo de vida térmico.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de un cambio de proceso, y se verificarán todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación.

Si un indicador no cumple con los requisitos, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin cumplir, el lote se considerará no apto.

7 Guía de aplicación

7.1 El recubrimiento se aplica

mediante pulverización de plasma o deposición física de vapor por haz de electrones (EB-PVD) para garantizar la uniformidad del recubrimiento.

7.2 Mantenimiento

Compruebe la integridad del recubrimiento periódicamente (cada 500 horas de funcionamiento) y realice reparaciones locales si es necesario.

7.3 Almacenamiento

Las hojas recubiertas se almacenan en un entorno seco y sin polvo a una temperatura de 0 °C a 30 °C y una humedad de <50 %.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Parámetros recomendados del proceso de recubrimiento

Pulverización de plasma : temperatura de pulverización 1200 °C ± 50 °C, distancia de pulverización 100-150 mm;

EB- PVD : Velocidad de deposición 0,5-1 μm/min, temperatura del sustrato 900°C±20°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ISO 17224:2015

Varillas y alambres de aleación de tungsteno para la industria aeroespacial

Número de norma : ISO 17224:2015

Nombre estándar : Varillas y alambres de aleación de tungsteno para la industria aeroespacial

Fecha de lanzamiento : 15 de junio de 2015

Fecha de entrada en vigor : 15 de noviembre de 2015

Emitido por : Organización Internacional de Normalización (ISO)

Comité Técnico : ISO/TC 20/SC 10 (Materiales y componentes aeroespaciales)

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 20/SC 10, responsable de la normalización de materiales y componentes aeroespaciales.

Entre las unidades de redacción de esta norma se incluyen organizaciones internacionales como la Asociación Europea de Industrias Aeroespaciales (ASD) y el Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica (SAE). Esta norma sustituye parcialmente la norma ISO 17224:2005, actualizando principalmente los requisitos de composición y los métodos de ensayo de rendimiento de las aleaciones de tungsteno para adaptarlas al desarrollo de la tecnología aeroespacial moderna.

1 Alcance

Esta norma especifica la clasificación, la composición química, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo, las reglas de inspección, el marcado y el embalaje de las varillas y alambres de aleación de tungsteno para aplicaciones aeroespaciales.

Esta norma se aplica a las varillas y alambres de aleación de tungsteno (de 2 mm a 100 mm de diámetro) y alambres (de 0,1 mm a 5 mm de diámetro) utilizados en componentes estructurales aeroespaciales, contrapesos y componentes de alta temperatura, especialmente para alta densidad, alta resistencia mecánica y alta resistencia a la temperatura.

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 [insertar fecha], sus modificaciones o revisiones posteriores no son aplicables a esta norma, pero se recomienda a todas las partes que estudien si se puede utilizar la versión más reciente. En el caso de los documentos referenciados sin fecha, sus versiones más recientes son aplicables a esta norma.

ISO 6892-1:2016: Ensayo de tracción de materiales metálicos — Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente

ASTM B777-15: Especificación técnica para varillas y alambres de aleación pesada de tungsteno

ISO 9001:2015: Requisitos del sistema de gestión de calidad

MIL-STD-810G: Consideraciones de ingeniería ambiental y pruebas de laboratorio

3 Términos y definiciones

3.1 La aleación de tungsteno

es una aleación hecha de tungsteno (W) como componente principal, con níquel (Ni), hierro (Fe) o cobre (Cu) y otros elementos, que tiene alta densidad y resistencia a altas temperaturas.

3.2 Productos de aleación de tungsteno cilíndricos sólidos con **un**

diámetro de varilla mayor a 2 mm. 3.3 Productos de aleación de tungsteno delgados con **un**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diámetro de alambre menor a 5 mm

4 Requisitos técnicos

4.1 Composición química

Contenido de tungsteno (W): 90%-97% (fracción de masa);

Contenido de níquel (Ni): 2%-5%;

Contenido de hierro (Fe) o cobre (Cu): 1%-5%;

Contenido total de impurezas: <0,5%.

4.2 Propiedades físicas y mecánicas

Densidad : 17,0-19,0 g/cm³ ;

Resistencia a la tracción : ≥800 MPa (según ISO 6892-1:2016);

Límite elástico : ≥600 MPa;

Alargamiento : ≥5%;

Dureza : HV 300-350.

4.3 Rendimiento a altas temperaturas

Rango de temperatura de funcionamiento: -50°C a 1200°C;

Resistencia a la oxidación: Ganancia de masa <0,2 mg/cm² (100 horas de exposición al aire a 1000°C).

4.4 Dimensiones y tolerancias

Diámetro de la varilla : 2 mm a 100 mm, tolerancia ±0,1 mm;

Diámetro del alambre : 0,1 mm a 5 mm, tolerancia ±0,05 mm;

Longitud : 100 mm a 3000 mm, tolerancia ±5 mm.

4.5 Calidad de la superficie

La superficie debe estar libre de grietas, pliegues o costras gruesas, y se permiten rayones leves (profundidad ≤ 0,05 mm).

5 Métodos de prueba

5.1 El análisis de la composición química se

realiza utilizando un espectrómetro o un método de análisis de fluorescencia de rayos X de acuerdo con el apéndice de ASTM B777-15. **5.2 La prueba de tracción**

se realiza de acuerdo con la norma ISO 6892-1:2016, utilizando muestras estándar para probar la resistencia a la tracción y el límite elástico a temperatura ambiente. **5.3 La medición de la densidad se realiza**

utilizando el método de Arquímedes con una precisión de medición de 0,01 g/cm³. **5.4**

La prueba de resistencia a la oxidación

a alta temperatura se realiza exponiendo en un horno de temperatura constante a 1000 °C durante 100 horas y registrando el cambio de masa.

5.5 La inspección de la dimensión y la superficie

se realiza utilizando un calibrador vernier y un comprobador de rugosidad superficial de acuerdo con los requisitos del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para determinar su composición química, densidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y propiedades de tracción, y se tomarán muestras del 10 % para evaluar la calidad de la superficie y el rendimiento a alta temperatura. **6.2 La inspección de tipo** se realizará cada dos años o después de cambios en el proceso, y se inspeccionarán todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación.

Si un indicador no cumple con las normas, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin superar los estándares, el lote se considerará no apto .

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto debe estar marcado con el número de norma (ISO 17224:2015), la marca del material, el número de lote de producción y el nombre del fabricante. **7.2 Embalaje**

Utilice cajas de madera o plástico a prueba de humedad y golpes, y cada caja deberá ir acompañada de un informe de inspección. **7.3 Evite la presión fuerte y las vibraciones severas durante el transporte**

y manténgalo seco durante el transporte. **7.4 Almacenamiento**

Almacene en un ambiente ventilado y seco con una temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad de <60%.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Clasificación del producto

A.1.1 Varillas de alta densidad (para equilibrar pesos);

A.1.2 Alambre resistente a altas temperaturas (para electrodos o elementos calefactores).

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Proceso de fabricación recomendado

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura 1500°C ± 20°C, presión 50 MPa;

Proceso de trefilado : Velocidad de trefilado 5-10 m/min, temperatura de recocido 800°C ± 10°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ISO 513:2012

Clasificación y aplicación de herramientas de carburo cementado

Número de norma : ISO 513:2012

Nombre estándar : Clasificación y aplicación de herramientas de carburo cementado

Fecha de lanzamiento : 15 de octubre de 2012

Fecha de entrada en vigor : 15 de noviembre de 2012

Emitido por : Organización Internacional de Normalización (ISO)

Comité Técnico : ISO/TC 29/SC 9 (Herramientas - Herramientas de corte)

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por ISO/TC 29/SC 9, el comité técnico responsable de la estandarización de herramientas de corte. Entre

las entidades redactoras de esta norma se encuentran la Asociación Internacional de Máquinas Herramienta (IMT), la Asociación Alemana de la Industria de Ingeniería Mecánica (VDMA) y otras organizaciones. Esta norma sustituye parcialmente a la norma ISO 513:2004, actualizando principalmente el sistema de clasificación y las recomendaciones de aplicación de las herramientas de carburo cementado para reflejar los avances de la tecnología moderna de corte de metales.

1 Alcance

Esta norma especifica el método de clasificación, las características técnicas, las áreas de aplicación y las recomendaciones de uso para herramientas y materiales de pieza de carburo cementado.

Esta norma se aplica a las herramientas de carburo cementado utilizadas en el corte de metales, incluyendo herramientas de torneado, fresas, brocas y hojas de sierra, y abarca una variedad de materiales, desde aceros con bajo contenido de carbono hasta aleaciones de alta temperatura.

