

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

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

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

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

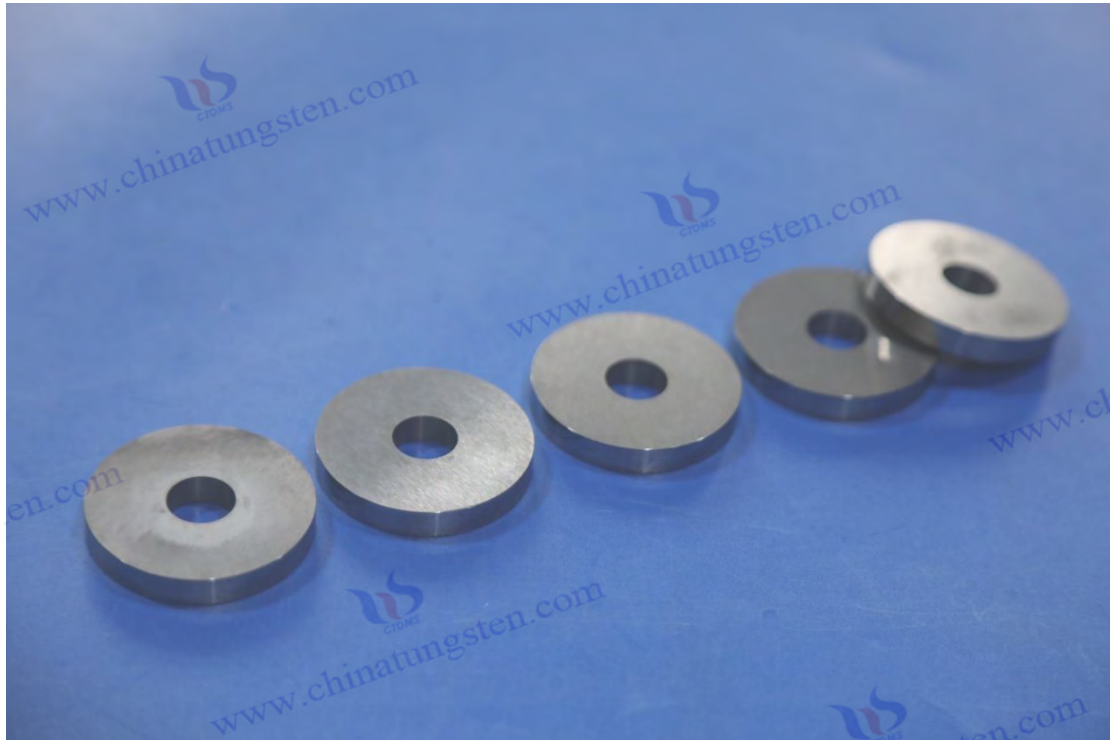
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Parte 2: Proceso de preparación del carburo cementado

Capítulo 6: Tecnología de recubrimientos y compuestos

Las aleaciones duras (WCCo) desempeñan un papel importante en los campos de la ingeniería aeroespacial, minera, energética y de aguas profundas debido a su excelente dureza ($HV1500-2500 \pm 30$), buena tenacidad ($K_{Ic} 8-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y excelente resistencia a la compresión ($>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$). Sin embargo, en condiciones de trabajo extremas, altas temperaturas ($>1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), corrosión fuerte ($\text{pH} < 4 \pm 0,1$) e impactos elevados ($>10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$) imponen mayores requisitos de rendimiento superficial, y es difícil que una sola aleación dura cumpla completamente con estos requisitos.

La tecnología de recubrimiento y compuestos mejora significativamente la resistencia al desgaste (tasa de desgaste $< 0,06 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$) y la resistencia a la fatiga térmica (vida útil $> 10^5$ veces $\pm 10^4$ veces) mediante la modificación de la superficie (espesor del recubrimiento $10-200 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$) y la optimización estructural (capa de gradiente, nano WC $< 100 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$). Estas tecnologías no solo extienden la vida útil del carburo cementado, sino que también amplían su rango de aplicación, como álabes de turbinas de aviación (vida útil > 5000 horas ± 500 horas), brocas de minería ($> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) y válvulas de aguas profundas (> 5 años $\pm 0,5$ años).

En este capítulo se analizan los procesos clave y los principios técnicos desde cuatro aspectos: **preparación del recubrimiento de carburo cementado**, **Materiales de recubrimiento, carburo cementado nanoestructurado y de gradiente**, y **pruebas de rendimiento de recubrimiento**. La

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

preparación del recubrimiento se centra en la tecnología de pulverización térmica (como HVOF, APS, pulverización por detonación) y logra un recubrimiento de alta dureza ($HV\ 1200-1500 \pm 30$) optimizando los parámetros de pulverización (velocidad $600-4000\ m/s \pm 10\ m/s$, temperatura $2000-15000\ ^\circ C \pm 100\ ^\circ C$); la optimización del material cubre WCCo, WCNiCr y recubrimientos multifásicos (como WCTiCNi), equilibrando dureza y tenacidad ($K_{IC}\ 10-15\ MPa \cdot m^{1/2} \pm 0,5$); el gradiente y la nanoestructura mejoran el rendimiento integral (resistencia $> 4500\ MPa \pm 100\ MPa$) mediante ingeniería de interfaz y fortalecimiento de nanocristales; Las pruebas de rendimiento verifican la fiabilidad del recubrimiento según normas (como ASTM G65 e ISO 6508). Cada sección combina detalles del proceso, mecanismos científicos, estrategias de optimización y prácticas de ingeniería para revelar el valor fundamental de la tecnología de recubrimientos y compuestos.

Por ejemplo, el recubrimiento WC12Co pulverizado con HVOF (velocidad $700\ m/s \pm 10\ m/s$, espesor $100\ \mu m \pm 1\ \mu m$) permite que las palas de turbinas de aviación mantengan un desgaste bajo ($< 0,05\ mm^3/N \cdot m \pm 0,01\ mm^3/N \cdot m$) en un flujo de aire de alta temperatura ($1000\ ^\circ C \pm 10\ ^\circ C$), con una vida útil de más de $5000\ horas \pm 500\ horas$; el gradiente WCCo (contenido de Co $5\%-15\% \pm 1\%$) mejora la resistencia al impacto de las brocas de minería, con una profundidad de perforación de $1800\ m \pm 100\ m$; el recubrimiento nano WC (grano $< 100\ nm \pm 5\ nm$) se utiliza para válvulas de aguas profundas, con una resistencia a la corrosión de más de $5\ años \pm 0,5\ años$. Este capítulo se conecta perfectamente con el Capítulo 5 (moldeo y sinterización, tamaño de partícula de WC $0,1-10\ \mu m \pm 0,01\ \mu m$, densidad $> 99,5\ \% \pm 0,1\ \%$) a través de parámetros de proceso y datos de rendimiento, sentando las bases para los capítulos posteriores (aplicación y optimización).

6.1 Preparación del recubrimiento de carburo cementado

Los recubrimientos de carburo cementado se preparan mediante pulverización térmica, deposición física/química de vapor (PVD/CVD) o revestimiento láser para depositar recubrimientos funcionales (espesor $10-200\ \mu m \pm 1\ \mu m$, dureza $HV\ 1200-1500 \pm 30$) sobre sustratos de alto rendimiento (dureza $HV\ 1500-2500 \pm 30$, rugosidad superficial $Ra < 0,05\ \mu m \pm 0,01\ \mu m$). Estos recubrimientos mejoran significativamente la resistencia al desgaste (tasa de desgaste $< 0,06\ mm^3 / N \cdot m \pm 0,01\ mm^3 / N \cdot m$), la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01\ mm/año \pm 0,002\ mm/año$) y la resistencia a la oxidación a alta temperatura (ganancia de peso por oxidación $< 0,1\ mg/cm^2 \pm 0,02\ mg/cm^2$), cumpliendo con los requisitos de las exigentes condiciones de trabajo. La tecnología de pulverización térmica es la opción preferida debido a su alta eficiencia (tasa de deposición $> 90\% \pm 2\%$), flexibilidad (tamaño de sustrato aplicable $> 100\ mm \pm 1\ mm$) y economía (costo $< \$500/m^2 \pm \50), y es ampliamente utilizada en los campos de la aviación, la minería y la energía.

Esta sección describe en detalle las tres tecnologías principales: pulverización de oxígeno combustible a alta velocidad (HVOF), pulverización de plasma (APS) y pulverización por detonación, y analiza sus principios de proceso, optimización de parámetros y escenarios de aplicación. La calidad del recubrimiento depende de los parámetros de pulverización (velocidad, temperatura, distancia de pulverización), las características del polvo (tamaño de partícula: $10-50$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, fluidez: 12-15 segundos/50 g $\pm 0,5$ segundos) y el pretratamiento del sustrato (rugosidad Ra: 2-5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$). Mediante la mecánica de fluidos térmicos (velocidad del chorro: 600-4000 m/s ± 10 m/s) y el mecanismo de unión de la interfaz (resistencia de unión: 50-80 MPa ± 5 MPa), esta sección revela la tecnología principal.

Por ejemplo, el recubrimiento WC12Co pulverizado con HVOF (porosidad $<1\% \pm 0,2\%$) se utiliza en álabes de turbinas de aviación, con una vida útil superior a 5000 ± 500 horas; el recubrimiento WCNiCr pulverizado con APS (espesor 150 $\pm 1 \mu\text{m}$) aumenta la vida útil de las brocas de minería a 1500 ± 100 m. A continuación, se presenta una guía completa para la preparación de recubrimientos de alto rendimiento desde la perspectiva de los detalles del proceso, los factores influyentes y las prácticas de ingeniería.

6.1.1 Pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF, dureza del recubrimiento HV 1200-1500)

Principio del proceso y descripción general de la tecnología

La pulverización de oxígeno combustible a alta velocidad (HVOF) es una tecnología de pulverización térmica altamente eficiente que genera un chorro de alta temperatura y velocidad mediante la combustión de oxígeno y combustible para depositar materiales en polvo sobre el sustrato de carburo cementado y formar un recubrimiento de alta dureza y resistencia al desgaste. El núcleo de la HVOF es el chorro supersónico (velocidad de 600-800 m/s ± 10 m/s), que funde parcialmente las partículas de polvo (WCCo, tamaño de partícula de 10-45 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) e impacta el sustrato a alta velocidad para formar un recubrimiento denso (porosidad $<1\% \pm 0,2\%$).

En comparación con la pulverización tradicional, el HVOF tiene una temperatura más baja (2000-3000 $^{\circ}\text{C} \pm 50$ $^{\circ}\text{C}$), lo que evita eficazmente la descomposición del WC ($<0,5\% \pm 0,1\%$) y es adecuado para la preparación de recubrimientos de carburo cementado de alto rendimiento. El equipo HVOF incluye una pistola pulverizadora (potencia > 100 kW ± 10 kW), una cámara de combustión (presión 5-10 bar $\pm 0,5$ bar) y una boquilla Laval (diámetro de garganta 8-12 mm $\pm 0,1$ mm). El oxígeno (pureza $> 99,5\% \pm 0,1\%$, caudal 800-1200 L/min ± 10 L/min) reacciona con el combustible (como el queroseno, caudal 0,3-0,5 L/min $\pm 0,01$ L/min) en la cámara de combustión, liberando una alta entalpía (> 10 MJ/kg $\pm 0,5$ MJ/kg).

El chorro se acelera a velocidad supersónica a través de la boquilla Laval, impulsando el polvo hasta el sustrato (rugosidad Ra 2-5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$), formando partículas planas (diámetro 50-100 $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$), lo que garantiza una resistencia de adhesión de 50-80 MPa ± 5 MPa. Este proceso permite que la dureza del recubrimiento alcance HV 1200-1500 ± 30 , ampliamente utilizada en aviación, minería y otros sectores.

Parámetros del proceso y mecanismo de deposición

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La formación del recubrimiento HVOF implica cuatro etapas: combustión, aceleración de partículas, fusión y deposición:

Etapas de combustión

El oxígeno reacciona con el combustible para generar un chorro de alta temperatura ($3000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Esta temperatura es inferior al punto de descomposición del agua de condensación ($\sim 3500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que reduce la pérdida de carburo ($<0,5\% \pm 0,1\%$). La entalpía térmica ($>10\text{ MJ/kg} \pm 0,5\text{ MJ/kg}$) garantiza el calentamiento completo de las partículas.

Aceleración de partículas

El polvo se acelera en el chorro (velocidad $700\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$, tiempo de residencia $<1\text{ ms} \pm 0,1\text{ ms}$), la superficie se funde (tasa de fusión $70\%-90\% \pm 2\%$), el núcleo permanece sólido ($<50\% \pm 5\%$ fundido) y los granos de WC ($0,5\text{-}2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) quedan retenidos.

Fusión de partículas e impacto

Las partículas semifundidas impactan el sustrato para formar salpicaduras planas, y el enclavamiento mecánico y la difusión de trazas (profundidad $<1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) forman una alta resistencia de unión ($>60\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$).

Solidificación del recubrimiento

El enfriamiento rápido (velocidad $>10^6\text{ K/s} \pm 10^5\text{ K/s}$) da como resultado un recubrimiento denso (porosidad $<1\% \pm 0,2\%$) con una dureza de HV 1400 ± 30 .

La dinámica del chorro sigue el principio de Bernoulli (velocidad $\sim \sqrt{(2\Delta P/\rho)}$, $\rho \sim 1\text{ kg/m}^3 \pm 0,1\text{ kg/m}^3$) y la conductividad térmica es de $10^4\text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \pm 10^3\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. La optimización de la distancia de pulverización ($250\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$) y la tasa de flujo de oxígeno ($1000\text{ L/min} \pm 10\text{ L/min}$) puede reducir la porosidad a $<0,8\% \pm 0,1\%$. Por ejemplo, el recubrimiento WC12Co pulverizado HVOF (velocidad $700\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$, espesor $100\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) tiene una dureza de HV 1400 ± 30 y una porosidad de $<0,8\% \pm 0,1\%$, que cumple con los altos requisitos de resistencia al desgaste de las palas de turbinas de aviación.

Análisis de factores influyentes

El rendimiento del recubrimiento se ve afectado por muchos factores y debe controlarse con precisión:

Velocidad de pulverización

Se forma un recubrimiento denso (porosidad $<1\% \pm 0,2\%$) a una velocidad de $700\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$. Por debajo de $600\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$, las partículas presentan una energía cinética insuficiente y la porosidad aumenta a $>2\% \pm 0,5\%$. Por encima de $800\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$, las partículas se rompen ($<5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) y la dureza disminuye un $3\% \pm 0,5\%$ (HV $<1200 \pm 30$).