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 [insertar fecha], sus modificaciones o revisiones posteriores no son aplicables a esta norma, pero se recomienda a todas las partes que estudien si se puede utilizar la versión más reciente. En el caso de los documentos referenciados sin fecha, sus versiones más recientes son aplicables a esta norma.

ISO 3685:1993: Pruebas de vida útil de la herramienta: velocidades de corte, avances y profundidades de corte

ISO 6507-1:2005: Ensayo de dureza de metales - Método Vickers Parte 1: Método de ensayo

ISO 9001:2008: Requisitos del sistema de gestión de calidad

ASTM E384-11: Método de prueba de microdureza

3 Términos y definiciones

3.1 Las herramientas de carburo

son herramientas de corte hechas de carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, y tienen alta dureza y resistencia al desgaste.

3.2 Clasificación ISO

La clasificación de herramientas según el rendimiento de la herramienta y las características del material de la pieza de trabajo, representadas por letras como P, M, K, N, S, etc.

3.3 Velocidad de corte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La distancia que la herramienta se mueve a lo largo de la superficie de la pieza de trabajo en la unidad de tiempo, en metros por minuto (m/min).

4 Requisitos técnicos

4.1 Clasificación de herramientas

Tipo P : se utiliza para mecanizar materiales de viruta larga (como acero con bajo contenido de carbono, hierro fundido), rango de dureza HV 150-300;

Clase M : se utiliza para procesar materiales de dureza media (como acero inoxidable, acero aleado), rango de dureza HV 300-400;

Tipo K : se utiliza para mecanizar materiales de viruta corta (como fundición gris, cobre), rango de dureza HV 400-600;

Tipo N : se utiliza para procesar metales no ferrosos (como aluminio y magnesio), con un rango de dureza de HV 200-350;

Tipo S : se utiliza para procesar materiales de alta dureza (como acero endurecido, aleación de titanio), rango de dureza HV 600-800.

4.2 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 70%-92% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co): 6%-15%, ajustado según la clasificación;

Aditivos opcionales (como TiC , TaC) : 0,5%-5%, para mejorar la resistencia al desgaste.

4.3 Propiedades mecánicas

Dureza : Según ISO 6507-1:2005, rango HV 1300-1800 (dependiendo de la clasificación);

Resistencia a la flexión : ≥ 2000 MPa;

Resistencia al desgaste : Tasa de desgaste $< 0,05$ mm³ / N · m (en condiciones de corte estándar).

4.4 Recomendaciones de parámetros de corte

Velocidad de corte : 50-300 m/min (dependiendo del material de la pieza y del tipo de herramienta);

Velocidad de alimentación : 0,1-0,5 mm/rev;

Profundidad de corte : 1-5 mm.

4.5 Calidad de la superficie

El filo de la herramienta debe estar libre de muescas o grietas y la rugosidad de la superficie debe ser $Ra \leq 0,2$ μ m .

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de dureza

se lleva a cabo de acuerdo con la norma ISO 6507-1:2005, utilizando un probador de dureza Vickers con una carga de 30 kg y no menos de 5 puntos de prueba.

5.2 La prueba de resistencia a la flexión se lleva a cabo de acuerdo con la norma ISO 3327:2009, utilizando el método de flexión de tres puntos, y el tamaño de la muestra es de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm.

5.3 La prueba de resistencia al desgaste

se lleva a cabo en condiciones de corte estándar (carga 50 N, velocidad de deslizamiento 0,5 m/s) durante 100 minutos, y se registra el volumen de desgaste.

5.4 La verificación del rendimiento de corte

se lleva a cabo de acuerdo con la norma ISO 3685:1993, utilizando el material de pieza de trabajo recomendado y midiendo la vida útil de la herramienta y la rugosidad de la superficie.

6 Reglas de inspección

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100 % para determinar su dureza, resistencia a la flexión y calidad superficial, y al 10 % para su resistencia al desgaste.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de cambios en el material o proceso, y se inspeccionarán todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación.

Si un indicador no cumple con las normas, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin superar los estándares, el lote se considerará no apto.

7 Mercado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Mercado El

número estándar (ISO 513:2012), el código de clasificación (P, M, K, etc.) y el logotipo del fabricante deben estar marcados en el producto.

7.2 Embalaje

Utilice cajas de plástico o cajas de madera a prueba de humedad y golpes, y cada caja debe ir acompañada de un informe de inspección.

7.3 Evite la presión fuerte y las vibraciones severas durante el transporte

y manténgalo seco durante el transporte.

7.4 Almacenamiento

Almacene en un ambiente ventilado y seco con una temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad de <60%.

Apéndice A (Apéndice normativo)

A.1 Tabla de correspondencia de materiales de herramientas y piezas de trabajo

P: acero con bajo contenido de carbono, hierro fundido;

Categoría M: acero inoxidable, acero aleado;

Clase K: fundición gris, cobre;

Tipo N: aluminio, magnesio;

Categoría S: acero endurecido, aleación de titanio.

Apéndice B (Apéndice informativo)

B.1 Proceso de fabricación recomendado

Sinterización por pulvimetalurgia : temperatura 1400°C ± 10°C, presión 50 MPa;

Procesamiento de cantos : Precisión de rectificado ±0,01 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ISO 4506:2013

Método de ensayo para la resistencia al desgaste del carburo cementado

Número de norma : ISO 4506:2013

Nombre estándar : Método de prueba para la resistencia al desgaste del carburo cementado

Fecha de lanzamiento : 15 de mayo de 2013

Fecha de entrada en vigor : 15 de noviembre de 2013

Emitido por : Organización Internacional de Normalización (ISO)

Comité Técnico : ISO/TC 119/SC 4 (Materiales de pulvimetalurgia - Carburo cementado)

Prefacio

Esta norma internacional fue desarrollada por ISO/TC 119/SC 4, un comité técnico responsable de la estandarización de materiales de pulvimetalurgia y carburos cementados.

Entre los organismos que la redactaron se incluyen la Asociación Internacional de Carburo Cementado (IHC), la Sociedad Alemana de Materiales (DGM) y otras organizaciones. Esta norma sustituye parcialmente la norma ISO 4506:2002 y actualiza los requisitos de los equipos y procedimientos de ensayo para mejorar la repetibilidad y la precisión de los resultados.

1 Alcance

Esta norma especifica el método, los requisitos del equipo, las condiciones de ensayo, el procesamiento de datos y el formato del informe para el ensayo de resistencia al desgaste del carburo cementado.

Esta norma es aplicable a la evaluación de la resistencia al desgaste de materiales de carburo cementado (como herramientas de corte y piezas de desgaste) en diferentes condiciones de desgaste, abarcando diversos escenarios de ensayo, como fricción en seco, fricción en húmedo y desgaste por erosión.

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 [insertar fecha], sus modificaciones o revisiones posteriores no son aplicables a esta norma, pero se recomienda a todas las partes que estudien si se puede utilizar la versión más reciente. En el caso de los documentos referenciados sin fecha, sus versiones más recientes son aplicables a esta norma.

ISO 6507-1:2005: Ensayo de dureza de metales - Método Vickers Parte 1: Método de ensayo

ISO 3274:1996: Especificaciones geométricas del producto (GPS) - Textura de la superficie: Método del perfil - Términos, definiciones y parámetros de textura de la superficie

ASTM G99-17: Método de prueba de desgaste de pasador sobre disco

ISO 9001:2008: Requisitos del sistema de gestión de calidad

3 Términos y definiciones

3.1 Resistencia al desgaste

La capacidad del carburo cementado para resistir la pérdida de material superficial durante la fricción o el corte, generalmente expresada como tasa de desgaste ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) o pérdida de masa (mg).

3.2 Prueba de desgaste

de pasador sobre disco Un método de prueba estandarizado que utiliza un pasador fijo y un disco

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

giratorio para simular la fricción y el desgaste. 3.3 **Tasa de desgaste**

La pérdida de volumen de material por unidad de carga y distancia de deslizamiento, calculada como: Tasa de desgaste = pérdida de volumen / (carga × distancia de deslizamiento).

4 Requisitos técnicos

4.1 Muestra de prueba

Dimensiones: 10 mm × 10 mm × 5 mm (o según lo requiera el equipo de prueba);

Rugosidad superficial: $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ (según ISO 3274:1996);

Dureza: HV 1300-1800 (según ISO 6507-1:2005).