Tamaño de las partículas de polvo

$10\text{-}45\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ garantiza fluidez ($12\text{-}15\text{ segundos/}50\text{ g} \pm 0,5\text{ segundos}$) y velocidad de fusión ($>80\% \pm 2\%$). Un tamaño de partícula $<10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ es volátil ($>5\% \pm 1\%$), con una porosidad $>1,5\% \pm 0,2\%$; un tamaño de partícula $>45\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ presenta una fusión insuficiente ($<60\% \pm 2\%$), y la resistencia de unión disminuye a $<40\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

Distancia de pulverización

Temperatura de equilibrio de las partículas: $250\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ ($\sim 2000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Distancia de pulverización: $<200\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$; sobrecalentamiento ($>3000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) que provoca

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

descomposición del agua de mar ($> 1 \% \pm 0,2 \%$); $> 300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$; enfriamiento de las partículas ($< 1500 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$); resistencia de adhesión: $< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

Rugosidad de la matriz

Ra $2\text{-}5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ mejora el enclavamiento mecánico (resistencia de unión $> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). Rugosidad $< 1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$, resistencia de unión $< 40 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$; $> 8 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ induce concentración de tensiones, tasa de grietas $> 1 \% \pm 0,2 \%$.

Caudal de combustible

$0,4 \text{ L/min} \pm 0,01 \text{ L/min}$ proporciona energía estable ($> 10 \text{ MJ/kg} \pm 0,5 \text{ MJ/kg}$). Caudal $< 0,3 \text{ L/min} \pm 0,01 \text{ L/min}$, porosidad $> 2 \% \pm 0,5 \%$; $> 0,5 \text{ L/min} \pm 0,01 \text{ L/min}$, la tasa de oxidación aumenta a $> 0,1 \% \pm 0,02 \%$.

La estrategia de optimización

consiste en obtener un recubrimiento con alta dureza ($\text{HV } 1400 \pm 30$) y baja porosidad ($< 0,8 \% \pm 0,1 \%$). Se recomienda: utilizar polvo de WC12Co con un tamaño de partícula de $10\text{-}30 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$ para garantizar una alta fluidez ($12\text{-}15 \text{ segundos}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ segundos}$) y una alta velocidad de fusión ($> 80 \% \pm 2 \%$); controlar la velocidad de pulverización a $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$ y la distancia de pulverización a $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$; controlar la rugosidad del sustrato a $\text{Ra } 3 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ para mejorar la resistencia de la unión ($> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); establecer el caudal de combustible a $0,4 \text{ L/min} \pm 0,01 \text{ L/min}$ y el caudal de oxígeno a $1000 \text{ L/min} \pm 10 \text{ L/min}$. Adoptar un sistema de control de circuito cerrado (desviación de temperatura $< 50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) para mejorar la consistencia del proceso (desviación de porosidad $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$).

Práctica de aplicación de ingeniería

El recubrimiento HVOF funciona bien en entornos hostiles:

Álabes de turbinas de aviación

El recubrimiento WC12Co pulverizado HVOF (espesor $100 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 1400 \pm 30$) tiene una tasa de desgaste de $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ y una vida útil de > 5000 horas ± 500 horas en un flujo de aire de alta temperatura de $1000 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (velocidad $> 300 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$), que es mucho más larga que la del sustrato sin recubrimiento (< 2000 horas ± 200 horas).

brocas para minería

El recubrimiento WC10Co4Cr rociado con HVOF (porosidad $< 0,8 \% \pm 0,1 \%$, resistencia de unión $> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) tiene una vida útil de $1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ en perforación de roca dura (frecuencia de impacto $> 10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$), un aumento del $50 \% \pm 5 \%$.

Válvula de aguas profundas

WCNiCr rociado con HVOF (espesor $150 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, dureza $\text{HV } 1300 \pm 30$) tiene una vida útil de resistencia a la corrosión de $> 5 \text{ años} \pm 0,5 \text{ años}$ en un entorno de corrosión de agua de mar ($\text{pH } 8 \pm 0,1$, profundidad $5000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$), lo que es mejor que los recubrimientos tradicionales ($< 3 \pm 0,5$ años).

6.1.2 Pulverización de plasma (APS) y pulverización por detonación

Principio del proceso y descripción técnica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La pulverización de plasma (APS) y la pulverización por detonación son tecnologías de pulverización térmica de alta energía que impulsan la deposición de polvo mediante ondas de choque de plasma y detonación, respectivamente, y son adecuadas para la modificación de la superficie de sustratos de carburo cementado (rugosidad $Ra\ 2-5\ \mu m \pm 0,1\ \mu m$). La APS utiliza un flujo de plasma de alta temperatura ($>10\ 000\ ^\circ C \pm 100\ ^\circ C$) para fundir completamente el polvo y formar un recubrimiento más grueso ($50-300\ \mu m \pm 1\ \mu m$); la pulverización por detonación utiliza una explosión de alta frecuencia ($5-10\ Hz \pm 0,1\ Hz$) para producir partículas de velocidad ultrarrápida ($2000-4000\ m/s \pm 10\ m/s$) para formar un recubrimiento altamente denso (porosidad $<0,5\ \% \pm 0,1\ \%$). El APS es adecuado para geometrías complejas (radio de curvatura $> 5\ mm \pm 0,1\ mm$), y la pulverización por detonación se distingue por su alta resistencia de adhesión ($> 80\ MPa \pm 5\ MPa$), lo que cumple con los altos requisitos de fiabilidad de la aviación y las aguas profundas. La dureza del recubrimiento oscila entre HV 1000 y 1400 ± 30 , y la resistencia al desgaste y a la corrosión se ha mejorado significativamente.

Por ejemplo, el recubrimiento WC12Co pulverizado con APS (espesor de $150\ \mu m \pm 1\ \mu m$) se utiliza para brocas de minería, con una vida útil de $1200 \pm 100\ m$; el recubrimiento WCNiCr pulverizado por explosión (resistencia de adhesión $>80\ MPa \pm 5\ MPa$) se utiliza para boquillas de aviación, con una vida útil de $>3000 \pm 300$ horas. Esta sección analiza las características técnicas desde la perspectiva de los parámetros del proceso, el mecanismo de deposición y los escenarios de aplicación.

Parámetros del proceso y mecanismo de deposición

Proyección de plasma (APS)

La APS utiliza una pistola de plasma (potencia $30-100\ kW \pm 5\ kW$) para generar un flujo de plasma de alta temperatura (temperatura $>10000^\circ C \pm 100^\circ C$, velocidad $800-1200\ m/s \pm 10\ m/s$), que funde completamente el polvo (WCCo, tamaño de partícula $15-50\ \mu m \pm 1\ \mu m$, fluidez $12-15\ segundos/50g \pm 0,5\ segundos$) (tasa de fusión $>95\% \pm 2\%$) y lo deposita sobre el sustrato. Los parámetros incluyen: gas de plasma (gas mixto Ar / H₂, caudal $50-80\ L/min \pm 1\ L/min$, pureza de Ar $> 99,99\ \% \pm 0,01\ \%$), distancia de pulverización ($100-150\ mm \pm 5\ mm$), parámetros de arco (voltaje $50-80\ V \pm 1\ V$, corriente $500-1000\ A \pm 10\ A$). El mecanismo de deposición se basa en la dinámica del plasma (densidad iónica $10^{22}\ m^{-3} \pm 10^{21}\ m^{-3}$). Después de que el polvo se funde completamente, golpea el sustrato para formar una capa de salpicadura (espesor $5-10\ \mu m \pm 0,1\ \mu m/capa$). Después de enfriarse, el recubrimiento tiene una porosidad del $1\ %-2\ \% \pm 0,2\ \%$ y una resistencia de unión de $50-70\ MPa \pm 5\ MPa$. Por ejemplo, el recubrimiento WC12Co rociado con APS (espesor $150\ \mu m \pm 1\ \mu m$) tiene una dureza de HV 1200 ± 30 y una porosidad de $1,5\ \% \pm 0,2\ \%$, lo que cumple con los requisitos de resistencia al desgaste de las brocas mineras.

Pulverización por detonación

La pulverización por detonación utiliza una mezcla de combustible y oxígeno (C₂H₂/O₂, relación $2,5:1 \pm 0,1$) para explotar en una cavidad cerrada (presión $>10\ MPa \pm 0,5\ MPa$, temperatura $\sim 4000^\circ C \pm 50^\circ C$), impulsando el polvo (WCNiCr, tamaño de partícula $20-50\ \mu m \pm 1\ \mu m$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para impactar el sustrato a una velocidad ultraalta (2000-4000 m/s $\pm$ 10 m/s). Los parámetros incluyen: frecuencia de explosión (5-10 Hz $\pm$ 0,1 Hz), distancia de pulverización (150-200 mm $\pm$ 5 mm), relación de combustible (C₂H₂/O₂ 2,5: 1 $\pm$ 0,1). El mecanismo se basa en la propagación de ondas de choque (velocidad >3000 m/s $\pm$ 10 m/s), la fusión parcial del polvo (velocidad de fusión 60 %-80 % $\pm$ 2 %) y la formación de recubrimientos ultradensos (porosidad <0,5 % $\pm$ 0,1 %, resistencia de adhesión >80 MPa $\pm$ 5 MPa). Por ejemplo, el recubrimiento de WCNiCr pulverizado por detonación (espesor 100 μ m $\pm$ 1 μ m) tiene una dureza de HV 1300 $\pm$ 30 y una resistencia de adhesión >80 MPa $\pm$ 5 MPa. Se utiliza en toberas de aviación y tiene una vida útil de >3000 $\pm$ 300 horas.

Análisis de factores influyentes

Pulverización de plasma (APS)

Energía de plasma

50 kW $\pm$ 5 kW garantizan la fusión completa del polvo (>95 % $\pm$ 2 %). Potencia <30 kW $\pm$ 5 kW, porosidad >3 % $\pm$ 0,5 %; >100 kW $\pm$ 5 kW, sobrecalentamiento del sustrato (>500 °C $\pm$ 10 °C), tasa de agrietamiento >0,5 % $\pm$ 0,1 %.

Distancia de pulverización

120 mm $\pm$ 5 mm optimiza la eficiencia de deposición (resistencia de adhesión > 60 MPa $\pm$ 5 MPa). Distancia de pulverización < 100 mm $\pm$ 5 mm, tasa de desprendimiento del recubrimiento > 1 % $\pm$ 0,2 %; > 150 mm $\pm$ 5 mm, porosidad > 2 % $\pm$ 0,2 %.

Tamaño de las partículas de polvo

Fusión y deposición equilibradas de 15-45 μ m $\pm$ 1 μ m. Tamaño de partícula <15 μ m $\pm$ 1 μ m, volatilidad >5 % $\pm$ 1 %; >45 μ m $\pm$ 1 μ m, dureza reducida en un 2 % $\pm$ 0,5 % (HV < 1100 $\pm$ 30).

Temperatura del sustrato

<200°C $\pm$ 10°C evita la concentración de tensiones (<50 MPa $\pm$ 5 MPa); >300°C $\pm$ 10°C, tasa de grietas > 0,5% $\pm$ 0,1%.

pulverización de explosiones

Frecuencia de explosión

8 Hz $\pm$ 0,1 Hz controla el espesor del recubrimiento (10 μ m $\pm$ 0,1 μ m/tiempo). Cuando la frecuencia es > 10 Hz $\pm$ 0,1 Hz, la tasa de grietas es > 0,5 % $\pm$ 0,1 %; cuando es < 5 Hz $\pm$ 0,1 Hz, la eficiencia se reduce en un 30 % $\pm$ 5 %.

Distancia de pulverización

180 mm $\pm$ 5 mm garantiza la resistencia de la adhesión (> 80 MPa $\pm$ 5 MPa). Distancia de pulverización < 150 mm $\pm$ 5 mm, daño del sustrato > 0,01 mm $\pm$ 0,002 mm; > 200 mm $\pm$ 5 mm, resistencia de la adhesión < 60 MPa $\pm$ 5 MPa.

Relación de combustible

La relación C₂H₂/O₂ 2,5:1 $\pm$ 0,1 proporciona energía estable. Desviación de la relación > 0,2; tasa de oxidación > 0,2 % $\pm$ 0,02 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tamaño de las partículas de polvo

Deposición optimizada de $20\text{-}50\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$. Tamaño de partícula $<20\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, volatilidad $>3\%$ $\pm 0,5\%$; $>50\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, porosidad $>1\% \pm 0,2\%$.

Estrategia de optimización

APS

Seleccione una potencia de $50\text{ kW} \pm 5\text{ kW}$, una distancia de pulverización de $120\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, un polvo de $15\text{-}30\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, un caudal de Ar /H₂ de $60\text{ L/min} \pm 1\text{ L/min}$, una temperatura del sustrato $<200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, asegúrese de una porosidad $<1,5\% \pm 0,2\%$ y una resistencia de unión $>60\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

pulverización de explosiones

$180\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, relación C₂H₂ / O₂ de $2,5:1 \pm 0,1$, polvo de $20\text{-}40\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, porosidad de $<0,5\% \pm 0,1\%$ y resistencia de unión de $>80\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

Optimización general

La rugosidad del sustrato es $R_a\text{ }3\text{-}5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$ y se adopta un monitoreo en línea (desviación de temperatura $<50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) para mejorar la estabilidad (desviación del rendimiento $<1\% \pm 0,2\%$).

Práctica de aplicación de la ingeniería

Boquilla de aviación

WCNiCr rociado por explosión (espesor $100\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, resistencia de unión $>80\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) tiene una vida útil de resistencia al desgaste de $>3000\text{ horas} \pm 300\text{ horas}$ en un flujo de aire de alta temperatura de $800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es mejor que el de los recubrimientos tradicionales ($<1500\text{ horas} \pm 200\text{ horas}$).

brocas para minería

El recubrimiento WC12Co rociado con APS (dureza HV 1200 ± 30 , porosidad $<1,5\% \pm 0,2\%$) tiene una vida útil de $1200\text{ m} \pm 100\text{ m}$ en perforación de roca dura, un aumento del $40\% \pm 5\%$.

Molde resistente al desgaste

El recubrimiento WC10Co4Cr rociado con APS (espesor $200\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) mantuvo un desgaste bajo ($<0,07\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) durante la extrusión de alta frecuencia ($>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces).

Válvula de aguas profundas

El recubrimiento WCNiCr pulverizado por explosión (porosidad $<0,5\% \pm 0,1\%$) tiene una vida útil de $>5\text{ años} \pm 0,5\text{ años}$ en corrosión por agua de mar ($\text{pH } 8 \pm 0,1$).

6.2 Materiales de recubrimiento

Los materiales de recubrimiento son la clave para mejorar el rendimiento del carburo cementado. Al optimizar la composición y la estructura de la fase dura (WC, TiC) y la fase aglutinante (Co, NiCr, Ni), se puede lograr una alta dureza (HV $1200\text{-}1500 \pm 30$), una excelente tenacidad (K_{IC} $10\text{-}15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y una excelente resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01\text{ mm/año} \pm 0,002\text{ mm/año}$). Es necesario equilibrar la dureza y la tenacidad, controlar la energía de la interfaz ($<1\text{ J/m}^2 \pm 0,1\text{ J/m}^2$) y el desajuste de expansión térmica ($<5 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$), y adaptarse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a las complejas condiciones de trabajo en la aviación, la minería y las profundidades marinas. El recubrimiento WCCo es conocido por su alta dureza, el recubrimiento WCNiCr mejora la resistencia a la corrosión y el recubrimiento multifásico WCTiCNi tiene en cuenta la dureza y la tenacidad, ampliando los escenarios de aplicación.