4.2 Condiciones de prueba

Carga : 10 N a 100 N (ajustable según el material);

Velocidad de deslizamiento : 0,1 m/s a 1,0 m/s;

Distancia de deslizamiento : 100 m a 1000 m;

Ambiente : Fricción seca o con lubricante (solución acuosa al 5% opcional).

4.3 Materiales de control

Utilizando carburo cementado estándar (por ejemplo, WC-10%Co) como referencia, el valor de referencia de la tasa de desgaste es $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

4.4 Precisión de la medición

Precisión de la medición de pérdida de masa: $\pm 0,1 \text{ mg}$;

Precisión de medición del volumen de desgaste: $\pm 0,01 \text{ mm}^3$.

5 Métodos de prueba

5.1 Preparación de la muestra

La superficie de la muestra se pulió a $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ utilizando abrasivo de diamante;

Lavar y secar a 105°C durante 1 h y registrar la masa inicial.

5.2 Requisitos del equipo

Utilice un comprobador de desgaste de pasador sobre disco que cumpla con la norma ASTM G99-17;

Material del disco: acero endurecido (HRC 60 ± 2);

Control de temperatura: 20°C a 30°C , humedad $50\% \pm 10\%$.

5.3 Procedimiento de prueba

Aplique la carga especificada y ponga en marcha la máquina de prueba hasta la distancia de deslizamiento establecida;

La pérdida de masa se registró cada 50 m y el volumen de desgaste se midió después de la prueba;

Repita la prueba 3 veces y tome el valor promedio.

5.4 Procesamiento de datos

Cálculo de la tasa de desgaste: Tasa de desgaste = (masa inicial - masa final) / (carga × distancia de deslizamiento);

El resultado se expresa en $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y con dos decimales.

5.5 Contenido del informe

Composición y dureza del material de la muestra;

Condiciones de prueba (carga, velocidad, distancia);

Tasa de desgaste y desviación estándar;

Mecanismos de desgaste observados (desgaste abrasivo, desgaste adhesivo, etc.).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Para cada lote de productos, se analizarán tres muestras representativas para determinar la resistencia al desgaste. Los resultados deberán cumplir con el valor de referencia del material de control indicado en el apartado 4.3.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de un cambio de material/proceso, repitiendo el procedimiento del apartado 5.3 para comprobar la consistencia de los resultados.

6.3 Reglas de evaluación

. Si la tasa de desgaste supera la del material de control en un 10 %, se repetirán las pruebas con muestras dobles. Si la prueba sigue sin superar la prueba, el lote se considerará no apto.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado El número de norma (ISO 4506:2013),

el número de lote y las condiciones de prueba se marcarán en el embalaje de la muestra. 7.2 Utilice recipientes de plástico a prueba de humedad y golpes **para el embalaje**

, y adjunte el informe de prueba. 7.3 Evite la presión fuerte y la erosión por humedad

durante el transporte, y el vehículo de transporte debe estar cubierto con medidas a prueba de lluvia.

7.4 Almacenamiento

Almacene en un ambiente seco y libre de polvo, con una temperatura de 0 °C a 30 °C y una humedad de <50%.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Parámetros de prueba recomendados

Desgaste a baja velocidad: carga 20 N, velocidad 0,1 m/s, distancia 100 m;

Desgaste a alta temperatura: carga 50 N, velocidad 0,5 m/s, temperatura 600°C.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NASM1515

Sistemas de fijación aeroespaciales

Norma n.º : NASM1515

Nombre estándar : Sistemas de fijación aeroespaciales

Fecha de lanzamiento : 22 de diciembre de 2011

Fecha de entrada en vigor : 22 de diciembre de 2011

Emitido por : Asociación de Industrias Aeroespaciales (AIA)

Estándar de reemplazo : Reemplaza MIL-STD-1515A

Prefacio

Esta norma fue desarrollada por la Asociación de Industrias Aeroespaciales (AIA), responsable del desarrollo y mantenimiento del Estándar Aeroespacial Nacional (NAS).

Entre las unidades de redacción de esta norma se incluyen importantes empresas aeroespaciales como Boeing y Lockheed Martin. Esta norma sustituye a la norma MIL-STD-1515A y busca unificar los requisitos de diseño, materiales y pruebas de los sistemas de fijación aeroespaciales para mejorar el rendimiento, la fiabilidad y la intercambiabilidad, a la vez que reduce los costes y el mantenimiento.

1 Alcance

Esta norma especifica los métodos de fijación, materiales, tratamientos superficiales, métodos de ensayo, estándares de tamaño de orificio y directrices de aplicación para sistemas de fijación aeroespaciales.

Esta norma se aplica a diversos sistemas de fijación utilizados en el diseño y la fabricación aeroespacial, incluyendo pernos, remaches, tuercas y fijaciones autoblocantes, que abarcan aplicaciones aeroespaciales militares y comerciales.

2 Referencias normativas

NASM14218: Remaches sólidos, cabezal de corte con interferencia de punzón de 120°

NASM14191: Ranuras con nervaduras cruzadas desplazadas, calibres y dimensiones de la transmisión

NASM33781: Dimensiones de ranura transversal desplazada, calibre y transmisión

NASM33602: Pernos autorretenedores para aviación: requisitos de diseño de confiabilidad y mantenibilidad

ISO 9001:2008: Requisitos del sistema de gestión de calidad

3 Términos y definiciones

3.1 Los sistemas de fijación

son componentes de hardware que se utilizan para conectar componentes estructurales aeroespaciales, incluidos pernos, tuercas, remaches y abrazaderas.

3.2 Los sujetadores autoblocantes

son sujetadores con un mecanismo de bloqueo incorporado para evitar que se aflojen bajo vibración o cargas dinámicas.

3.3 Los sujetadores de ajuste por interferencia

son sujetadores con un ligero ajuste por interferencia entre el orificio y el sujetador para mejorar la resistencia de la conexión.

4 Requisitos técnicos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Método de fijación

Incluye conexiones roscadas, remachadas y sujetadas, adecuadas para diferentes cargas y condiciones ambientales;

Orificio de ajuste por interferencia recomendado con tolerancia de diámetro de $\pm 0,025$ mm.

4.2 Materiales

Pernos : acero de alta resistencia (como AISI 4340) o aleación de titanio (Ti-6Al-4V);

Remaches : Aleación de aluminio (2024-T4) o acero inoxidable (304);

Tuerca : Acero o aleación de níquel con revestimiento autoblocante.

4.3 Tratamiento de superficies

Recubrimiento anticorrosión: recubrimiento de cadmio o de zinc-níquel (cumple con los requisitos REACH/RoHS);

Coefficiente de fricción: 0,1-0,2 (condiciones de fricción seca).

4.4 Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción : ≥ 1000 MPa (dependiendo del tipo de fijación);

Resistencia al corte : ≥ 800 MPa;

Vida útil por fatiga : $\geq 10^6$ ciclos (a una tensión de 500 MPa).

4.5 Dimensiones y tolerancias

Diámetro del perno: 2 mm a 25 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm;

Longitud del remache: 5 mm a 50 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.

5 Métodos de prueba

5.1 La prueba de tracción

se realiza de acuerdo con la norma ISO 6892-1:2016 para evaluar la resistencia a la tracción y el límite elástico de los sujetadores.

5.2 La prueba de corte

utiliza un dispositivo estándar para aplicar una carga estática y medir la fuerza de corte máxima.

5.3 La prueba de fatiga

se realiza en una mesa vibratoria (frecuencia de 10 a 100 Hz) y se registra el número de ciclos hasta la falla.

5.4 La prueba de corrosión

se realiza de acuerdo con la norma ASTM B117 y se realiza una exposición a niebla salina durante 48 horas para verificar el grado de corrosión superficial .

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de productos se inspeccionará al 100% para determinar la composición del material, las dimensiones y las propiedades mecánicas, y se tomarán muestras del 10% para determinar su resistencia a la corrosión.

6.2 La inspección de tipo

se realizará cada dos años o después de un cambio de proceso, y se inspeccionarán todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de evaluación.

Si un indicador no cumple con las normas, se volverán a inspeccionar muestras dobles. Si la reinspección sigue sin superar la norma, el lote se considerará no apto.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado

El producto deberá estar marcado con el número estándar (NASM1515), el número de pieza y el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

logotipo del fabricante.

7.2 Embalaje El producto

deberá embalsarse en bolsas de plástico o cajas de madera a prueba de humedad y golpes, y cada caja deberá ir acompañada de un informe de inspección. 7.3 Evite la presión fuerte y la erosión por humedad

durante el transporte, y el vehículo de transporte deberá estar cubierto con medidas a prueba de lluvia.