Esta sección trata las estrategias y prácticas de ingeniería desde dos aspectos: optimización de la composición de recubrimientos WCCo y WCNiCr y recubrimientos compuestos multifásicos (WCTiCNi). Combinando análisis de diagrama de fases (WCCo líquido $1320\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), cinética de difusión (coeficiente $10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$) y modelo mecánico (refuerzo de Orowan). Por ejemplo, el recubrimiento WC12Co (dureza HV 1300 ± 30) se utiliza para álabes de turbinas de aviación, con una tasa de desgaste de $<0,05\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$; el recubrimiento WC10Co4Cr (tasa de corrosión $<0,01\text{ mm/año} \pm 0,002\text{ mm/año}$) se utiliza para válvulas de aguas profundas; El recubrimiento WCTiCNi ($K_{1c} 12\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) aumenta la vida útil de las brocas de minería a $1500\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

6.2.1 Optimización de la composición de recubrimientos de WCCo y WCNiCr

Principio y descripción técnica

WCCo y WCNiCr son las opciones principales para la modificación de superficies de carburo cementado. Ajustando la proporción de la fase dura (WC, fracción de volumen 70%-90% $\pm 1\%$) y la fase de unión (Co, NiCr , 10%-30% $\pm 1\%$), se optimiza el rendimiento para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo. El recubrimiento de WCCo es conocido por su alta dureza y resistencia al desgaste, mientras que el de WCNiCr ofrece un buen rendimiento en entornos corrosivos. El objetivo es lograr una mejora sinérgica en la dureza (HV $1200-1500 \pm 30$), la tenacidad ($K_{1c} 10-15\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y la resistencia a la corrosión, además de garantizar la resistencia de la unión entre el recubrimiento y el sustrato ($>60\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$).

WCCo proporciona resistencia al desgaste con WC (dureza HV $> 2000 \pm 50$, tamaño de grano $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) y Co (10 % - 20 % $\pm 1\%$, tenacidad $K_{1c} > 20\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) para mejorar la unión de la interfaz (energía de interfaz $< 1\text{ J/m}^2 \pm 0,1\text{ J/m}^2$). El recubrimiento WCNiCr reemplaza Co con NiCr (Ni 8 % - 15 % $\pm 1\%$, Cr 2 % - 5 % $\pm 0,5\%$), y Cr forma una capa de pasivación Cr_2O_3 (espesor $< 10\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$), que mejora significativamente la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01\text{ mm/año} \pm 0,002\text{ mm/año}$). La optimización se basa en el diagrama de fases (WCCo liquidus $\sim 1320\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) y el fortalecimiento de Orowan (espaciado de grano $< 1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), lo que respalda las aplicaciones de aviación y de aguas profundas.

Optimización de la composición y análisis de mecanismos

El recubrimiento

de WCCo depende de la proporción de WC y Co: la fase dura de WC (fracción de volumen 80% $\pm 1\%$, tamaño de grano $0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) proporciona alta dureza (HV $> 2000 \pm 50$); la fase

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aglutinante de Co (contenido $12\% \pm 1\%$) mejora la unión de la interfaz ($> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) y mejora la tenacidad ($K_{IC} 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Un nivel demasiado alto de Co ($> 20\% \pm 1\%$) reduce la dureza ($HV < 1100 \pm 30$), y un nivel demasiado bajo de Co ($< 8\% \pm 1\%$) aumenta la porosidad ($> 2\% \pm 0,5\%$). El recubrimiento WC12Co optimizado (pulverización HVOF, velocidad $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) tiene una dureza de $HV 1300 \pm 30$, una porosidad de $< 0,8\% \pm 0,1\%$ y una tasa de desgaste de $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, lo que es adecuado para álabes de turbinas de aviación ($1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$).

Recubrimiento

WCNiCr El recubrimiento WCNiCr mejora la resistencia a la corrosión al reemplazar Co por NiCr : la base de Ni ($8\% - 15\% \pm 1\%$) proporciona tenacidad ($K_{IC} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y resistencia de unión ($> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); la adición de Cr ($4\% \pm 0,5\%$) forma una capa de pasivación de Cr_2O_3 , ganancia de peso antioxidante $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ y la resistencia a la corrosión mejora en un $30\% \pm 5\%$ (pH $4-10 \pm 0,1$). El recubrimiento WC10Co4Cr (HVOF, porosidad $< 0,8\% \pm 0,1\%$) tiene una dureza de $HV 1200 \pm 30$ y una tasa de corrosión de $< 0,01 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$. Se utiliza para válvulas de aguas profundas con una vida útil de > 5 años $\pm 0,5$ años.

Análisis de factores influyentes

Tamaño de las partículas de WC

$0,5-2 \pm 0,01 \mu\text{m}$ optimiza la dureza ($HV > 1200 \pm 30$). Tamaño de partícula $< 0,5 \pm 0,01 \mu\text{m}$, tasa de descomposición $> 2\% \pm 0,5\%$; $> 2 \pm 0,01 \mu\text{m}$, la tenacidad disminuye un $3\% \pm 0,5\%$.

Contenido de la fase aglutinante

Co $12\% \pm 1\%$, NiCr $12\% \pm 1\%$ (Cr $4\% \pm 0,5\%$). Rendimiento equilibrado. Co/ NiCr $< 8\% \pm 1\%$, porosidad $> 2\% \pm 0,5\%$; $> 20\% \pm 1\%$, disminución de la dureza en un $10\% \pm 2\%$.

Contenido de Cr

$4\% \pm 0,5\%$ mejora la resistencia a la corrosión; $> 6\% \pm 0,5\%$ forma Cr_3C_2 frágil con una dureza de $< 1000 \pm 50$.

Proceso de pulverización: HVOF ($700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) es mejor que APS, con una porosidad $< 1\% \pm 0,2\%$ frente a $> 1,5\% \pm 0,2\%$.

Temperatura de la matriz: $< 200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ para evitar tensión ($< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); $> 300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, tasa de grietas $> 0,5\% \pm 0,1\%$.

La estrategia de optimización

utiliza granos de WC de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co $12\% \pm 1\%$ o NiCr $12\% \pm 1\%$ (Cr $4\% \pm 0,5\%$); se utiliza pulverización HVOF (velocidad $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, distancia de pulverización $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) para reducir la porosidad ($< 0,8\% \pm 0,1\%$); rugosidad del sustrato $Ra 3 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de precalentamiento $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, mejora la resistencia de unión ($> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); la adición de $0,5\% \pm 0,01\%$ de VC inhibe la descomposición de WC ($< 0,5\% \pm 0,1\%$) y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aumenta la dureza en un $3 \% \pm 0,5 \%$; y se implementa un monitoreo en línea (desviación de temperatura $<50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) para garantizar la consistencia (desviación de rendimiento $<1\% \pm 0,2\%$).

Práctica de aplicación de la ingeniería

Álabes de turbinas de aviación

Recubrimiento WC12Co (dureza HV 1300 ± 30 , tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), vida útil >5000 horas ± 500 horas.

Válvula de aguas profundas

Recubrimiento WC10Co4Cr (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$), vida útil >5 años $\pm 0,5$ años.

brocas para minería

Recubrimiento WC15Co (tenacidad $K_{Ic} 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), vida útil $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$, mejorada en un $50\% \pm 5\%$.

6.2.2 Recubrimiento compuesto multifásico (WCTiCNi)

Descripción general del principio y la tecnología de los recubrimientos compuestos multifásicos

El recubrimiento compuesto multifásico (WCTiCNi) introduce TiC (dureza HV $>2500 \pm 50$, fracción de volumen $5\% - 20\% \pm 1\%$) y Ni ($8\% - 15\% \pm 1\%$) para mejorar la dureza (HV $1300 - 1500 \pm 30$), tenacidad ($K_{Ic} 10 - 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) sobre la base del recubrimiento a base de WC ($0,5 - 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$). En comparación con el recubrimiento WCCo simple, el recubrimiento WCTiCNi tiene una densidad más baja ($\sim 10 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ frente a $15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), una mayor resistencia a la oxidación (ganancia de peso por oxidación $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) y es adecuado para entornos corrosivos y de alto impacto.

El rendimiento se optimiza mediante el refuerzo compuesto (fijación de los límites de grano de TiC) y la ingeniería de interfaz (energía de interfaz WC/ TiC $<0,8 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$). El WC proporciona dureza básica, el TiC reduce la densidad y mejora la resistencia a la oxidación, y el Ni mejora la tenacidad y la resistencia a la corrosión. Por ejemplo, el recubrimiento WC10TiC12Ni pulverizado con HVOF (TiC $10 \% \pm 1 \%$) presenta una dureza de HV 1400 ± 30 y una porosidad de $<1 \% \pm 0,2 \%$, y se utiliza en brocas de minería con una vida útil de $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Optimización de la composición y análisis del mecanismo de recubrimientos compuestos multifásicos

El rendimiento depende de la proporción de cada fase y microestructura.

de WC/ TiC (fracción de volumen de WC $70\% - 85\% \pm 1\%$) proporciona dureza (HV $>2000 \pm 50$), TiC ($10\% \pm 1\%$, densidad $4,9 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) mejora la resistencia a la oxidación (ganancia de peso

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

por oxidación $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$); la fase aglutinante de Ni ($12\% \pm 1\%$) proporciona tenacidad ($K_{Ic} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$). La optimización se basa en el reforzamiento de Orowan (espaciado de grano $<1\mu\text{m} \pm 0,01\mu\text{m}$) y el análisis del diagrama de fases (WCTiCNi liquidus $\sim 1350^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$). El recubrimiento WC10TiC12Ni (HVOF, porosidad $<1\% \pm 0,2\%$) tiene una dureza de HV 1400 $\pm$ 30, una tenacidad de $K_{Ic} 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ y una tasa de desgaste de $<0,04 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

Análisis de factores influyentes

Contenido de TiC

$10\% \pm 1\%$ equilibra dureza y tenacidad. $>20\% \pm 1\%$, se forma fase frágil ($K_{Ic} < 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$); $<5\% \pm 1\%$, dureza insuficiente (HV $<1200 \pm 30$).

Contenido de Ni

$12\% \pm 1\%$ optimiza la resistencia de unión ($>60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). $>15\% \pm 1\%$, la dureza disminuye en un $5\% \pm 1\%$; $<8\% \pm 1\%$, porosidad $>2\% \pm 0,5\%$.

Tamaño de partícula

WC/ TiC $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ garantiza uniformidad (desviación $<5\% \pm 1\%$). $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, la tenacidad disminuye en un $3\% \pm 0,5\%$.

Proceso de pulverización

HVOF ($700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) controla la descomposición de TiC ($<1\% \pm 0,2\%$); APS ($> 10\,000^\circ\text{C} \pm 100^\circ\text{C}$), tasa de descomposición $> 3\% \pm 0,5\%$.

Precalentamiento del sustrato

$150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ mejora la resistencia de unión ($>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); $>200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, tensión $>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

La estrategia de optimización utiliza

granos de WC/ TiC de $0,5\text{-}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, TiC $10\% \pm 1\%$ y Ni $12\% \pm 1\%$; se utiliza pulverización HVOF (velocidad $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, distancia de pulverización $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) para controlar la porosidad ($<1\% \pm 0,2\%$); rugosidad del sustrato $R_a 3 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, temperatura de precalentamiento $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$; se añade $0,3\% \pm 0,01\%$ de VC para inhibir la descomposición de TiC ($<0,5\% \pm 0,1\%$) y aumentar la dureza en un $3\% \pm 0,5\%$; se implementan parámetros de optimización de IA (desviación $<1\% \pm 0,2\%$) para mejorar la consistencia.

Práctica de aplicación de la ingeniería

brocas para minería

Recubrimiento WC10TiC12Ni (dureza HV 1400 $\pm$ 30, tasa de desgaste $<0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), vida útil $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$, un aumento del $50\% \pm 5\%$.

Molde resistente al desgaste

Recubrimiento WC15TiC10Ni (tenacidad $K_{Ic} 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), vida útil $>10^6$ veces $\pm 10^5$ veces.

Boquilla de aviación

Recubrimiento WC10TiC12Ni (resistencia al desgaste $<0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

vida útil >3000 horas ± 300 horas.

6.3 Carburos cementados nanoestructurados y en gradiente

El carburo cementado gradiente y nanoestructurado mejora significativamente la dureza (HV 2000-3000 ± 50), la tenacidad (K_{IC} 10-20 MPa $\cdot m^{1/2} \pm 0,5$) y la resistencia a la fatiga térmica (vida útil > 10^5 veces $\pm 10^4$ veces) a través de la ingeniería de interfaz (gradiente WCCo, Co 0-20% $\pm 1\%$) y el fortalecimiento nanocristalino (WC <100 nm ± 5 nm). La estructura de gradiente alivia el desajuste de expansión térmica ($< 5 \times 10^{-6} K^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} K^{-1}$) a través de un cambio gradual de la composición, y la nanoestructura mejora la resistencia (>4500 MPa ± 100 MPa) a través del fortalecimiento del límite de grano (efecto Hall-Petch, $\sigma_y \sim d^{-1/2}$), y tiene un buen desempeño en aviación, minería y fabricación electrónica.

Esta sección comienza con la ingeniería de interfaz de gradiente WCCo y la preparación y los desafíos de nano WC (<100 nm), combinando termodinámica (energía de interfaz <1 J/m² $\pm 0,1$ J/m²), cinética (tasa de aglomeración $\sim 10^{-9}$ m/s $\pm 10^{-10}$ m/s) y modelo mecánico (fortalecimiento de Orowan) para explorar los principios y prácticas. Por ejemplo, el gradiente WCCo (Co 5%-15% $\pm 1\%$) se utiliza para brocas de minería, y la vida útil del impacto es >1800 m ± 100 m; el recubrimiento nano WC (<100 nm ± 5 nm) se utiliza para brocas de PCB, y la vida útil es > 10^5 agujeros $\pm 10^4$ agujeros.

6.3.1 Ingeniería de interfaz de gradiente WCCo

Principio y descripción técnica

El gradiente WCCo optimiza la tensión de la interfaz (<50 MPa ± 5 MPa), mejora la resistencia de unión (> 80 MPa ± 5 MPa) y la resistencia a la fatiga térmica (> 10^5 veces $\pm 10^4$ veces) variando gradualmente el contenido de Co (0-20% $\pm 1\%$, espesor del gradiente 0,5-2 mm $\pm 0,01$ mm). En comparación con el WCCo uniforme, la estructura de gradiente alivia el desajuste de expansión térmica (WC $4,5 \times 10^{-6} K^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} K^{-1}$, Co $13 \times 10^{-6} K^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} K^{-1}$), reduce las grietas de interfaz (<0,1 % $\pm 0,02\%$), tiene en cuenta la dureza de la superficie (HV 1800 ± 30) y la tenacidad interna (K_{IC} 15 MPa $\cdot m^{1/2} \pm 0,5$), y es adecuado para entornos de alto impacto.

El método de preparación incluye la laminación de polvos y la reacción in situ. La laminación de polvos consiste en apilar polvos con diferentes contenidos de Co (5%-15% $\pm 1\%$) en capas.

Los gradientes continuos se forman mediante prensado isostático en frío (CIP, 250 MPa ± 5 MPa) y sinterización al vacío (1450 °C ± 10 °C); las reacciones in situ generan capas de gradiente por difusión de carburo (velocidad $\sim 10^{-10}$ cm²/s $\pm 10^{-11}$ cm²/s). La estabilidad se garantiza mediante la termodinámica de la interfaz (energía de interfaz < 1 J/m² $\pm 0,1$ J/m²). Por ejemplo, el gradiente WCCo (Co 5 %-15 % $\pm 1\%$) se utiliza en brocas de minería con una vida útil al impacto >1800 m ± 100 m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Proceso de preparación y análisis del mecanismo

Preparación del polvo: seleccione WC ($0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) y Co ($5\%-15\% \pm 1\%$), y relación estratificada (desviación $<1\% \pm 0,2\%$).

Moldeo: Moldeo CIP ($250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), densidad verde $>99\% \pm 0,1\%$.

Sinterización: Sinterización al vacío ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, presión $<10^{-3} \text{ Pa} \pm 10^{-4} \text{ Pa}$), gradiente de formación de difusión de Co (velocidad $\sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$).

Post-tratamiento: Tratamiento térmico ($600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) para eliminar tensiones residuales ($<20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$).

El mecanismo se basa en la mitigación del desajuste de expansión térmica y la cinética de difusión. El gradiente de Co ($5\%-15\% \pm 1\%$) uniformiza la distribución de tensiones ($<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), y la energía de interfaz $<1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$ garantiza la resistencia de la unión ($>80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). Por ejemplo, el gradiente WCCo (espesor de capa: $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) presenta una dureza de HV 1800 ± 30 y una tenacidad de $K_{IC} \approx 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$.

Análisis de factores influyentes

$\% \pm 1\%$ optimiza la tensión ($<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). $>20\% \pm 1\%$, la tenacidad es demasiado alta ($K_{IC} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), la dureza disminuye en un $5\% \pm 1\%$; $<5\% \pm 1\%$, concentración de tensión ($>100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$).

Espesor de capa: $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ para garantizar la continuidad (desviación $<1\% \pm 0,2\%$). $<0,5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, concentración de tensión ($>100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); $>2 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, desenfoque de gradiente ($>5\% \pm 1\%$).

Temperatura de sinterización: $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, difusión controlada ($>10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$). $>1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, gradiente difuso ($>5\% \pm 1\%$); $<1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, resistencia de unión $<60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

Tamaño de partícula de polvo: WC $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ mejora la uniformidad. $>2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, defectos de interfaz $>1\% \pm 0,2\%$.

Aditivo: $0,5\% \pm 0,01\%$ VC inhibe el crecimiento del grano ($<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) y aumenta la dureza en un $3\% \pm 0,5\%$.

La estrategia de optimización

seleccionó un contenido de Co de $5\%-15\% \pm 1\%$, un espesor de capa de $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ y un tamaño de partícula de WC de $0,5-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$; una temperatura de sinterización de $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ y una presión de $<10^{-3} \text{ Pa} \pm 10^{-4} \text{ Pa}$; agregando $0,5\% \pm 0,01\%$ de VC para inhibir el crecimiento del grano y aumentar la dureza en un $3\% \pm 0,5\%$; monitoreo en línea (desviación de temperatura $<10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) para mejorar la estabilidad (desviación de rendimiento $<1\% \pm 0,2\%$); tratamiento térmico posterior al procesamiento ($600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) para eliminar la tensión residual ($<20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$).

Práctica de aplicación de la ingeniería

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

brocas para minería

Gradiente WCCo (Co 5%-15%±1%, dureza HV 1800±30), en perforación de roca dura (frecuencia de impacto >10³ Hz ± 100 Hz), vida útil > 1800 m ± 100 m, un aumento del 60% ± 5%.

Molde resistente al desgaste

Gradiente WCCo (tenacidad K_{1c} 15 MPa · m^{1/2} ± 0,5), vida útil > 10⁶ veces ± 10⁵ veces.

herramientas de aviación

El gradiente WCCo (tensión <50 MPa ± 5 MPa), en corte a alta velocidad (>1000 m/min ± 10 m/min), tiene una vida útil de >20 horas ± 1 hora, lo que es mejor que la de la estructura uniforme (<10 horas ± 1 hora).

6.3.2 Preparación y desafíos del nano-WC (<100 nm)

Principio y descripción general de la tecnología Nano

El WC (granos <100 nm ± 5 nm) se prepara mediante molienda de bolas de alta energía, síntesis de plasma o deposición química de vapor (CVD), con una dureza de HV 2500-3000 ± 50 y una resistencia de >5000 MPa ± 100 MPa, basada en el efecto Hall-Petch ($\sigma_y \sim d^{-1/2}$, densidad del límite de grano >10¹⁴ m⁻² ± 10¹³ m⁻²). En comparación con el WC tradicional (0,5-2 μm ± 0,01 μm), el reforzamiento del límite de grano de nano WC mejora significativamente la resistencia y mantiene la tenacidad (K_{1c} 10-15 MPa · m^{1/2} ± 0,5). Los recubrimientos Nano-WC (espesor 10-50 μm ± 1 μm) funcionan bien en la fabricación electrónica y la ingeniería en aguas profundas, como las brocas de PCB (vida útil >10⁵ orificios ± 10⁴ orificios).

Desafíos como la aglomeración (velocidad ~10⁻⁹ m/s ± 10⁻¹⁰ m/s), la oxidación (O > 0,1 % ± 0,02 %) y el crecimiento del grano de sinterización (> 200 nm ± 10 nm). El objetivo es controlar el tamaño del grano (< 100 nm ± 5 nm) y mejorar el rendimiento mediante la optimización del proceso y el uso de aditivos (VC, Cr₃ C₂).

Proceso de preparación y análisis del mecanismo

Molienda de bolas de alta energía

El polvo de WC (tamaño de partícula inicial 1-10 μm ± 0,01 μm) se molió en un molino planetario (velocidad 300-500 rpm ± 10 rpm, relación bola-polvo 10:1 ± 0,1) durante 20-50 h ± 1 h, y el tamaño de grano se redujo a <100 nm ± 5 nm, con una contribución de fortalecimiento del límite de grano de ~500 MPa ± 50 MPa.

Síntesis de plasma

El WCl₆ reacciona con CH₄ (velocidad de flujo 1:1 ± 0,1) en plasma (>10 000 °C ± 100 °C) para generar nano-WC (<80 nm ± 5 nm) con una tasa de deposición de >90 % ± 2 %.

ECV

W(CO)₆ reacciona con H₂ (800-1000 °C ± 10 °C) para depositar una capa de WC (granos <100 nm ± 5 nm, espesor 10-50 μm ± 1 μm).

El mecanismo se basa en el fortalecimiento del límite de grano y la cinética de aglomeración. El efecto Hall-Petch aumenta la resistencia a medida que disminuye el tamaño del grano ($\sigma_y \sim d^{-1/2}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

²) . La tasa de aglomeración ($\sim 10^{-9}$ m/s $\pm 10^{-10}$ m/s) es impulsada por la energía superficial (~ 1 J/m² $\pm 0,1$ J/m²) y controlada por la adición de dispersante (PVA, 0,5 % $\pm 0,01$ %). Por ejemplo, la dureza del recubrimiento nano-WC CVD (< 80 nm ± 5 nm) es HV 2500 ± 50 y la tenacidad es K_{IC} 12 MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$.

Análisis de factores influyentes

Tamaño del grano

< 100 nm ± 5 nm requiere una molienda de alta energía (> 50 horas ± 1 hora). > 100 nm ± 5 nm, la dureza disminuye en un 10 % ± 2 %.

Reunión

Sin dispersante, la tasa de aglomeración es $> 20\% \pm 2\%$; agregando 0,5% $\pm 0,01\%$ de PVA, la tasa de aglomeración es $< 5\% \pm 1\%$.

Temperatura de sinterización

< 1200 °C ± 10 °C inhibe el crecimiento del grano (< 150 nm ± 10 nm); > 1300 °C ± 10 °C, el tamaño del grano es > 200 nm ± 10 nm y la dureza disminuye en un 15 % ± 2 %.

atmósfera

Ar /H₂ (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm) evita la oxidación (O $< 0,05$ % $\pm 0,01$ %). O₂ > 100 ppm ± 10 ppm, tasa de oxidación $> 0,2$ % $\pm 0,02$ %.

aditivo

El VC al 0,3 % $\pm 0,01$ % controla el tamaño del grano (< 100 nm ± 5 nm) y aumenta la dureza en un 5 % ± 1 %.

La estrategia de optimización

utiliza molienda de bolas de alta energía (50 horas ± 1 hora, velocidad de rotación 400 rpm ± 10 rpm), tamaño de grano < 100 nm ± 5 nm; temperatura de sinterización < 1200 °C ± 10 °C, atmósfera de Ar /H₂ (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm); adición de 0,5 % $\pm 0,01$ % de dispersante PVA, tasa de aglomeración < 5 % ± 1 %; adición de 0,3 % $\pm 0,01$ % de VC para inhibir el crecimiento del grano y aumentar la dureza en un 5 % ± 1 %; monitoreo del tamaño de partícula en línea (desviación < 5 nm ± 1 nm) para garantizar la estabilidad.

Práctica de aplicación de la ingeniería

Broca para PCB

Recubrimiento Nano WC (grano < 80 nm ± 5 nm, dureza HV 2500 ± 50), vida útil $> 10^5$ orificios $\pm 10^4$ orificios, mejorado en un 100 % ± 10 %.

Válvula de aguas profundas

Recubrimiento Nano WC (tasa de corrosión $< 0,01$ mm/año $\pm 0,002$ mm/año), vida útil > 5 años $\pm 0,5$ años.

herramientas de aviación

El revestimiento Nano-WC (resistencia > 5000 MPa ± 100 MPa) y la vida útil > 20 horas ± 1 hora son mejores que el revestimiento tradicional (< 10 horas ± 1 hora).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4 Prueba de rendimiento del recubrimiento

La prueba de rendimiento del recubrimiento adopta métodos estandarizados (ASTM G65, ISO 6508, ASTM E384) para evaluar indicadores clave, incluida la resistencia de unión ($50-80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), la porosidad ($<1\% \pm 0,2\%$), la dureza ($\text{HV } 1200-1500 \pm 30$), la resistencia al desgaste (tasa de desgaste $<0,06 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) y la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $<0,01 \text{ mm/año} \pm 0,002 \text{ mm/año}$), lo que garantiza que el recubrimiento cumpla con los requisitos de confiabilidad de los campos de aviación, minería y aguas profundas, al tiempo que proporciona datos para la optimización del proceso.

Esta sección trata la tecnología y la práctica de las pruebas desde las perspectivas de la resistencia de unión, la porosidad y la resistencia al desgaste, combinando la mecánica de fractura ($K_{IC} 10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), la ciencia de superficies (ángulo de contacto $<10^\circ \pm 1^\circ$) y el análisis estadístico (error $\pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$). Por ejemplo, el recubrimiento HVOF WC12Co (resistencia de unión $>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) se utiliza para álabes de turbinas de aviación, con una vida útil de >5000 horas ± 500 horas; el recubrimiento nano WC (porosidad $<0,5\% \pm 0,1\%$) se utiliza para brocas de PCB, con una vida útil de $>10^5$ agujeros $\pm 10^4$ agujeros.

6.4.1 Resistencia de adhesión (50-80 MPa) y porosidad (<1%)

Principio de prueba y descripción general de la tecnología.

La resistencia de adhesión y la porosidad son indicadores clave para evaluar la fiabilidad del recubrimiento, lo que afecta directamente la capacidad antidesprendimiento y la durabilidad. La resistencia de adhesión refleja la fuerza de adhesión interfacial, y la porosidad mide la densidad. Los métodos estandarizados garantizan la repetibilidad y comparabilidad de los resultados.

Resistencia de adhesión (ASTM C633): El ensayo de tracción (velocidad de $0,5 \text{ mm/min} \pm 0,01 \text{ mm/min}$) mide la fuerza de separación, con una resistencia de $50-80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$. La muestra (diámetro de $25 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, espesor del recubrimiento de $100-200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) se fija con un adhesivo de alta resistencia ($>100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), y la fórmula de cálculo es $\sigma = F/A$.

Porosidad (ASTM E2109): Se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB, resolución $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) para analizar la sección transversal y medir la relación de porosidad ($<1\% \pm 0,2\%$). La muestra se pulió a una $R_a <0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ y se calculó a partir de la relación de área.

Por ejemplo, el revestimiento HVOF WC12Co (resistencia de unión $>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, porosidad $<0,8\% \pm 0,1\%$) se utiliza para álabes de turbinas de aviación y la vida útil antidesconchado es >5000 horas ± 500 horas.

Métodos de prueba y análisis de mecanismos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fuerza de unión

Con base en la mecánica de fractura (K_{IC} 10-15 MPa $\cdot$ m^{1/2} $\pm$ 0.5), la resistencia de unión interfacial se determina por enclavamiento mecánico (Ra 2-5 μ m $\pm$ 0.1 μ m) y microdifusión (<1 μ m $\pm$ 0.1 μ m). El proceso incluye preparación de la muestra (espesor 100-200 μ m $\pm$ 1 μ m), fijación y estiramiento (velocidad 0.5 mm/min $\pm$ 0.01 mm/min). El recubrimiento HVOF (velocidad 700 m/s $\pm$ 10 m/s) tiene una resistencia de unión de >70 MPa $\pm$ 5 MPa, que es mejor que APS (<60 MPa $\pm$ 5 MPa).

Porosidad

Según el análisis de imágenes SEM (aumento >1000 $\times$ $\pm$ 100 $\times$), los poros se muestran como áreas oscuras y la relación de área se calcula mediante software. La porosidad HVOF es <1% $\pm$ 0,2%, superior a la del APS (~1,5% $\pm$ 0,2%).

Análisis de factores influyentes

Fuerza de unión

La rugosidad de la matriz Ra 3-5 μ m $\pm$ 0,1 μ m mejora la resistencia (>70 MPa $\pm$ 5 MPa); <2 μ m $\pm$ 0,1 μ m, <50 MPa $\pm$ 5 MPa. La velocidad de pulverización de 700 m/s $\pm$ 10 m/s es mejor que la del APS; la temperatura de precalentamiento de 150 °C $\pm$ 10 °C mejora la difusión.

Porosidad

La potencia de pulverización de 100 kW $\pm$ 10 kW (HVOF) es mejor que la de 50 kW $\pm$ 5 kW (APS); el tamaño de partícula de polvo de 10-30 μ m $\pm$ 1 μ m reduce la porosidad; la distancia de pulverización optimiza la densidad.

Estrategia de optimización:

rugosidad del sustrato Ra 3-5 μ m $\pm$ 0,1 μ m, temperatura de precalentamiento 150 °C $\pm$ 10 °C; HVOF (velocidad 700 m/s $\pm$ 10 m/s, potencia 100 kW $\pm$ 10 kW), polvo 10-30 μ m $\pm$ 1 μ m; distancia de pulverización APS 120 mm $\pm$ 5 mm; distancia de pulverización de explosión 180 mm $\pm$ 5 mm; equipo de estiramiento y SEM de alta precisión para garantizar la precisión.