7.4 Almacenamiento El producto

deberá almacenarse en un ambiente ventilado y seco con una temperatura de 0 °C a 40 °C y una humedad de <60 %.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Selección recomendada de sujetadores

Estructura ligera: remaches de aluminio;

Estructura de alta carga: pernos de aleación de titanio;

Entorno de vibración: Tuerca autoblocante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E8/E8M 《Métodos de ensayo de tracción de materiales metálicos》

Número de norma : ASTM E8/E8M

Nombre estándar : Método de ensayo de tracción para materiales metálicos

Fecha de lanzamiento : 1 de noviembre de 2021

Fecha de entrada en vigor : 1 de noviembre de 2021

Emitido por : Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM International)

Norma de reemplazo : Reemplaza ASTM E8/E8M-16a

Prefacio

Esta norma fue desarrollada por el Comité E28 de ASTM (Pruebas Mecánicas), responsable de estandarizar los métodos de prueba para metales y materiales metálicos. Entre las organizaciones que la redactaron se encuentran el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y otras. Esta norma reemplaza a la norma ASTM E8/E8M-16a y actualiza los requisitos de los equipos de prueba y los formatos de informe de datos para adaptarse a las necesidades modernas de pruebas de materiales y al uso del SI.

1 Alcance

Esta norma especifica el método de ensayo de tracción para materiales metálicos, incluyendo la preparación de muestras, el equipo de ensayo, los procedimientos de ensayo, la recopilación de datos y los requisitos de informe.

Esta norma es aplicable a la determinación de la resistencia a la tracción, el límite elástico, la elongación y la reducción de área de materiales metálicos, abarcando diversos metales como el acero, el aluminio, el titanio y sus aleaciones.

2 Referencias normativas

ASTM E4: Calibración de equipos de medición de fuerza, masa y desplazamiento

ASTM E21: Método de prueba de tracción a temperatura elevada

ASTM E83: Validación de dispositivos de medición de deformación

ISO 6892-1:2016: Ensayo de tracción de materiales metálicos — Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente

3 Términos y definiciones

3.1 Resistencia a la tracción

La tensión de tracción máxima alcanzada por la muestra antes de que se estire hasta la fractura, en MPa.

3.2 Límite elástico La tensión

a la que el material pasa de la deformación elástica a la deformación plástica, en MPa.

3.3 Elongación El aumento porcentual

de la longitud calibrada original después de que la muestra se fractura, en %.

4 Requisitos técnicos

4.1 Tipo de muestra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Probetas cilíndricas : diámetro de 5 mm a 12,5 mm, longitud de referencia $5 \times$ diámetro;

Muestra de placa : espesor de 2 mm a 10 mm, ancho de 12,5 mm, longitud de referencia de 50 mm.

4.2 Condiciones de prueba

Temperatura : Temperatura ambiente ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) o temperatura alta especificada por ASTM E21;

Velocidad de carga : 0,005 mm/s a 0,05 mm/s (velocidad de deformación 10^{-4} /s a 10^{-3} /s);

Ambiente : Sin medios corrosivos, humedad $50\% \pm 10\%$.

4.3 Precisión del equipo

Precisión de medición de fuerza: $\pm 1\%$;

Precisión de medición de desplazamiento: $\pm 0,5\%$ (según ASTM E4).

4.4 Requisitos de fractura

La fractura de la muestra debe estar dentro de la longitud de calibración;

Precisión de la medición de contracción seccional: $\pm 0,5\%$.

5 Métodos de prueba

5.1 Preparación de la muestra

La superficie de la muestra está pulida a $Ra \leq 0,8\text{ }\mu\text{m}$;

Marque la longitud del calibre con una herramienta de trazado o un calibre de extensión.

5.2 Calibración del equipo

La máquina de ensayo de tracción está calibrada según ASTM E4;

El dispositivo de medición de deformación está verificado según ASTM E83.

5.3 Procedimiento de prueba

Instalar la muestra y aplicar precarga ($< 10\%$ de límite elástico);

Cargar hasta la fractura a una velocidad de deformación controlada y registrar la curva fuerza-desplazamiento;

Mida la longitud del calibre y el área de la sección transversal después de la fractura.

5.4 Procesamiento de datos

Resistencia a la tracción = fuerza máxima / área de la sección transversal original;

Límite elástico = tensión con una deformación residual del $0,2\%$;

Alargamiento = $[(\text{longitud del calibre después de la rotura} - \text{longitud del calibre original}) / \text{longitud del calibre original}] \times 100\%$.

5.5 Contenido del informe

Material y dimensiones de la muestra;

Temperatura de prueba y velocidad de carga;

Resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento y reducción de área;

Gráfica y descripción de anomalías.

6 Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica.

Cada lote de muestras se analizará tres veces y los datos deberán cumplir con los requisitos de las especificaciones del material.

6.2 La inspección de tipo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se realizará cada dos años o después de cambios en el equipo o proceso, repitiendo el procedimiento 5.3 para verificar la consistencia.

6.3 Reglas de evaluación.

Si algún índice de rendimiento se desvía del valor promedio en $\pm 10\%$, se volverán a analizar muestras dobles. Si la repetición de la prueba sigue sin superar los resultados, el lote se considerará no apto.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Marcado El número de norma (ASTM E8/E8M),

el número de lote y las condiciones de prueba se marcarán en el embalaje de la muestra. 7.2 El embalaje estará

hecho de cajas de plástico o cajas de madera a prueba de humedad y golpes, y se adjuntará el informe de prueba. 7.3 Evite la presión fuerte y la erosión por humedad

durante el transporte, y el vehículo de transporte se cubrirá con medidas a prueba de lluvia.

7.4 Almacenamiento

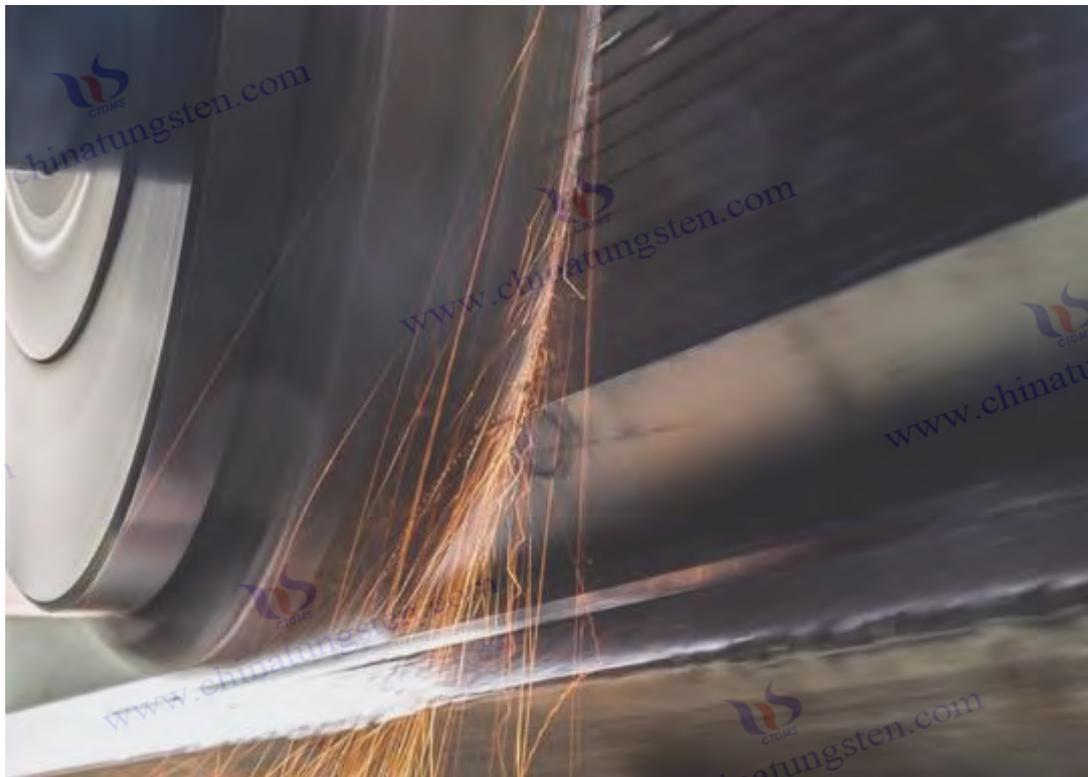
Almacene en un ambiente seco y libre de polvo con una temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad de $<50\%$.