Práctica de aplicación de la ingeniería

Álabes de turbinas de aviación

Recubrimiento HVOF WC12Co (resistencia de adhesión >70 MPa $\pm$ 5 MPa, porosidad <0,8 % $\pm$ 0,1 %), vida útil >5000 horas $\pm$ 500 horas.

Válvula de aguas profundas

Recubrimiento HVOF WC10Co4Cr (resistencia de unión >70 MPa $\pm$ 5 MPa), vida útil >5 años $\pm$ 0,5 años.

brocas para minería

de WCNiCr pulverizado por explosión (resistencia de unión > 80 MPa $\pm$ 5 MPa, porosidad < 0,5 % $\pm$ 0,1 %), vida útil > 1500 m $\pm$ 100 m.

6.4.2 Resistencia al desgaste (ASTM G65, tasa de desgaste <0,06 mm³ / N $\cdot$ m)

Principio de prueba y descripción técnica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La resistencia al desgaste es el indicador clave para evaluar el rendimiento del recubrimiento y afecta directamente su vida útil en entornos de alta fricción. La prueba de arena seca/rueda de caucho ASTM G65 simula el desgaste abrasivo y mide la tasa de desgaste ($<0,06 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), lo que proporciona una base para la optimización de procesos y la selección de materiales.

Proceso de prueba

La muestra ($50 \times 25 \times 10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, espesor $100-200 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$) se frotó en un flujo de arena (SiO_2 , tamaño de partícula $200-300 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, caudal $300 \text{ g/min} \pm 10 \text{ g/min}$) (velocidad de la rueda $200 \text{ rpm} \pm 1 \text{ rpm}$, carga $130 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, 6000 vueltas ± 10 vueltas). El volumen de desgaste se calculó mediante la pérdida de masa ($V = \Delta m / \rho$, $\rho = 14-15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) y la tasa de desgaste $= V/(F \cdot S)$. Por ejemplo, el recubrimiento HVOF WC12Co (tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) tiene una vida útil de $>5000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

El método de prueba y el análisis del mecanismo

se basan en el modelo Archard ($V = k \cdot F \cdot S / H$, $k = 10^{-4} \pm 10^{-5}$, $H = \text{HV } 1200-1500 \pm 30$). Cuanto mayor sea la dureza y menor la porosidad, mayor será la resistencia al desgaste. El proceso incluye la preparación de la muestra, el ajuste de los parámetros y el cálculo de la tasa de desgaste. La tasa de desgaste del recubrimiento HVOF (dureza $\text{HV } 1400 \pm 30$) es $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, que es mejor que APS ($>0,07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

Análisis de factores influyentes

dureza

$\text{HV } 1400 \pm 30$ reduce la tasa de desgaste ($<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$); $<1200 \pm 30$, $>0,08 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

Porosidad

$<1\% \pm 0,2\%$ mejora la resistencia al desgaste; $>2\% \pm 0,5\%$, la tasa de desgaste aumenta en un $20\% \pm 5\%$.

espesor

$100-200 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$ equilibra la resistencia al desgaste y la tensión.

Tecnología

HVOF es mejor que APS; el tamaño de partícula WC de $0,5-1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$ mejora la resistencia al desgaste.

La estrategia de optimización

utiliza HVOF (velocidad $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$), tamaño de grano WC $0,5-1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$, espesor $100-200 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$; agregando $0,3\% \pm 0,01\%$ de VC o TiC ($5\%-10\% \pm 1\%$) para mejorar la dureza; monitoreo en línea para garantizar la estabilidad.

Práctica de aplicación de la ingeniería

Álabes de turbina de aviación: recubrimiento HVOF WC12Co, vida útil $> 5000 \text{ horas} \pm 500 \text{ horas}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Broca para minería: revestimiento WC10TiC12Ni, vida útil $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Broca para PCB: recubrimiento Nano WC, vida útil $>10^5$ orificios $\pm 10^4$ orificios.

Resumen y perspectivas

Mediante la optimización de procesos, el diseño de materiales y la innovación estructural, la tecnología de recubrimientos y compuestos ha logrado avances en la resistencia al desgaste, la corrosión y la fatiga térmica del carburo cementado, satisfaciendo así las necesidades de diversos sectores. En el futuro, impulsará el desarrollo de la pulverización inteligente, los recubrimientos compuestos PVD/CVD, los recubrimientos ecológicos y los recubrimientos nanocompuestos, mejorando aún más su rendimiento y su ámbito de aplicación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

¿Qué es el recubrimiento de carburo cementado?

1. Definición

El recubrimiento de aleación dura es un recubrimiento que se deposita sobre la superficie de un sustrato mediante un proceso especial. Su componente principal es un material compuesto de una aleación dura (como carburo, nitruro o boruro) y un aglutinante metálico (como cobalto o níquel). Los recubrimientos de aleación dura suelen utilizar carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC) o carburo de cromo (Cr_3C_2) como fase dura principal. Presentan una dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión extremadamente altas y se utilizan ampliamente para mejorar las propiedades superficiales de los sustratos.

2. Composición

Fase difícil:

Ingredientes principales: carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC), carburo de cromo (Cr_3C_2), etc.

Características: Alta dureza (HV 1000-3000), alto punto de fusión ($>2000^\circ\text{C}$), excelente resistencia al desgaste (Wear Resistance).

Fase aglutinante:

Materiales comunes: cobalto (Co), níquel (Ni), hierro (Fe) o sus aleaciones.

Función: Une las partículas de la fase dura para proporcionar tenacidad (Tenacidad) y resistencia al impacto (Resistencia al impacto).

Relación típica:

Fase dura: 70-90 % en peso (porcentaje en peso).

Fase aglutinante: 10-30 % en peso .

Ejemplo: En un recubrimiento WC-Co, el WC representa el 80-90% y el Co representa el 10-20%.

3. Métodos de preparación

Los recubrimientos de carburo cementado se pueden depositar sobre la superficie del sustrato mediante una variedad de procesos, los métodos comunes incluyen:

Proyección térmica:

Métodos:

Pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF): utiliza una llama de alta velocidad para rociar polvo sobre la superficie del sustrato.

Proyección de plasma: el polvo se funde y se deposita mediante un arco de plasma.

Proyección con llama: pulverización mediante llama oxiacetilénica.

Características:

Espesor del recubrimiento: 0,1-2 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Resistencia de unión: 50-80 MPa.

Porosidad: 1-5%.

Deposición física de vapor (PVD):

Métodos:

Pulverización catódica por magnetrón.

por haz de electrones .

Características:

del recubrimiento: 1-10 μm .

Adecuado para capas finas y superficies lisas.

Deposición química de vapor (CVD):

Métodos:

Una fase dura, como un recubrimiento de TiC o TiN , se deposita sobre la superficie del sustrato mediante reacción química.

Características:

del recubrimiento: 5-20 μm .

Alta uniformidad (Alta Uniformidad), pero requiere alta temperatura (Alta Temperatura, 700-1000°C).

Revestimiento láser :

Métodos:

El polvo de carburo cementado se funde mediante un rayo láser y se deposita sobre la superficie del sustrato.

Características:

Espesor del recubrimiento: 0,5-3 mm.

Alta resistencia de unión, próxima a la unión metalúrgica.

4. Características de rendimiento

Alta dureza:

Rango de dureza: HV 1000-3000 (dureza Vickers) o HRC 60-80 (dureza Rockwell).

Ejemplo: la dureza del revestimiento WC-Co puede alcanzar HV 1200-1500.

Resistencia al desgaste:

Las fases duras (como el WC) pueden resistir eficazmente el desgaste abrasivo y el desgaste erosivo.

Aplicación: Prolonga la vida útil de herramientas de corte y moldes.

Resistencia a la corrosión:

La fase aglutinante (como Ni) puede mejorar la resistencia a la corrosión del recubrimiento en entornos ácidos y alcalinos.

Ejemplo: El recubrimiento Cr₃C₂-NiCr es adecuado para entornos de corrosión de alta temperatura (corrosión de alta temperatura).

Resistencia a altas temperaturas:

Puede mantener el rendimiento a 600-1000 °C y es adecuado para condiciones de alta temperatura.

Resistencia al impacto:

La fase aglutinante proporciona cierta tenacidad, pero la resistencia general al impacto es menor que la de los materiales de metal puro.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Requisitos del sustrato

Material:

Materiales base comunes: acero, hierro fundido, aleación de aluminio.

Requisitos: El sustrato debe tener cierta resistencia y resistencia al calor.

Preparación de la superficie:

Limpieza: Eliminar la capa de aceite y óxido.

Rugosidad: Ra 3,2-6,3 μm (arenado).

Referencia estándar: ASME B46.1-2009 (requisitos de rugosidad superficial).

6. Aplicaciones

Herramientas de corte industriales:

Ejemplo: El recubrimiento WC-Co se utiliza en fresas y brocas para mejorar la resistencia al desgaste y la vida útil.

Moldes:

Ejemplo: Las matrices de estampación están recubiertas con Cr3C2-NiCr para evitar el desgaste y la adhesión.

Aeroespacial:

Ejemplo: El recubrimiento de TiC se utiliza en las palas de las turbinas para mejorar la resistencia a las altas temperaturas y al desgaste.

Petroquímico:

Ejemplo: Los recubrimientos WC-Ni se utilizan en válvulas y herramientas de perforación para resistir la erosión y la corrosión.

Equipo de minería:

Ejemplo: El recubrimiento WC-Co se utiliza en perforadoras de roca para mejorar la resistencia al desgaste abrasivo.

7. Métodos de prueba

Prueba de dureza:

Método: Dureza Rockwell (HRC, ISO 6508-1:2016), dureza Vickers (HV, ISO 6507-1:2018).

Ejemplo: el resultado de la prueba de dureza del revestimiento WC-Co es HRC 65 o HV 1200.

Análisis de microestructura:

Método: Microscopio electrónico de barrido (MEB).

Observación: Distribución de partículas de la fase dura, porosidad.

Fuerza de unión:

Método: Ensayo de tracción, norma ASTM C633.

Ejemplo: La resistencia de unión del revestimiento HVOF puede alcanzar los 70 MPa.

Prueba de resistencia al desgaste:

Método: ASTM G65 (Prueba de abrasión con arena seca /rueda de caucho).

Resultados: La tasa de desgaste del recubrimiento WC-Co fue inferior a $0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

Rugosidad de la superficie:

Método: Perfilómetro de aguja, ASME B46.1-2009.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

del recubrimiento Ra 0,8-2,0 μm .

8. Ventajas y desventajas

Ventajas:

La alta dureza y resistencia al desgaste prolongan significativamente la vida útil del sustrato.

Resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas, adecuado para duras condiciones de trabajo.

Personalizable: satisface diferentes necesidades ajustando la proporción de la fase dura y la fase adhesiva.

Desventajas:

Alto costo: por ejemplo, los equipos de proceso HVOF son costosos y los precios de los materiales son altos.

Fragilidad: El recubrimiento de carburo cementado tiene poca resistencia al impacto y es propenso a agrietarse.

Espesor limitado: un recubrimiento demasiado grueso puede provocar descamación.

9. Ejemplo típico

Recubrimiento WC-Co:

Composición: WC 88 % en peso, Co 12 % en peso.

Proceso: pulverización HVOF.

Rendimiento: Dureza HV 1300, resistencia de unión 75 MPa, excelente resistencia al desgaste.

Aplicación: Brocas para minería.

10. Tendencias

Recubrimientos nanoestructurados:

Las partículas nano-WC se utilizan para mejorar la dureza y la tenacidad.

Ejemplo: El recubrimiento Nano WC-Co puede alcanzar una dureza de HV 2000.

Recubrimientos multicapa:

La combinación de diferentes carburos cementados (como WC/ TiC) puede mejorar el rendimiento general.

Ejemplo: El recubrimiento multicapa WC-Cr₃C₂ se utiliza para piezas resistentes al desgaste a altas temperaturas.

Procesos ecológicos:

Desarrollar tecnologías de deposición de bajo consumo energético y bajas emisiones, como la pulverización en frío.

Resumen

El recubrimiento de carburo cementado es una tecnología de protección de superficies de alto rendimiento, con carburo (como el WC) como fase dura y metal (como Co, Ni) como fase de unión. Este metal se deposita sobre la superficie del sustrato mediante pulverización térmica, PVD, CVD y otros procesos. Presenta alta dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión, y se utiliza ampliamente en herramientas industriales, moldes, la industria aeroespacial y otros sectores. Sus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

principales desafíos son el coste, la fragilidad y la complejidad del proceso, pero mediante la nanotecnología y el diseño de estructuras multicapa, se espera que su rendimiento mejore aún más en el futuro.

apéndice:

Tecnología de pulverización de alta explosión (DGS) de carburo cementado

1. Definición de pulverización con pistola de detonación (DGS)

La pulverización con pistola de detonación (DGS), también conocida como pulverización con pistola de detonación, es una tecnología de pulverización térmica que genera gas a alta temperatura y presión mediante reacciones de detonación periódicas, acelera el polvo de carburo cementado (como WC-Co) a una velocidad supersónica (aproximadamente 3500 m/s) y lo pulveriza sobre la superficie del sustrato para formar un recubrimiento de alta dureza y resistente al desgaste. Esta tecnología fue inventada por HB Sargent et al. en 1955 y fue originalmente denominada y comercializada por Union Carbide Company con el nombre de "D-Gun ".

2. Principio del proceso de pulverización con pistola de detonación (DGS)

El DGS utiliza una reacción de detonación controlada para generar energía. Los pasos específicos son los siguientes:

Reacción de detonación

En la pistola de detonación (D-Gun), se enciende un gas mixto (como oxígeno O_2 y acetileno C_2H_2 , en una proporción de 1:1-1,5:1) y se produce una reacción de detonación que genera una onda de choque de alta temperatura (alrededor de 4000 °C) y alta presión (alrededor de 2-3 MPa).

La velocidad de la onda de choque puede alcanzar los 3500 m/s, formando un flujo de aire supersónico.

Aceleración y deposición de polvo

El polvo de carburo cementado (tamaño de partícula de 10-50 μm) se inyecta en el cañón de detonación, se acelera a una velocidad supersónica (aproximadamente 800-1200 m/s) por la onda de choque y se funde o ablanda parcialmente.

Las partículas de polvo golpean la superficie del sustrato a una velocidad extremadamente alta, sufren una deformación plástica, se enfrían rápidamente y forman una capa densa con un espesor típico de 50-300 μm .

Operación periódica

Después de cada detonación, el gas residual en el arma se purga con nitrógeno (N_2) para evitar la combustión espontánea y el retroceso de llama.

La frecuencia de pulverización es de 1 a 10 Hz (1 a 10 detonaciones por segundo), dependiendo del espesor del recubrimiento y del material.

Pretratamiento del sustrato

Es necesario raspar el sustrato mediante chorro de arena (Ra 3-5 μm) y limpiarlo para eliminar el aceite y los óxidos y mejorar la adhesión del recubrimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Características del polvo de carburo cementado en la pulverización con pistola de detonación (DGS)

Materiales de uso común:

WC-Co (contenido de cobalto 6-17 % en peso) : alta dureza y resistencia al desgaste, comúnmente utilizado en recubrimientos resistentes al desgaste.

Cr₃C₂ - NiCr : Resistente a la oxidación a alta temperatura, adecuado para entornos de alta temperatura.

Cerámica de óxido (como Al₂O₃ - TiO₂) : se utiliza para requisitos especiales de resistencia al desgaste o a la corrosión.

Requisitos de polvo:

Tamaño de partícula: 10-50 µm , para garantizar la uniformidad de la pulverización .

Pureza: >99%, contenido de oxígeno <500 ppm, evitando defectos de recubrimiento.

Morfología: esférica o casi esférica, lo que favorece la aceleración y la deposición.

4. Aplicación de la pulverización con pistola de detonación (DGS) en el campo del carburo cementado

La tecnología DGS es ampliamente utilizada en escenarios que requieren alta resistencia al desgaste y a la corrosión debido a su alta fuerza de unión y baja porosidad del recubrimiento:

Aeroespacial:

Pulverización de piezas de motores de aeronaves (como álabes de turbinas y álabes de compresores) para mejorar la resistencia al desgaste y a las altas temperaturas.

Equipos industriales:

Recubrimiento de superficies de herramientas de corte, matrices, válvulas y cuerpos de bombas para prolongar la vida útil.

Industria energética:

Recubrimientos para equipos de perforación de petróleo y gas (como brocas) para resistir la erosión y el desgaste.

Ejemplo específico: la pulverización del revestimiento WC-12Co sobre las palas de las turbinas de los motores de las aeronaves puede alcanzar una dureza de HV 1100-1300 y mejorar la resistencia al desgaste de 5 a 8 veces.

5. Parámetros del proceso de pulverización de alta explosión de carburo cementado (pulverización con pistola de detonación, DGS)

Gas de detonación: O₂ + C₂H₂ (relación 1:1-1,5:1), o añadir una pequeña cantidad de N₂ (5-10 %) para ajustar la temperatura.

Frecuencia de pulverización: 1-10 Hz, para controlar el espesor del recubrimiento.

Distancia de pulverización: 150-200 mm, evitar sobrecalentar el sustrato.

Velocidad de alimentación de polvo: 20-40 g/min, para garantizar un recubrimiento uniforme.

Temperatura del sustrato: controlada a <150°C para evitar la zona afectada por el calor (ZAT).

Gas de purga: N₂ , purgar durante 2-3 segundos después de cada detonación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Características de la pulverización con pistola de detonación (DGS)

Alta temperatura y alta presión: la temperatura de detonación es de aproximadamente 4000 °C y la velocidad de la onda de choque es de 3500 m/s, lo que es mucho más alto que otras tecnologías de pulverización térmica.

Rendimiento del recubrimiento:

Alta dureza: dureza del recubrimiento WC-Co HV 1100-1400.

Fuerza de unión: 70-100 MPa, unión principalmente mecánica, unión metalúrgica parcial.

Porosidad muy baja: <1%, recubrimiento denso.

Rugosidad superficial: Ra 2-4 µm , se requiere menos procesamiento posterior.

Bajo aporte de calor: temperatura del sustrato <150 °C, sin zona afectada por el calor (ZAT), no requiere tratamiento térmico posterior (PWHT).

Ventajas y desventajas de la pulverización de alta explosión de carburo cementado (pulverización con pistola de detonación, DGS)

Ventajas:

Alta calidad de recubrimiento: porosidad <1%, alta fuerza de adhesión, excelente resistencia al desgaste y a la corrosión.

Bajo impacto térmico: sin deformación térmica del sustrato, adecuado para piezas de precisión.

Fuerte aplicabilidad: Puede rociar una variedad de carburos cementados y materiales cerámicos (como WC-Co, Al₂O₃) .

Menos posprocesamiento: baja rugosidad superficial, lo que reduce los costos de procesamiento posterior.

Desventajas:

Equipo complejo: El diseño de la pistola de explosión es complejo y el costo es alto (alrededor de 2-3 millones de yuanes).

Riesgos operacionales: Implica una reacción de detonación, que requiere medidas de seguridad estrictas (como protección contra el retroceso de llama y purga con nitrógeno).

Baja eficiencia: funcionamiento periódico (1-10 Hz), velocidad de pulverización lenta (aproximadamente 0,1-0,3 m²/h).

Limitación de polvo: se requiere polvo de alta resistencia (como WC-Co), de lo contrario podría romperse.

8. Comparación entre la pulverización con pistola de detonación (DGS) y otras tecnologías de pulverización térmica

Comparación con APS (plasma spray):

DGS: Menor porosidad (<1% vs 2-5%), mayor resistencia de unión (70-100 MPa vs 30-70 MPa), pero menor eficiencia.

APS: Temperatura más alta (15.000 °C), adecuada para una gama más amplia de materiales, pero más oxidación.

En comparación con HVOF (pulverización de combustible con oxígeno a alta velocidad):

DGS: recubrimiento más denso, mayor dureza (HV 1100-1400 vs 800-1200), pero equipo más

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

complejo.

HVOF: Mayor velocidad de pulverización (0,5-1 m²/h), menor coste, menor oxidación.

En comparación con VPS (pulverización de plasma al vacío):

DGS: opera en la atmósfera, tiene bajo costo pero puede tener trazas de oxidación.

VPS: Sin oxidación, menor porosidad, pero alto costo del equipo (alrededor de 5 millones de yuanes).

Resumir

La tecnología de pulverización de alta explosión (DGS) de carburo cementado utiliza una reacción de detonación para pulverizar polvo de carburo cementado a alta velocidad sobre el sustrato, formando un recubrimiento de alta dureza y baja porosidad. Se utiliza ampliamente en la industria aeroespacial, equipos industriales y otros sectores. Sus ventajas son la alta calidad del recubrimiento y el bajo impacto térmico, pero el equipo es complejo y su baja eficiencia. La optimización del proceso (como el ajuste de la frecuencia de detonación y el tamaño de las partículas de polvo) puede mejorar aún más el rendimiento.

apéndice:

de pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico)

1. Definición de pulverización de plasma atmosférico (APS)

La pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico) es una tecnología de pulverización térmica que utiliza una llama de plasma para calentar polvo de carburo cementado (como WC-Co, WC-Ni) hasta su estado fundido o semifundido, y lo pulveriza sobre la superficie del sustrato a alta velocidad para formar una densa capa de carburo cementado. Este proceso se lleva a cabo en un entorno atmosférico, por lo que se denomina "pulverización de plasma atmosférico".

2. Principio de la pulverización de plasma atmosférico (APS)

El proceso APS se basa en las características de alta temperatura y alta energía del plasma. Los pasos principales son los siguientes:

Generación de plasma

se introduce un gas inerte (como argón Ar) o un gas mixto (como Ar+H₂) y se utiliza un arco de alta frecuencia (voltaje 50-100 V, corriente 500-1000 A) para ionizar el gas y formar un plasma de alta temperatura (la temperatura puede alcanzar 10 000-15 000 °C).

Calentamiento y aceleración del polvo

El polvo de carburo cementado (tamaño de partícula de 10 a 50 μm) se introduce en la llama de plasma a través de un alimentador de polvo, se calienta rápidamente hasta un estado fundido o semifundido y se acelera a 300-600 m/s.

Formación de recubrimiento

de "salpicaduras" (splats), que se apilan para formar una capa densa con un espesor de típicamente 50-500 μm .

Control de la atmósfera

La APS funciona en un entorno atmosférico y existe cierto riesgo de oxidación. Se suele utilizar gas protector (como Ar) para proteger parcialmente la salida de la pistola pulverizadora y así reducir la oxidación del recubrimiento.

3. Características del polvo de carburo cementado mediante pulverización de plasma (APS , pulverización de plasma atmosférico)

Materiales comúnmente utilizados:

WC-Co (contenido de cobalto 6-12 % en peso) : alta dureza y resistencia al desgaste, a menudo utilizado en recubrimientos resistentes al desgaste.

WC-Ni: Mejor resistencia a la corrosión, adecuado para entornos ácidos.

Cr₃C₂ - NiCr : Resistente a la oxidación a alta temperatura, adecuado para entornos de alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Requisitos de polvo:

Tamaño de partícula: 10-50 μm , asegurando una buena fluidez y una fusión uniforme.

Pureza: >99%, impurezas (como O_2) <500 ppm, evitando defectos de recubrimiento.

Morfología: esférica o casi esférica, lo que favorece la uniformidad de pulverización.

4. Aplicación de la pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico) en el campo del carburo cementado

El APS se utiliza ampliamente para preparar recubrimientos de carburo cementado sobre sustratos (como acero, acero inoxidable, aluminio, etc.) para mejorar la resistencia al desgaste, la corrosión y las altas temperaturas. Sus principales aplicaciones incluyen:

Piezas industriales:

El recubrimiento de la superficie de herramientas de corte y moldes puede prolongar su vida útil.

Los recubrimientos para válvulas y cuerpos de bombas mejoran la resistencia al desgaste y la corrosión.

Aeroespacial:

Recubrimiento de álabes de turbina, resistente al desgaste por alta temperatura.

Industria energética:

Recubrimientos para tuberías de calderas y equipos de perforación para resistir la erosión y la oxidación a alta temperatura.

Ejemplo específico: rociar el revestimiento WC-12Co sobre la superficie de una broca para perforación petrolera puede lograr una dureza de HRC 60-65 y mejorar la resistencia al desgaste de 3 a 5 veces.

Parámetros del proceso de pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico)

Gas de plasma: Ar (gas principal, 30-50 L/min) + H_2 (gas auxiliar , 5-10 L/min).

Potencia: 30-50 kW (dependiendo del modelo de pistola).

Distancia de pulverización: 80-150 mm, afecta la densidad y la fuerza de adhesión del recubrimiento. de alimentación de polvo : 30-60 g/min, para garantizar un recubrimiento uniforme.

Pretratamiento del sustrato: arenado para dar rugosidad (Ra 3-5 μm) para mejorar la resistencia de la unión .

Enfriamiento: El sustrato necesita enfriamiento por aire forzado o por agua, y la temperatura debe controlarse <200°C para evitar estrés térmico.

6. Características de la pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico)

Capacidad de alta temperatura: La temperatura del plasma es extremadamente alta (10.000-15.000 °C), capaz de fundir carburos cementados de alto punto de fusión (como WC, punto de fusión 2870 °C).

Rendimiento del recubrimiento:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Alta dureza: La dureza del revestimiento WC-Co puede alcanzar HV 900-1200.

Fuerza de adhesión: 30-70 MPa (dependiendo del sustrato y del proceso).

Porosidad: 2-5%, densa pero aún tiene microporos.

Entorno de operación: realizado en la atmósfera, con equipos sencillos, adecuados para sitios industriales.

7. Ventajas y desventajas de la pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico)

Ventajas:

Amplia aplicabilidad: Puede rociar una variedad de materiales de carburo cementado (como WC-Co, Cr_3C_2 -NiCr) para adaptarse a diferentes sustratos.

Alta eficiencia: velocidad de pulverización rápida (hasta 0,5-1 m^2/h), adecuada para recubrimiento de grandes áreas.

El recubrimiento tiene un rendimiento excelente: alta dureza, buena resistencia al desgaste y mejora significativamente la vida útil de las piezas.

El costo del equipo es moderado: el equipo APS (alrededor de 500.000 a 1.000.000 de yuanes) es más barato que el HVOF (pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad).

Desventajas:

Riesgo de oxidación: Al operar en la atmósfera, el recubrimiento puede oxidarse (por ejemplo, WC se puede descomponer en W_2C y generar óxido WO_3), lo que afecta el rendimiento.

Mayor porosidad: una porosidad del 2 al 5 % puede reducir la resistencia a la corrosión y requerir un procesamiento posterior (como el sellado).

Influencia térmica: El flujo de llama a alta temperatura puede provocar deformación térmica del sustrato, por lo que el enfriamiento debe controlarse estrictamente.

Tensión residual: Las diferencias en los coeficientes de expansión térmica entre el recubrimiento y el sustrato pueden generar concentraciones de tensión que afectan la unión.

8. Comparación entre la pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico) y otras tecnologías de pulverización térmica

En comparación con HVOF (pulverización de combustible con oxígeno a alta velocidad):

APS: Temperatura más alta (15.000 °C), adecuada para materiales de alto punto de fusión, pero más oxidación y mayor porosidad (2-5 %).

HVOF: menor temperatura (3000°C), mayor velocidad (>1000 m/s), menor oxidación, menor porosidad (<1%), pero dureza ligeramente menor para recubrimientos WC-Co (HV 800-1000).

Comparación con la pulverización de plasma al vacío (VPS):

APS: En la atmósfera, el costo es bajo, pero los problemas de oxidación y porosidad son importantes.

VPS: Al vacío, la calidad del recubrimiento es mayor (porosidad <1%, sin oxidación), pero el equipo es complejo y el costo es alto (2-5 millones de yuanes).

La pulverización de plasma de carburo (APS) utiliza plasma de alta temperatura para pulverizar polvo de carburo sobre la superficie del sustrato y formar un recubrimiento de alta dureza y resistencia al desgaste. Se utiliza ampliamente en la fabricación de piezas industriales, la industria

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aeroespacial y otros sectores. Sus ventajas son su amplia aplicabilidad y alta eficiencia, pero es importante prestar atención a los problemas de oxidación y porosidad. La optimización del proceso (como el ajuste de la distancia de pulverización y la adición de gas protector) puede mejorar aún más la calidad del recubrimiento.

apéndice:

Tecnología de pulverización de oxígeno y combustible a alta velocidad para carburo cementado (Pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad , HVOF)

1. Definición de pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF) con carburo cementado

La pulverización de oxígeno combustible (HVOF) de carburo cementado es una tecnología de pulverización térmica que genera un flujo de aire a alta temperatura y alta presión mediante la combustión a alta velocidad de combustible y oxígeno. Esto acelera el polvo de carburo cementado (como WC-Co, Cr₃C₂ - NiCr) a una velocidad supersónica (aproximadamente 500-1000 m/s), lo pulveriza sobre la superficie del sustrato y forma un recubrimiento resistente al desgaste de alta dureza y baja porosidad. Esta tecnología fue desarrollada por Browning en la década de 1980 y se utiliza ampliamente gracias a su excelente rendimiento de recubrimiento.

2. Principio del proceso de pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF) con carburo cementado

La tecnología HVOF utiliza un flujo de aire de alta velocidad generado por la combustión de combustible. Los pasos principales son los siguientes:

Combustión y aceleración del flujo de aire

En la cámara de combustión del cañón, el combustible (como queroseno, propano o hidrógeno) se mezcla con oxígeno y se enciende a una temperatura de combustión de aproximadamente 2800-3200 °C.

El gas de combustión a alta presión se acelera a velocidad supersónica (500-1000 m/s) a través de la boquilla Laval, formando un flujo de llama de alta velocidad.

Calentamiento y pulverización de polvo

El polvo de carburo cementado (tamaño de partícula de 10-45 μm) se inyecta en la llama a través de un alimentador de polvo, se funde parcialmente o se ablanda (temperatura por debajo del punto de fusión, aproximadamente 1000-1500 °C) y se acelera a velocidad supersónica.