Apéndice X1 (Apéndice informativo)

X1.1 Herramientas recomendadas para la preparación de muestras

Torno o máquina de corte de alambre, precisión $\pm 0,01\text{ mm}$;

Papel de lija de diamante (tamaño de grano 800# y superior).



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM B777-15

Especificación estándar de aleación pesada de tungsteno

Número de norma : ASTM B777-15

Nombre estándar : Especificación estándar de aleación pesada de tungsteno

Fecha de lanzamiento : 1 de diciembre de 2015

Fecha de entrada en vigor : 1 de diciembre de 2015

Emitido por : Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM International)

Norma de reemplazo : Reemplaza ASTM B777-07

Revisión : B777-15R20 (reconfirmada el 17 de abril de 2020)

SOCIEDAD AMERICANA DE PRUEBAS Y MATERIALES

ASTM B777-15

(Aprobado el 1 de diciembre de 2015, Reaprobado el 17 de abril de 2020)

tungsteno , metal de alta densidad

ICS 77.160 Esta norma industrial estadounidense fue desarrollada por ASTM International a través del consenso de la industria y de expertos.

Prefacio

Esta norma fue desarrollada por el Comité B10 de ASTM (Metales Reactivos y Refractarios) con base en las disposiciones del Artículo 12, párrafo 1, de la Ley de Normalización Industrial de los Estados Unidos. Fue propuesta por la Asociación Japonesa de la Industria del Tungsteno (JTIA) y otras organizaciones relevantes con un borrador y aprobada por el Ministro.

Esta norma se publicó por primera vez el 1 de diciembre de 2015, reemplazando a la ASTM B777-07, y fue reafirmada el 17 de abril de 2020 (Revisión B777-15R20) para reflejar los requisitos más recientes para aleaciones pesadas de tungsteno en aplicaciones de alta densidad. Esta norma se aplica a metales de alta densidad a base de tungsteno preparados mediante procesos de pulvimetalurgia, que se utilizan ampliamente en contrapesos de equilibrio estático/dinámico, componentes inerciales giratorios de alta velocidad, blindaje contra la radiación, impactos a alta velocidad y aplicaciones de reducción de vibraciones.

1. Alcance

1.1 Esta especificación abarca los requisitos para cuatro clases de metales mecanizables de alta densidad a base de tungsteno, preparados mediante la compactación de mezclas de polvo metálico, cuyo componente principal es el tungsteno. Esta especificación de material puede utilizarse para piezas sin tratar o para piezas que puedan recubrirse con otros materiales para protegerlas contra la corrosión y el desgaste.

1.2 Esta especificación describe los ensayos físicos, mecánicos y microestructurales de lotes de material basándose en muestras de ensayo y no en piezas reales. Dado que las propiedades sinterizadas generalmente varían según el tamaño de la pieza y la ubicación del muestreo, los resultados de las muestras de ensayo pueden diferir de las propiedades de porciones específicas de piezas más grandes. 1.3 Usos previstos: Las piezas fabricadas con este material son adecuadas 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

los siguientes usos: contrapesos o masas de equilibrado en equilibrado estático o dinámico, elementos de inercia giratorios de alta velocidad, blindaje contra la radiación y aplicaciones de amortiguación de impactos y vibraciones a alta velocidad. Al seleccionar una aleación para una aplicación específica, debe tenerse en cuenta que, a medida que aumenta el contenido de tungsteno de la aleación, aumentan la rigidez, la atenuación de la radiación y la densidad, mientras que la ductilidad alcanzable disminuye.

2. Referencias normativas

Las siguientes normas constituyen las disposiciones de esta especificación mediante referencia en este texto. Se aplica la última versión (incluidas las modificaciones).

ASTM E8/E8M: Métodos de ensayo de tracción para materiales metálicos

ASTM B311: Método de prueba para la densidad de materiales de pulvimetalurgia (PM) (porosidad inferior al 2%)

ASTM E9: Métodos de ensayo de compresión para materiales metálicos

ASTM E10: Método de prueba para la dureza Brinell de metales

Norma Federal Fed. Std. N.º 151: Métodos de prueba de metales (disponible en el Servicio de Documentación de la DLA)

3. Términos y definiciones

3.1 Metales de alta densidad a base de tungsteno

Metales mecanizables producidos mediante la compactación de una mezcla de polvos metálicos, principalmente tungsteno, con una densidad usualmente superior a 17 g/cm³.

3.2 Metalurgia de polvos Procesos de producción de materiales mediante prensado y sinterización de una mezcla de polvos metálicos. 3.3 Propiedades sinterizadas

Propiedades físicas y mecánicas de un material formado por la unión de partículas de polvo a altas temperaturas.

4. Clasificación

Esta especificación especifica cuatro tipos de aleaciones pesadas de tungsteno, clasificadas por contenido y densidad de tungsteno:

Clase 1: 90 % W, densidad 17,0-17,25 g/cm³

Clase 2: 92,5 % W, densidad 17,25-17,85 g/cm³

Clase 3: 95 % W, densidad 17,75-18,35 g/cm³

Clase 4: 97 % W, densidad 18,25-18,85 g/cm³

5. Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Contenido de tungsteno (W): 90%-97% (fracción de masa, según la categoría);

Aglutinante (níquel + hierro o níquel + cobre): 3%-10%; contenido total de impurezas: <0,5%.

5.2 Propiedades físicas

Densidad: Medida según ASTM B311, rango 17,0-18,85 g/cm³ (dependiendo del tipo);

Microestructura: Sinterización uniforme, sin poros evidentes (porosidad <2%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Propiedades mecánicas

resistencia a la tracción:

Clase 1: ≥ 700 MPa

Clase 2: ≥ 850 MPa

Clase 3: ≥ 900 MPa

Clase 4: ≥ 1100 MPa

Fuerza de fluencia:

Clase 1: ≥ 550 MPa

Clase 2: ≥ 650 MPa

Clase 3: ≥ 750 MPa

Clase 4: ≥ 900 MPa

Alargamiento:

Clase 1: $\geq 20\%$

Clase 2: $\geq 10\%$

Clase 3: $\geq 5\%$

Clase 4: $\geq 2\%$

Dureza: HV 250-400 (creciente por categoría).

5.4 Tratamiento de superficies

Hay disponibles recubrimientos opcionales como cadmio o níquel-zinc para mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste.

6. Métodos de prueba

6.1 Análisis químico

Utilice un espectrómetro o un método de fluorescencia de rayos X para confirmar el contenido de tungsteno y aglutinante.

6.2 Medición de densidad

Realizado según norma ASTM B311, utilizando el método de Arquímedes, con una precisión de $0,01 \text{ g/cm}^3$.

6.3 Ensayo de tracción

De acuerdo con la norma ASTM E8/E8M, se prueban la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento.

6.4 Prueba de dureza

Según ASTM E10, utilice un probador de dureza Brinell, carga 3000 kg.

6.5 Inspección de la microestructura

Utilice un microscopio óptico con un aumento de 50x para comprobar la porosidad y la uniformidad.

7. Reglas de inspección

7.1 Inspección de fábrica

Para cada lote de productos, se prueban tres muestras para determinar densidad, propiedades de tracción y dureza, y los resultados cumplen con los requisitos de 5.2 y 5.3.

7.2 Inspección de tipo

Cada dos años o después de un cambio de proceso, repita el procedimiento 6.3 para verificar la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

consistencia.

7.3 Reglas de decisión

Si algún indicador de rendimiento se desvía del valor especificado en $\pm 10\%$, se deben repetir las pruebas de las muestras. Si la prueba sigue sin éxito, el lote se considera no apto.

8. Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

8.1 Logotipo

El producto está marcado con el número de norma (ASTM B777-15), categoría (Clase 1-4) y número de lote de producción.

8.2 Embalaje

Utilice cajas de madera o plástico a prueba de humedad y golpes y adjunte informes de inspección.

8.3 Transporte

Para evitar una fuerte presión y erosión por humedad, los medios de transporte deben estar cubiertos con medidas impermeables.

8.4 Almacenamiento

Conservar en un ambiente seco y libre de polvo entre 0°C y 40°C y con una humedad $<60\%$.

9. Palabras clave

Aleación pesada de tungsteno ; metal de alta densidad; resistencia a la tracción; límite elástico; ductilidad; protección contra la radiación; amortiguación de vibraciones

Apéndice X1 (Apéndice informativo)

X1.1 Ejemplos de aplicación

Clase 1: Peso de baja densidad, fácil de procesar;

Clase 2: Peso de equilibrio y blindaje médico;

Clase 3: Blindaje contra rayos X y rayos gamma;

Clase 4: Aplicaciones de impacto de alta velocidad y blindaje de radiación de alta densidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

BS EN 10360:2005 Condiciones técnicas de suministro para tubos de carburo cementado

ESTÁNDAR EUROPEO BRITÁNICO

(Establecido el 15/12/2005)

(Confirmado el 15/12/2015)

Condiciones para el metal duro

Tubos

ICS 77.160

Esta norma europea británica se ha preparado según el consenso del Comité Europeo de Normalización (CEN) y se ha adoptado como norma británica por la British Standards Institution (BSI).