Las partículas de polvo impactan el sustrato con alta energía cinética, sufren una deformación plástica, se enfrían rápidamente y se depositan para formar una capa densa con un espesor típico de 50-400 μm .

Control de la atmósfera

La combustión se lleva a cabo en un entorno rico en oxígeno con una alta velocidad de llama, lo que reduce el arrastre de aire y reduce el grado de oxidación del recubrimiento.

Pretratamiento del sustrato

Es necesario pulir el sustrato con chorro de arena para dejarlo rugoso (Ra 3-5 μm) y limpiarlo para eliminar aceite y óxidos y mejorar la resistencia de la unión.

3. Características del polvo de carburo cementado de oxigenación a alta velocidad (HVOF)

Materiales comúnmente utilizados:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

WC-Co (contenido de cobalto 6-17 % en peso) : alta dureza y resistencia al desgaste, comúnmente utilizado en recubrimientos resistentes al desgaste.

Cr₃C₂ - NiCr : Resistente a la oxidación y corrosión a altas temperaturas, adecuado para entornos de alta temperatura.

NiCrBSi : Aleación autofundente, resistente al desgaste y a la corrosión.

Requisitos de polvo:

Tamaño de partícula: 10-45 µm , para garantizar la uniformidad de la pulverización .

Pureza: >99%, contenido de oxígeno <500 ppm, evitando defectos de recubrimiento.

Morfología: esférica o casi esférica, lo que favorece la aceleración y la deposición.

4. Características de la pulverización de oxígeno combustible a alta velocidad (HVOF) con carburo cementado

Alta velocidad y bajo calor:

La velocidad de la llama es tan alta como 500-1000 m/s, la energía cinética de las partículas es alta, pero la temperatura es relativamente baja (1000-1500°C), lo que evita la descomposición de carburos cementados (como WC).

Propiedades del recubrimiento:

Alta dureza: dureza del recubrimiento WC-Co HV 800-1200.

Fuerza de unión: 50-80 MPa, unión principalmente mecánica, unión metalúrgica parcial.

La porosidad es extremadamente baja: <1-2%, el recubrimiento es denso y tiene una fuerte resistencia a la corrosión.

Rugosidad superficial: Ra 3-6 µm , se puede optimizar mediante pulido.

Baja oxidación:

El flujo de llama supersónico reduce la entrada de aire y el revestimiento tiene un bajo contenido de óxido (como una menor descomposición de WC en W₂C o WO₃) .

Pequeña influencia del sustrato:

La temperatura del sustrato es <200 °C, la zona afectada por el calor (ZAT) es pequeña y no se requiere tratamiento térmico posterior.

5. Aplicación de carburo cementado mediante pulverización de combustible con oxígeno a alta velocidad (HVOF)

El HVOF se utiliza ampliamente en el campo del carburo cementado, principalmente para mejorar la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas del sustrato:

Aeroespacial:

Recubrimientos para trenes de aterrizaje de aeronaves y álabes de turbinas para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión.

Equipos industriales:

Recubrimiento de superficies de herramientas de corte, matrices, válvulas y cuerpos de bombas para prolongar la vida útil.

Industria energética:

Equipos de perforación de petróleo y gas (como brocas) y revestimientos de tuberías de calderas para resistir la erosión y la oxidación a alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fabricación de papel e impresión:

El recubrimiento de la superficie del rodillo (como WC-Co) mejora la resistencia al desgaste y la calidad de la superficie.

Ejemplo específico:

La pulverización del recubrimiento WC-12Co sobre brocas para perforación petrolera tiene una dureza de HV 1000-1200 y aumenta la resistencia al desgaste de 4 a 6 veces.

Cr₃C₂- NiCr pulverizado sobre el tren de aterrizaje de la aeronave tiene una resistencia a la temperatura de hasta 800 °C y una excelente resistencia a la corrosión.

6. Ventajas y desventajas de la pulverización de oxígeno combustible a alta velocidad (HVOF) con carburo cementado

Ventajas

Alta calidad de recubrimiento: porosidad <1-2%, alta fuerza de adhesión, excelente resistencia al desgaste y a la corrosión.

Baja oxidación: alta velocidad de la llama, reduciendo la oxidación, adecuado para carburo cementado (como WC-Co).

Pequeño impacto térmico: baja temperatura del sustrato, adecuado para piezas de precisión.

Alta eficiencia: velocidad de pulverización 0,5-1 m²/h, adecuada para la producción industrial.

Desventajas

Alto costo del equipo: el equipo HVOF cuesta alrededor de RMB 1 a 2 millones y su mantenimiento es complejo.

Requisitos de alto contenido de polvo: se requiere polvo de alta resistencia (como WC-Co), de lo contrario podría romperse.

Ruido fuerte: Las llamas supersónicas producen un ruido de altos decibelios (>120 dB), lo que requiere instalaciones de insonorización.

Límite de espesor: Cuando el espesor del recubrimiento es >400 μm, es fácil que se agriete y es necesario rociarlo en capas.

7. Comparación de la pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF) con carburo cementado y otras tecnologías de pulverización térmica

Comparación con APS (pulverización de plasma)

HVOF: menor porosidad (<1-2% vs 2-5%), menor oxidación y mayor resistencia de unión (50-80 MPa vs 30-70 MPa).

APS: Temperatura más alta (15.000 °C), adecuada para una gama más amplia de materiales, pero más oxidación.

Comparación con DGS (pulverización de alto poder explosivo)

HVOF: Mayor eficiencia (0,5-1 m²/h vs 0,1-0,3 m²/h) y menor coste del equipo.

DGS: Mayor dureza de recubrimiento (HV 1100-1400 vs 800-1200), pero más complicado de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

operar.

La tecnología HVOF (pulverización de combustible con oxígeno a alta velocidad) de carburo cementado pulveriza polvo de carburo cementado sobre el sustrato mediante un flujo de llama supersónico para formar un recubrimiento de alta dureza y baja porosidad con alta calidad, baja oxidación y bajo impacto térmico. Se utiliza ampliamente en las industrias aeroespacial, de equipos industriales y energética. La optimización del proceso (como el ajuste de la proporción de combustible y la distancia de pulverización) puede mejorar aún más el rendimiento.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

Pulverización de plasma al vacío de carburo cementado (VPS)

1. Definición de pulverización de plasma al vacío de carburo cementado (VPS)

La pulverización de plasma al vacío (VPS) de carburo cementado es una tecnología de pulverización térmica que utiliza una llama de plasma para calentar polvo de carburo cementado (como WC-Co, Cr_3C_2 - NiCr) hasta su estado fundido o semifundido en un entorno de vacío o baja presión, y lo pulveriza sobre la superficie del sustrato para formar un recubrimiento resistente al desgaste, no oxidado y de alta dureza y baja porosidad. La tecnología VPS se desarrolló en la década de 1970 y se utiliza ampliamente en sectores de alta demanda debido a la altísima calidad de su recubrimiento.

2. Principio del proceso de pulverización de plasma al vacío (VPS) de carburo cementado

La tecnología VPS se basa en las características del plasma, su alta temperatura y el entorno de vacío. Los pasos principales son los siguientes:

Entorno de vacío:

La pulverización se realiza en una cámara de vacío con una presión controlada a 50-200 Pa (0,05-0,2 mbar), y el aire se evacua mediante una bomba de vacío (bomba mecánica + bomba de difusión) para reducir el oxígeno y la humedad.

Generación de plasma:

se introduce un gas inerte (como argón Ar) o un gas mixto (como $\text{Ar}+\text{H}_2$) y el gas se ioniza mediante un arco de alta frecuencia (voltaje 50-100 V, corriente 600-1200 A) para formar un plasma de alta temperatura (temperatura 10 000-15 000 °C).

Calentamiento y aceleración del polvo:

El polvo de carburo cementado (tamaño de partícula de 10 a 50 μm) se inyecta en la llama de plasma a través de un alimentador de polvo, se calienta rápidamente hasta un estado fundido o semifundido y se acelera a 300-600 m/s.

Formación del recubrimiento:

Las partículas fundidas golpean la superficie del sustrato, se enfrían rápidamente y se solidifican para formar una capa de "salpicaduras" (splats), que se apila para formar una capa densa con un espesor de típicamente 50-500 μm .

Control de la atmósfera:

El entorno de vacío (<200 Pa) está casi libre de oxígeno, lo que evita que el revestimiento se oxide (por ejemplo, que el WC se descomponga en W_2C o WO_3) .

3. Características del polvo de oro pulverizado por plasma al vacío (VPS) de carburo cementado

Materiales comúnmente utilizados:

WC-Co (contenido de cobalto 6-12 % en peso) : alta dureza y resistencia al desgaste, comúnmente utilizado en recubrimientos resistentes al desgaste.

Cr_3C_2 - NiCr : Resistente a la oxidación y corrosión a altas temperaturas, adecuado para entornos de alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

TiC -Ni: Alta dureza, adecuado para requisitos especiales de resistencia al desgaste.

Requisitos de polvo:

Tamaño de partícula: 10-50 μm , para garantizar la uniformidad de la pulverización .

Pureza: >99,5%, contenido de oxígeno <300 ppm, evitando defectos de recubrimiento.

Morfología: Esférica o casi esférica, lo que favorece la aceleración y la deposición.

4. Características de la pulverización de plasma al vacío (VPS) de carburo cementado

Sin oxidación:

El ambiente de vacío (<200 Pa) elimina la oxidación y el recubrimiento queda libre de óxidos (como WO_3) , conservando las propiedades originales del carburo cementado.

Rendimiento del recubrimiento:

Alta dureza: dureza del recubrimiento WC-Co HV 1000-1300.

Fuerza de unión: 60-90 MPa, unión metalúrgica parcial, unión más fuerte.

La porosidad es extremadamente baja: <0,5-1%, el recubrimiento es denso y tiene una excelente resistencia a la corrosión.

Rugosidad superficial: Ra 2-4 μm , se requiere menos procesamiento posterior.

Capacidad de alta temperatura:

La temperatura del plasma es de 10.000 a 15.000 $^{\circ}\text{C}$, lo que puede fundir carburos cementados de alto punto de fusión (como WC, punto de fusión 2870 $^{\circ}\text{C}$).

Pequeña influencia del sustrato:

La temperatura del sustrato se puede controlar a <200 $^{\circ}\text{C}$ y la zona afectada por el calor (HAZ) es pequeña, lo que es adecuada para piezas de precisión.

Proceso complejo:

Se requiere una cámara de vacío y un sistema de vacío, lo que hace que la operación sea complicada y el costo elevado.

5. Aplicación de la pulverización de plasma al vacío (VPS) para carburo cementado

La aplicación de VPS en el campo del carburo cementado se concentra principalmente en escenarios de alto rendimiento y alta confiabilidad:

Aeroespacial:

Recubrimientos de álabes de turbinas y cámaras de combustión, resistentes al desgaste por alta temperatura y oxidación.

Recubrimiento para componentes de naves espaciales, resistente a la corrosión en ambientes de alta temperatura y vacío.

Dispositivos médicos:

Recubrimiento superficial de articulaciones artificiales (como articulaciones de cadera) para mejorar la resistencia al desgaste y la biocompatibilidad.

Industria energética:

Recubrimientos para equipos de energía nuclear y turbinas de gas para resistir la corrosión y el desgaste a altas temperaturas.

Industria de alta gama:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moldes de precisión y recubrimientos de herramientas de corte para prolongar la vida útil.

Ejemplo específico:

La pulverización del recubrimiento WC-12Co sobre las palas de turbinas de aviación tiene una dureza de HV 1100-1300, la resistencia al desgaste se mejora entre 5 y 10 veces y no hay defectos de óxido.

El recubrimiento Cr₃C₂- NiCr se pulveriza sobre válvulas de energía nuclear, que pueden soportar temperaturas de 900°C y tienen una excelente resistencia a la corrosión.

6. Ventajas y desventajas de la pulverización de plasma al vacío de carburo cementado (VPS)

Ventajas:

La calidad del recubrimiento es extremadamente alta: porosidad <0,5-1%, sin oxidación, óptima resistencia al desgaste y a la corrosión.

Alta resistencia de unión: 60-90 MPa, unión metalúrgica parcial, el revestimiento no es fácil de desprender.

Aplicable a escenarios de alta demanda: adecuado para campos de alto rendimiento como aeroespacial, médico, etc.

Pequeño impacto térmico: baja temperatura del sustrato, adecuado para piezas de precisión.

Desventajas:

Alto costo del equipo: el sistema VPS (incluida la cámara de vacío) cuesta alrededor de 3 a 5 millones de RMB y su mantenimiento es complejo.

Baja eficiencia: se requiere aspiración (cada operación tarda entre 30 y 60 minutos), la velocidad de pulverización es de aproximadamente 0,3 a 0,5 m²/h.

Operación compleja: El grado de vacío y la atmósfera deben controlarse estrictamente y se requieren altas habilidades técnicas del operador.

Tamaño limitado del sustrato: debido al tamaño de la cámara de vacío, resulta difícil pulverizar piezas grandes.

7. Comparación entre la pulverización de plasma al vacío (VPS) de carburo cementado y otras tecnologías de pulverización térmica

Comparación con APS (plasma spray):

VPS: Sin oxidación, menor porosidad (<0,5-1% vs 2-5%), mayor resistencia de unión (60-90 MPa vs 30-70 MPa).

APS: Opera en la atmósfera, tiene bajo costo, pero es más oxidativo.

En comparación con HVOF (pulverización de combustible con oxígeno a alta velocidad):

VPS: El recubrimiento es más denso y libre de oxidación, pero el costo es alto y la eficiencia es baja.

HVOF: La porosidad es ligeramente mayor (<1-2%), pero el costo del equipo es bajo (1-2 millones de yuanes) y la eficiencia es alta.

En comparación con DGS (pulverización de alto poder explosivo):

VPS: Sin oxidación, adecuado para escenarios de mayor demanda, pero menor eficiencia.

DGS: Porosidad similar (<1%), pero puede tener trazas de oxidación y un costo de equipo ligeramente menor (2-3 millones de yuanes).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La tecnología de pulverización de plasma al vacío (VPS) de carburo cementado utiliza plasma para pulverizar polvo de carburo cementado en un entorno de vacío, formando un recubrimiento de alta dureza, sin oxidación y de baja porosidad. Se caracteriza por una altísima calidad de recubrimiento y un bajo impacto térmico. Se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, médico e industrial de alta gama. Sin embargo, el coste de los equipos es elevado y la eficiencia baja, lo que la hace adecuada para entornos de alta demanda. La optimización del proceso (como el ajuste del grado de vacío y la distancia de pulverización) puede mejorar aún más el rendimiento.