Prefacio

Esta Norma Europea Británica fue elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 76 (Materiales Duros), responsable de la normalización del carburo cementado y sus productos.

Esta norma fue adoptada por la British Standards Institution (BSI) como norma nacional del Reino Unido y redactada por la Asociación de Metales Duros del Reino Unido y representantes de los fabricantes pertinentes.

Esta norma se publicó por primera vez el 15 de diciembre de 2005 y su validez se confirmó el 15 de diciembre de 2015. Su objetivo es especificar los requisitos de fabricación, inspección y entrega de tubos de carburo cementado para aplicaciones industriales resistentes al desgaste y la corrosión.

Nota: Esta norma puede incluir la coordinación con normas internacionales (como ISO). Consulte los registros oficiales de BSI para conocer el historial de revisiones.

1. Alcance

Esta norma especifica las condiciones técnicas de suministro de los tubos de carburo cementado producidos mediante pulvimetalurgia, incluyendo la composición química del material, las dimensiones y tolerancias, las propiedades mecánicas, la calidad superficial, los métodos de inspección y ensayo, y los requisitos de los documentos de entrega.

Esta norma se aplica a la fabricación, comercialización y uso de tubos de carburo cementado, ampliamente utilizados en herramientas de corte, tuberías resistentes al desgaste y componentes para entornos de alta temperatura.

2. Referencias normativas

Las siguientes normas contienen cláusulas que, al ser referenciadas en este texto, se convierten en cláusulas de esta norma. Se aplicará la versión más reciente (incluidas las modificaciones).

BS EN 10021:1993: Condiciones técnicas generales de suministro de productos de acero

BS EN ISO 377:2017: Acero y productos de acero – Muestreo y preparación de muestras de ensayo

BS EN 10204:2004: Documentos de inspección para productos metálicos

BS EN ISO 6507-1:2005: Ensayo de dureza de metales - Método Vickers

BS EN 843-1:2006: Cerámica avanzada - Propiedades mecánicas - Ensayo de resistencia a la flexión

3. Términos y definiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los siguientes términos y definiciones se aplican a esta norma:

3.1 Los tubos de carburo cementado

son productos tubulares hechos de carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, producidos por pulvimetalurgia, con alta dureza y resistencia al desgaste.

3.2 Condiciones técnicas de entrega Los requisitos de material, dimensiones y rendimiento que el fabricante debe cumplir al entregar el producto. 3.3 Proceso de pulvimetalurgia El método de fabricación de preparar tubos mediante prensado y sinterización de una mezcla de polvo metálico.

4. Requisitos técnicos

4.1 Composición química de los materiales

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 85% a 92% (fracción de masa);

Contenido de cobalto (Co): 6% a 12%;

Aditivos opcionales (como TiC , TaC) : 0,5% a 3% para mejorar la resistencia al desgaste;

Contenido total de impurezas: <0,5%.

4.2 Dimensiones y tolerancias

Diámetro exterior: 10 mm a 100 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm;

Espesor de pared: 2 mm a 20 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm;

Longitud: 100 mm a 2000 mm, tolerancia ± 5 mm.

4.3 Propiedades mecánicas

Dureza: HV 1400 a 1800 (según BS EN ISO 6507-1:2005);

Resistencia a la flexión: ≥ 2000 MPa (según BS EN 843-1:2006);

Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste $< 0,05$ mm³ / N · m (consulte el estándar de la industria).

4.4 Calidad de la superficie

Rugosidad superficial: $R_a \leq 0,4$ μ m ;

Sin grietas ni poros evidentes (porosidad <1%).

4.5 Entrega de Documentos

De acuerdo con BS EN 10204:2004, proporcionar documentos de inspección de tipo 2.1, 2.2, 3.1 o 3.2.

5. Métodos de prueba

5.1 Análisis químico

Realizado de acuerdo con BS EN ISO 377:2017 utilizando espectrómetro o fluorescencia de rayos X.

5.2 Prueba de dureza

Según BS EN ISO 6507-1:2005, utilizando un probador de dureza Vickers, carga 30 kg.

5.3 Prueba de resistencia a la flexión

La prueba se llevó a cabo de acuerdo con BS EN 843-1:2006, utilizando el método de flexión de tres puntos con un tamaño de muestra de 20 mm \times 5 mm \times 5 mm.

5.4 Inspección dimensional

Utilice un calibrador vernier y un comprobador de rugosidad superficial con una precisión de 0,01 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Inspección de la calidad de la superficie

Utilice un microscopio óptico (aumento de 50×) para comprobar si hay grietas y poros.

6. Reglas de inspección

6.1 Inspección de fábrica

Para cada lote de productos, se prueban tres muestras para determinar dureza, resistencia a la flexión y dimensiones, y los resultados cumplen los requisitos de 4.3 y 4.2.

6.2 Inspección de tipo

Se realiza cada dos años o después de un cambio de proceso para verificar todos los requisitos técnicos.

6.3 Reglas de decisión

Si la dureza o la resistencia a la flexión se desvían del valor especificado en $\pm 5\%$, se deberá repetir el doble de las muestras. Si la repetición del ensayo sigue sin superar la prueba, el lote se considera no apto.

7. Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Logotipo

El producto está marcado con el número de norma (BS EN 10360:2005), el número de lote y el logotipo del fabricante.

7.2 Embalaje

Utilice cajas de madera o plástico a prueba de humedad y golpes, con documentos de inspección adjuntos.

7.3 Transporte

Para evitar una fuerte presión y erosión por humedad, los medios de transporte deben estar cubiertos con medidas impermeables.

7.4 Almacenamiento

Conservar en un ambiente seco y libre de polvo entre 0°C y 30°C y con una humedad $<50\%$.

Apéndice A (Apéndice informativo)

A.1 Proceso de fabricación recomendado

Sinterización por pulvimetalurgia: temperatura $1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, presión 50 MPa;

Mecanizado de diámetro exterior: precisión de rectificado $\pm 0,05\text{ mm}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

JIS G 0570

Método de prueba para la resistencia a la corrosión del carburo cementado ESTÁNDAR INDUSTRIAL JAPONÉS

(Norma industrial japonesa)

JIS G 0570:2010

(Establecido el 22 de marzo de 2010) (Revisado el 22 de marzo de 2010)

Método de prueba de resistencia a la corrosión para carburo cementado

ICS 77.160

Esta Norma Industrial Japonesa es establecida por el Comité de Normas Industriales de Japón mediante consenso entre expertos técnicos y de la industria.

Prefacio

Esta Norma Industrial Japonesa fue establecida por el Ministro de Economía, Comercio e Industria de conformidad con el Artículo 12, párrafo 1, de la Ley de Normalización Industrial, mediante deliberación del Comité de Normas Industriales de Japón, con base en una propuesta para el establecimiento de una nueva norma presentada por la Asociación Japonesa de Industrias del Tungsteno (JTIA) y un borrador adjunto.

Esta norma especifica el método para probar la resistencia a la corrosión del carburo cementado y es aplicable a la evaluación del rendimiento del carburo cementado en entornos corrosivos, como herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste.

Nota: La norma actual puede contener revisiones históricas o referencias internacionales, que no se incluyen aquí.

1. Alcance

Esta norma especifica el método para probar la resistencia a la corrosión del carburo cementado, incluyendo la preparación de muestras, las condiciones de prueba, los métodos de evaluación y los requisitos de informe.

Esta norma se aplica al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como componente principal y cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, ampliamente utilizado en entornos ácidos, alcalinos o salinos.

2. Referencias normativas

Las siguientes normas constituyen el contenido de esta norma mediante referencia en este texto. Se aplica la última versión (incluidas las modificaciones).

JIS G 0575:2005: Reglas generales para ensayos de corrosión de materiales metálicos

JIS Z 2371:2015: Método de prueba de niebla salina

JIS H 8502:1999: Reglas generales para pruebas de corrosión de recubrimientos metálicos

JIS B 7502:1994: Calibradores Vernier, indicadores de cuadrante y calibradores digitales

3. Términos y definiciones

Los términos y definiciones aplicables a esta norma son los siguientes:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1 El carburo cementado es un material compuesto hecho de carburo de tungsteno (WC) como componente principal y aglutinantes metálicos como cobalto (Co) o níquel (Ni).

3.2 Resistencia a la corrosión

La capacidad del carburo cementado para resistir la pérdida de material o el daño superficial en medios corrosivos, generalmente expresada como pérdida de masa o tasa de corrosión. 3.3 Prueba de niebla salina Una prueba de corrosión estándar realizada en condiciones específicas utilizando una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 5% para simular un entorno salino.

4. Muestra

4.1 Forma y tamaño

La muestra deberá ser cilíndrica con un diámetro de 10 mm y una longitud de 20 mm, o rectangular con dimensiones de 20 mm × 20 mm × 5 mm.

Rugosidad superficial: $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$, preparada mediante rectificado de diamante.

4.2 Preparación

Las muestras se limpiaron con etanol y se secaron a 60°C durante 1 hora.

Los bordes deben estar biselados para evitar concentraciones de tensión.

5. Métodos de prueba

5.1 Condiciones de prueba

Medio de prueba: solución de NaCl al 5% (pH 6,5-7,2) o solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10% (seleccionada de acuerdo).

Temperatura: $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ para prueba de niebla salina y $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ para prueba de inmersión en ácido.

Tiempo de exposición: 24 horas, 48 horas o 96 horas (según convenido).

5.2 Procedimiento de prueba

La muestra se coloca en una cámara de prueba de niebla salina conforme a JIS Z 2371 o se sumerge en una solución ácida controlada.

Mantener la exposición continua sin interrupciones.

Después de la prueba, enjuague con agua destilada y mida la pérdida de masa después del secado.

5.3 Evaluación

Pérdida de masa: Pesar antes y después de la prueba utilizando una balanza analítica con una precisión de $\pm 0,1 \text{ mg}$.

Inspección de la superficie: utilice un microscopio de 50x para comprobar si hay picaduras o grietas.

Tasa de corrosión: se calcula según la fórmula: Tasa de corrosión = pérdida de masa / (área de exposición × tiempo de exposición), la unidad es $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$.

6. Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

Material y dimensiones de la muestra; medio de prueba, temperatura y tiempo de exposición; pérdida de masa y tasa de corrosión; registro fotográfico del estado de la superficie;

Fecha de prueba y firma del operador.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Inspección

7.1 Inspección de fábrica

Se prueban tres muestras de cada lote de muestras para garantizar que cumplan con los criterios de evaluación del apartado 5.3.

7.2 Inspección de tipo

Esta prueba se lleva a cabo una vez al año o después de un cambio de proceso, y se repite el procedimiento de prueba completo.

7.3 Juicio

Si la pérdida de masa supera los $0,5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ o se observan picaduras evidentes, se repetirá el doble de la muestra. Si la repetición del análisis sigue sin éxito, el lote se considerará no apto.

Apéndice JA (Apéndice informativo)

JA.1 Medio de prueba recomendado

Ambiente marino: solución de NaCl al 5%.

Entornos de procesamiento químico: 10 % H_2SO_4 o 5 % HCl (seleccionado según la aplicación) .



DIN 17350

**Requisitos técnicos para el carburo cementado de alto rendimiento
Condiciones técnicas de suministro de carburos cementados de alto rendimiento**

ICS 77.160

Instituto Alemán de Normalización

(Norma alemana)

DIN 17350:1980-10

(Fecha de publicación: octubre de 1980)

(Fecha de revisión: Sin última revisión, a partir del 5 de julio de 2025)

Esta norma alemana fue desarrollada por el Instituto Alemán de Normalización (DIN) con base en requisitos técnicos industriales y es aplicable a la fabricación, inspección y entrega de carburos cementados de alto rendimiento.

Prefacio

Esta norma fue desarrollada por el Comité Técnico DIN NA 066-01-01 AA (Aceros para Herramientas y Materiales Duros) para especificar las condiciones técnicas de suministro de carburos cementados de alto rendimiento, incluyendo la composición del material, las propiedades mecánicas, las tolerancias dimensionales y los requisitos de inspección.

Esta norma se aplica a los carburos cementados que contienen carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinantes, ampliamente utilizados en herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste y aplicaciones de alta temperatura. Esta norma se publicó por primera vez en octubre de 1980 y no ha sido revisada significativamente desde entonces, pero se pueden consultar normas posteriores relacionadas en aplicaciones prácticas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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. Alcance

Esta norma especifica las condiciones técnicas de suministro del carburo cementado de alto rendimiento, incluyendo los requisitos del material, las propiedades mecánicas, las dimensiones y tolerancias, la calidad superficial, los métodos de inspección y los documentos de entrega.

Esta norma se aplica a los productos de carburo cementado fabricados mediante pulvimetalurgia y abarca aplicaciones de alta demanda, como herramientas de corte, matrices y recubrimientos resistentes al desgaste.

2. Referencias normativas

Las cláusulas contenidas en las siguientes normas se convierten en las cláusulas de esta norma mediante su referencia en este texto. Se aplicará la versión más reciente (incluidas sus modificaciones).

DIN EN ISO 4506:2013: Métodos de ensayo para la resistencia al desgaste de carburos cementados

DIN EN 10204:2004: Documentos de inspección para productos metálicos

DIN EN ISO 6507-1:2018: Ensayo de dureza Vickers para materiales metálicos

DIN EN 10021:1993: Condiciones técnicas generales de suministro de productos de acero

3. Términos y definiciones

3.1 El carburo cementado de alto rendimiento

es un material de alta dureza y resistente al desgaste hecho de carburo de tungsteno (WC) como componente principal y un aglutinante como cobalto (Co), níquel (Ni) o titanio (Ti). 3.2 Condiciones técnicas de entrega Los requisitos de material, rendimiento y dimensiones que el fabricante debe cumplir al entregar el producto. 3.3 Proceso de pulvimetalurgia El método de fabricación para preparar carburo cementado mediante prensado y sinterización de una mezcla de polvo metálico.

4. Requisitos técnicos

4.1 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 85%-95% (fracción de masa);

Contenido de aglutinante (Co, Ni o Ti): 5%-15%;

Aditivos opcionales (como TiC, TaC): 0%-5%, se utiliza para mejorar el rendimiento;

Contenido total de impurezas: <0,5%.

4.2 Propiedades mecánicas

Dureza: HV 1400-1800 (determinada según DIN EN ISO 6507-1);

Resistencia a la flexión: ≥ 2000 MPa;

Tenacidad a la fractura: $K_{IC} \geq 8$ MPa·m^{1/2};

Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N·m (consulte DIN EN ISO 4506).

4.3 Dimensiones y tolerancias

Diámetro: 5 mm a 50 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm;

Longitud: 50 mm a 500 mm, tolerancia ± 2 mm;

Espesor de pared (para tubos): 2 mm a 10 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.

4.4 Calidad de la superficie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rugosidad superficial: $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$;

Sin grietas evidentes, poros o inclusiones de escoria (porosidad <1%).

4.5 Tratamiento térmico

Tratamiento opcional de carburación o recubrimiento de superficie para mejorar la resistencia a la corrosión;

Temperatura de sinterización: 1400°C-1500°C, ajustada según la composición del material.

5. Métodos de prueba

5.1 Análisis químico

Se realiza según DIN EN ISO 377 mediante espectrómetro o fluorescencia de rayos X.

5.2 Prueba de dureza

Según DIN EN ISO 6507-1, utilizando un comprobador de dureza Vickers, carga 30 kg.

5.3 Prueba de resistencia a la flexión

Según DIN EN 843-1, método de flexión de tres puntos, tamaño de muestra 10 mm × 5 mm × 5 mm.

5.4 Prueba de resistencia a la abrasión

Realizado según DIN EN ISO 4506, utilizando un comprobador de desgaste de pasador sobre disco con una carga de 50 N y una distancia de deslizamiento de 500 m.

5.5 Inspección dimensional

Utilice calibradores de precisión y perfiladores de superficies con una exactitud de 0,01 mm.

6. Inspección y pruebas

6.1 Inspección de fábrica

Para cada lote de productos, se prueban tres muestras para determinar dureza, resistencia a la flexión y resistencia a la abrasión, y cumplen los requisitos del apartado 4.2.

6.2 Inspección de tipo

Repita los procedimientos 5.2 a 5.4 cada dos años o después de un cambio de proceso.

6.3 Reglas de decisión

Si la dureza es un 10 % inferior al valor especificado o la resistencia a la flexión es inferior al 5 %, se deben repetir las pruebas del doble de muestras. Si la prueba sigue sin superar la prueba, el lote se considera no apto.

7. Marcado y embalaje

7.1 Logotipo

El producto está marcado con el número de norma (DIN 17350), el grado de material y el número de lote.

7.2 Embalaje

Utilice cajas de madera o contenedores de plástico a prueba de humedad y golpes y adjunte informes de inspección.

7.3 Transporte y almacenamiento

Evite la fuerte presión y la erosión por humedad durante el transporte;

Conservar en ambiente seco entre 0°C y 30°C y humedad <60%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apéndice A (Informativo)

A.1 Aplicaciones recomendadas

Herramientas de corte: dureza HV 1600 o superior, resistencia a la flexión ≥ 2200 MPa;

Recubrimiento resistente al desgaste: Contiene aditivos TiC, excelente resistencia a la corrosión.

GOST 3882-74

ГОСТ (estándar estatal ruso)

Requisitos técnicos del carburo cementado

Aleaciones duras. Especificaciones

ICS 77.160 OKP 19 6500, 19 6600

Desarrollado y aprobado por el Comité Estatal de Normas de la URSS. (Publicado el 15 de agosto de 1974) (Confirmado en 2008, última versión revisada)

Prefacio

Esta norma fue emitida por el Comité Estatal de Normalización de la URSS (Gostrov Esta norma se emitió el 15 de agosto de 1974 y se reeditó en junio de 1998. Contiene seis revisiones, de 1974 a 2008 (n.º 1-6), con el objetivo de estandarizar la clasificación, los requisitos técnicos y los métodos de inspección del carburo cementado.

Nota:

Esta versión es contenido derivado, y el historial de revisiones y el contenido reales deben referirse a los documentos oficiales.

1 Alcance

Esta norma especifica los requisitos técnicos del carburo cementado, incluyendo la composición del material, las propiedades mecánicas, las tolerancias dimensionales, la calidad superficial y las normas de inspección. Esta norma se aplica al carburo cementado producido mediante pulvimetalurgia y se utiliza ampliamente en herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste y equipos industriales.

2 Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos se convierten en cláusulas de esta norma mediante su referencia en ella. Se aplicará la versión más reciente en el momento de su publicación.

GOCT 20019-74: Requisitos técnicos generales para polvos metálicos

GOCT 2999-75: Métodos para el muestreo de polvos metálicos

GOCT 9454-78: Método de ensayo de impacto de metales

ГОСТ 26388-84: Método de ensayo para la resistencia a la flexión del carburo cementado

3 Términos y definiciones

3.1 El carburo cementado

es un material compuesto hecho de carburo de tungsteno (WC) como componente principal, con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinante, y sinterizado por pulvimetalurgia. 3.2 Requisitos técnicos Las especificaciones del material, rendimiento y tamaño que se deben cumplir cuando se entrega el producto. 3.3 Resistencia a la flexión La tensión máxima que el material puede soportar en una prueba de flexión de tres puntos, en MPa.

4 Requisitos técnicos

4.1 Clasificación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Esta norma especifica los siguientes grados de carburo cementado:

BK6: WC 94%, Co 6%, rango de dureza HV 1300-1400;

BK8: WC 92%, Co 8%, rango de dureza HV 1250-1350;

BK15: WC 85%, Co 15%, rango de dureza HV 1100-1200;

TK10: WC 90%, TiC 10%, rango de dureza HV 1400-1500;

TK 15 : WC 85%, TiC 15%, rango de dureza HV 1350-1450;

TK20: WC 80%, TiC 20%, rango de dureza HV 1300-1400.

4.2 Composición del material

Contenido de carburo de tungsteno (WC): 80% a 94% (fracción de masa); contenido de cobalto (Co): 6% a 15%; aditivos opcionales (como TiC , TaC) : 0% a 20%; contenido total de impurezas: <0,5%.

4.3 Propiedades mecánicas

Dureza: HV 1100 a 1500 (dependiendo del grado);

Resistencia a la flexión: ≥ 1200 MPa (según GOCT 26388-84);

Densidad: 14,5 a 15,0 g/cm³ (dependiendo del grado);

Resistencia al desgaste: Tasa de desgaste <0,05 mm³ / N · m (prueba de referencia).

4.4 Dimensiones y tolerancias

Diámetro de la varilla: 5 mm a 40 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm; Longitud de la varilla: 50 mm a 300 mm, tolerancia ± 2 mm;

Espesor de la chapa: 2 mm a 20 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm; rugosidad superficial: Ra $\leq 0,4$ μ m.

4.5 Calidad de la superficie

La superficie debe ser lisa, sin grietas, poros ni inclusiones (porosidad <1%);

Se permiten rayones leves o marcas de mecanizado, con una profundidad que no exceda el 50% del límite de tolerancia superior.

4.6 Estado de entrega

El producto debe estar en estado sinterizado y puede rectificarse o pulirse según los requisitos del pedido.

5 Métodos de prueba

5.1 Análisis químico

Según GOCT 20019-74, utilice análisis espectroscópico o análisis químico con una precisión del 0,01%.

5.2 Prueba de dureza

De acuerdo con la norma GOCT 2999-75, utilice un comprobador de dureza Vickers, cargue 30 kg, mida 5 puntos y tome el valor promedio.

5.3 Prueba de resistencia a la flexión

Según GOCT 26388-84, método de flexión de tres puntos, tamaño de muestra 20 mm \times 6,5 mm \times 5,2 mm, temperatura de prueba 20 °C \pm 2 °C.

5.4 Medición de densidad

Medido por el método de Arquímedes utilizando una balanza de precisión con una exactitud de 0,01 g/cm³ .

5.5 Inspección de la calidad de la superficie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Utilice un microscopio óptico (aumento de 50x) para comprobar si hay defectos en la superficie;
La rugosidad de la superficie se midió utilizando un perfilador de superficies según GOCT 2789-73.

6 Inspección

6.1 Inspección de fábrica

Se seleccionan aleatoriamente tres muestras de diferentes posiciones de cada lote de productos para las propiedades mecánicas especificadas en la Sección 4.3 y las pruebas dimensionales especificadas en la Sección 4.4. Los resultados de las pruebas deben cumplir con los requisitos técnicos; de lo contrario, se repetirán las pruebas de las muestras duplicadas.

6.2 Inspección de tipo

Una vez cada dos años o después de un cambio de proceso, tome no menos de 5 muestras y repita todas las pruebas de las Secciones 5.2 a 5.5.

6.3 Reglas de decisión

Si algún índice de rendimiento (como dureza, resistencia a la flexión) se desvía del valor especificado en $\pm 5\%$, o la densidad se desvía en $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, se requiere una nueva inspección de la muestra; si la nueva inspección sigue fallando, el lote se considera no calificado.

7 Marcado, embalaje, transporte y almacenamiento

7.1 Logotipo

El producto debe estar marcado con el número estándar (GOCT 3882-74), el número de marca (por ejemplo, BK8), el número de lote y la fecha de fabricación.

7.2 Embalaje

Las barras y placas deben agruparse y envolverse con papel resistente a la humedad (GOCT 9569-79) o película plástica;

Cada lote va acompañado de un certificado de inspección que cumple con los requisitos de GOCT 14192-96.

7.3 Transporte

Evite la presión fuerte y la humedad durante el transporte y utilice vehículos o contenedores cubiertos.

7.4 Almacenamiento

Conservar en un almacén seco y ventilado entre -10°C y 40°C y con una humedad relativa $<70\%$.

Apéndice A (informativo)

A.1 Proceso de fabricación recomendado

Preparación del polvo: según GOCT 20019-74, tamaño de partícula $0,5\text{-}5 \mu\text{m}$;

Sinterización: temperatura de 1400°C a 1500°C , presión de $40\text{-}50 \text{ MPa}$, atmósfera protectora de hidrógeno o argón;

Post-procesamiento: precisión de rectificado $\pm 0,05 \text{ mm}$, pulido a $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ (opcional).

A.2 Ejemplos de aplicación

BK6: adecuado para herramientas de corte de alta precisión;

TK20: Adecuado para recubrimientos resistentes al desgaste y matrices de estampación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apéndice B (Informativo) B.1 Tabla de control de calidad

Marca	Dureza (HV)	a la flexión (MPa)	Densidad (g/cm ³)	Desviación admisible (%)
VK6	1300-1400	≥1400	14.8-15.0	±5
VK8	1250-1350	≥1300	14.7-14.9	±5
VK15	1100-1200	≥1200	14.5-14.7	±5
TK10	1400-1500	≥1500	14.6-14.8	±5



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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