Tabla comparativa de tecnologías de pulverización de carburo cementado

Nombre de la tecnología	Pulverización de plasma (APS)	Pulverización de alto poder explosivo (DGS)	Pulverización de oxígeno y combustible a alta velocidad (HVOF)	Pulverización de plasma al vacío (VPS)
definición	Se rocía con llama de plasma en la atmósfera para formar un revestimiento resistente al desgaste.	La aleación dura se pulveriza a velocidad supersónica a través de una reacción de detonación para formar un recubrimiento de alta dureza.	El recubrimiento de baja porosidad se forma mediante la pulverización supersónica de carburo cementado a través de la combustión de combustible y oxígeno.	Se rocía con llama de plasma en un entorno de vacío para formar un recubrimiento libre de oxidación.
Principio del proceso	de Ar o Ar + H ₂ , temperatura 10.000-15.000°C. El polvo (10-50 μm) se acelera a 300-600 m/s. Funcionamiento atmosférico, blindaje Ar .	Detonación de O ₂ + C ₂ H ₂ , temperatura 4000°C, onda de choque 3500 m/s. El polvo (10-50 μm) se acelera a 800-1200 m/s. Frecuencia 1-10 Hz, purga N ₂ .	Combustión de O ₂ + queroseno/propano, temperatura 2800-3200°C. El polvo (10-45 μm) se acelera a 500-1000 m/s. Boquilla Laval.	Vacío (50-200 Pa), ionización de Ar o Ar+H ₂ , temperatura 10.000-15.000°C. El polvo (10-50 μm) se acelera a 300-600 m/s. Ambiente anaeróbico.
Características	Fuerte capacidad de alta temperatura, dureza HV 900-1200. Porosidad 2-5%, resistencia de unión 30-70 MPa. Riesgo de oxidación.	Alta temperatura y alta presión, dureza HV 1100-1400. Porosidad <1%, resistencia de unión 70-100 MPa. Bajo aporte de calor.	Alta velocidad y bajo calor, dureza HV 800-1200. Porosidad <1-2%, resistencia de unión 50-80 MPa. Baja oxidación.	Sin oxidación, dureza HV 1000-1300. Porosidad <0,5-1%, resistencia de unión 60-90 MPa. Capacidad de alta temperatura.
solicitud	Herramientas de corte, válvulas, cuerpos de bombas. Álabes de turbinas, tubos de calderas. Ejemplo: Broca WC-12Co, resistencia al desgaste aumentada de 3 a 5 veces.	Álabes de turbina, álabes de compresor. Herramientas de corte, brocas para perforación de petróleo y gas. Ejemplo: WC-12Co para álabes de turbina, resistencia al desgaste aumentada de 5 a 8 veces.	Tren de aterrizaje, álabes de turbina. Herramientas de corte, equipos de perforación, rodillos. Ejemplo: Broca WC-12Co, resistencia al desgaste aumentada de 4 a 6 veces.	Álabes de turbinas, componentes de naves espaciales. Articulaciones médicas, equipos de energía nuclear. Ejemplo: WC-12Co para álabes de turbinas, resistencia al desgaste aumentada de 5 a 10 veces.
Ventajas y desventajas	Ventajas: amplia aplicabilidad, alta eficiencia (0,5-1 m ² /h), coste moderado (500.000-1 millón de yuanes).	Ventajas: alta calidad de recubrimiento, bajo impacto térmico, menor posprocesamiento. Desventajas: equipo complejo	Ventajas: alta calidad de recubrimiento, baja oxidación, alta eficiencia (0,5-1 m ² /h). Desventajas: alto costo (1-2 millones de yuanes), alto ruido y	Ventajas: Calidad de recubrimiento extremadamente alta, sin oxidación, adecuado para altas exigencias.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Desventajas: alta oxidación, (2-3 millones de yuanes), baja porosidad requiere eficiencia (0,1-0,3 m²/h), alto postprocesamiento, efectos térmicos.	espesor limitado.	Desventajas: alto costo (3-5 millones de yuanes), baja eficiencia (0,3-0,5 m²/h), tamaño limitado.
--	---	-------------------	--

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

Ingeniería de interfaz de carburo

1. La connotación y la importancia de la ingeniería de interfaz de carburo cementado

El carburo cementado (WC-Co), con carburo de tungsteno (WC) como fase dura y cobalto (Co) como fase aglutinante, se utiliza ampliamente en campos de alto rendimiento, como boquillas de aviación, herramientas de corte y electrodos de celdas electrolíticas, gracias a su excelente dureza (HV1000-1800), resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas. Sin embargo, su rendimiento depende no solo del material del sustrato, sino también de las características de la interfaz (como la interfaz WC/Co y la interfaz recubrimiento/sustrato). La interfaz es una región microscópica entre diferentes fases (como WC y Co, recubrimiento y sustrato) dentro o sobre la superficie del material, y su composición química, microestructura y comportamiento mecánico afectan directamente al rendimiento general del material. En condiciones extremas, como la erosión a alta temperatura (1000–1600 °C) de las boquillas de aviación o los entornos altamente corrosivos (pH 1–14) de las celdas electrolíticas, los defectos de interfaz (como poros, concentración de tensión y resistencia de unión insuficiente) pueden provocar un mayor desgaste, desprendimiento del revestimiento o una disminución de la eficiencia catalítica.

La ingeniería de interfaces de carburo cementado utiliza métodos físicos, químicos o mecánicos para controlar con precisión la microestructura, la unión química y las propiedades mecánicas de la interfaz, optimizando así la funcionalidad y la durabilidad del material. Esta tecnología busca construir una interfaz resistente y estable, potenciar la sinergia entre el sustrato y el recubrimiento, y entre las diferentes fases, optimizando así el rendimiento del carburo cementado en entornos complejos. Por ejemplo, en las boquillas de aviación, la ingeniería de interfaces puede mejorar la adhesión del recubrimiento y prolongar la vida útil de las boquillas entre un 30 % y un 50 %; en los electrodos de electrolizadores, optimizar la actividad catalítica de la interfaz puede aumentar la eficiencia de la evolución del hidrógeno entre un 10 % y un 20 %. La ingeniería de interfaces no solo es clave para los avances en el rendimiento del carburo cementado, sino también un importante motor del progreso tecnológico en las industrias de la aviación, la energía y la manufactura.

2. El objetivo principal de la ingeniería de interfaces

El núcleo de la ingeniería de interfaces es resolver los problemas relacionados con las interfaces del carburo cementado en aplicaciones prácticas. Sus principales objetivos incluyen:

Mejora la fuerza de unión de la interfaz: mejora la adhesión de la interfaz recubrimiento/sustrato o WC/Co (por ejemplo, >50 N), evita el desprendimiento o el agrietamiento y cumple con los requisitos de erosión de alta presión de las boquillas de aviación.

Optimización de la distribución del estrés

$-6/^{\circ}\text{C}$ vs $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) se puede aliviar mediante el diseño de gradiente de interfaz o la inducción de tensión compresiva.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mejorar la resistencia a la corrosión

Construir una interfaz densa para bloquear los medios corrosivos (como el ácido sulfúrico y el hidróxido de potasio en la celda electrolítica) y reducir la tasa de corrosión en un 50-90%.

Mejorar la actividad catalítica

En los electrodos del electrolizador, los sitios activos aumentan mediante nanoestructuras interfaciales, lo que reduce el sobrepotencial para la evolución de hidrógeno/oxígeno (50-200 mV).

Prolongar la vida útil

La optimización integral del rendimiento de la interfaz puede extender la vida útil de las piezas entre un 20 y un 50 %, por ejemplo, aumentando la vida útil de la boquilla de aviación de 5000 a 8000 horas.

3. Principales métodos técnicos de ingeniería de interfaz de carburo cementado

La tecnología de ingeniería de interfaces de carburo cementado abarca tres categorías: diseño de la estructura de la interfaz, optimización de la interfaz de recubrimiento y modificación de la interfaz del sustrato. A continuación, se presenta un análisis detallado de los principales métodos desde la perspectiva de su principio, proceso y aplicación.

3.1 Diseño de la estructura de la interfaz

Al regular la microestructura de la interfaz WC/Co, se optimiza el efecto sinérgico de las fases internas del carburo cementado.

Control del tamaño del grano

polvo ultrafino de WC (tamaño de partícula: 0,2-1 μm) y el proceso de sinterización (1350-1450 $^{\circ}\text{C}$) se optimiza para uniformizar el límite de grano de la interfaz WC/Co y aumentar la resistencia de la unión en un 20 %. Este método mejora la tenacidad de la matriz y es adecuado para los requisitos de resistencia al impacto de las boquillas de aviación.

Dopaje de interfaz

Introducción de aditivos traza (como Cr_3C_2 , El VC en la interfaz WC/Co inhibe el crecimiento del grano de WC, forma una capa de interfaz a escala nanométrica (espesor de 10-100 nm) y aumenta la dureza entre un 5 % y un 10 % (HV1600-1800). Esta tecnología mejora la resistencia a la corrosión de la matriz en el electrodo de la celda electrolítica.

3.2 Optimización de la interfaz de recubrimiento

Al diseñar la capa de transición o estructura de interfaz entre el recubrimiento y el sustrato de carburo cementado, se mejoran la adhesión y la estabilidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Recubrimiento de gradiente

Mediante PVD o CVD para depositar recubrimientos multicapa (como TiN / TiCN / Al₂O₃), el coeficiente de expansión térmica y la dureza se reducen gradualmente capa por capa, mejorando la adhesión en un 30 % (>60 N). En las boquillas de aviación, los recubrimientos en gradiente reducen el agrietamiento por tensión térmica y prolongan la vida útil en un 40 %.

Preprocesamiento de interfaz

La rugosidad de la superficie del sustrato (Ra 0,8–2 μm) mediante chorro de arena o grabado químico aumenta el efecto de enclavamiento mecánico y mejora la adhesión del recubrimiento en un 20 %. Este método garantiza la estabilidad a largo plazo de los recubrimientos de electrodos de celdas electrolíticas (como el RuO₂).

Diseño de la capa de transición

(μm de espesor) entre el sustrato y el recubrimiento mejora la unión química y reduce la tensión interfacial. Por ejemplo, una capa de transición de Ti aumenta la adhesión a 70 N en un recubrimiento PVD- TiN.

3.3 Modificación de la interfaz de la matriz

Modificar directamente la interfaz WC/Co o la superficie del sustrato a través de métodos físicos o químicos para mejorar el rendimiento de la interfaz.

Implantación de iones

Se implantan iones de alta energía (como N⁺ y C⁺) en la superficie del sustrato (profundidad de 0,1 a 1 μm) para formar una capa de interfaz endurecida (dureza HV1500-2000), lo que mejora la resistencia al desgaste y a la corrosión. En los electrodos de celdas electrolíticas, la implantación de N⁺ aumenta la eficiencia de desprendimiento de cloro en un 15 %.

Modificación de la interfaz láser

El rayo láser se utiliza para fundir o impactar la superficie del sustrato y formar una estructura de interfaz a escala nanométrica (tamaño de grano <100 nm), lo que aumenta la dureza en un 10 % (HV1200-1600). Esta tecnología reduce el coeficiente de fricción (0,1-0,2) en el canal de flujo de las boquillas de aviación.

Tratamiento con plasma

El plasma (como Ar, N₂) bombardea la superficie del sustrato para eliminar óxidos e inducir tensión de compresión, lo que aumenta la resistencia de la unión de la interfaz en un 20 %. En la celda electrolítica, el tratamiento con plasma mejora la resistencia del recubrimiento a los ácidos.

4. Escenarios de aplicación de la ingeniería de interfaces

La ingeniería de interfaz de carburo cementado ha demostrado un amplio valor de aplicación en boquillas de aviación, celdas electrolíticas y otros campos de alto rendimiento:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Boquilla de aviación

Los recubrimientos en gradiente (como TiN / Al_2O_3) optimizan la interfaz recubrimiento/sustrato, mejoran la adhesión en un 30 % y prolongan la vida útil de las boquillas de combustible bajo erosión por flujo de aire a alta velocidad en un 40 % (de 5000 a 7000 horas). El control del tamaño de grano mejora la tenacidad de la interfaz WC/Co y cumple con los requisitos de resistencia a la fatiga térmica de las boquillas de refrigeración.

Electrodos de electrolizador

La implantación de iones y el diseño de la capa de transición mejoran la actividad catalítica de la interfaz del electrodo, reducen el sobrepotencial de desprendimiento de hidrógeno (100-150 mV) y aumentan la eficiencia entre un 10 y un 15 %. Por ejemplo, el electrolizador PEM utiliza electrodos WC-Co con implantación de N^+ , lo que reduce la cantidad de metales preciosos en un 60 % y aumenta la vida útil a 15 000 horas.

Herramientas de corte

El dopaje de interfaz (como Cr_3C_2) optimiza la interfaz WC/Co, aumenta la dureza en un 5% y la resistencia al desgaste en un 30%, lo que lo hace adecuado para el corte a alta velocidad.

Picos de minería

La modificación de la interfaz láser forma una capa endurecida que mejora la resistencia al desgaste en un 20% y extiende la vida útil.

Caso: La boquilla de combustible del motor GE9X utiliza un revestimiento de gradiente PVD- TiN , con una adhesión de interfaz de 70 N, un aumento del 30 % en la resistencia al desgaste y una eficiencia de combustión mejorada.

5. Ventajas y desafíos

5.1 Ventajas

Avance en el rendimiento

La ingeniería de interfaz mejora significativamente la adhesión del recubrimiento (>50 N), la resistencia a la corrosión y la actividad catalítica, extendiendo la vida útil del componente entre un 20 y un 50 % y aumentando la eficiencia entre un 10 y un 20 %.

Optimización colaborativa

Al regular la interfaz WC/Co o revestimiento/sustrato, se mejora el efecto sinérgico entre el sustrato y la capa funcional para cumplir con las condiciones de trabajo compuestas de las boquillas de aviación y las celdas electrolíticas.

Fuerte flexibilidad

Desde el dopaje a nanoescala hasta los recubrimientos de gradiente, la tecnología se puede adaptar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a diferentes aplicaciones, como interfaces catalíticas en electrolizadores o interfaces resistentes al desgaste en boquillas.

Aplicación en campos cruzados

La tecnología es aplicable a múltiples campos, como la aviación, la energía y la fabricación, y demuestra un amplio valor de ingeniería.

5.2 Desafíos

Complejidad del proceso

La ingeniería de interfaz requiere un control preciso de la microestructura (como el tamaño del grano y el espesor de la capa de transición) y tiene altos requisitos para equipos y procesos (como los equipos PVD que cuestan entre 10 y 30 millones de RMB).

Alto costo

Tecnologías como la implantación de iones y la modificación láser tienen un elevado consumo energético operativo (500–1000 kWh/lote), lo que limita su aplicación a gran escala.

Estabilidad de la interfaz

En condiciones de alta temperatura o ambientes corrosivos a largo plazo, la interfaz puede degradarse (por ejemplo, pelado del revestimiento y desactivación del sitio catalítico) y es necesario optimizar el diseño de la interfaz.

Compatibilidad de materiales

La diferencia en los coeficientes de expansión térmica de las distintas fases puede provocar grietas en la interfaz, y es necesario desarrollar nuevos materiales de transición.

Impacto ambiental

La CVD y la implantación de iones implican gases químicos o un alto consumo de energía, y se necesitan mejoras en los procesos ecológicos.

6. Tendencias futuras del desarrollo

Para superar los desafíos y promover el desarrollo de la ingeniería de interfaz de carburo cementado, en el futuro se pueden centrar las siguientes direcciones:

Diseño de interfaz multiescala

La combinación de dopaje a escala nanométrica (<100 nm) y capas de transición a escala micrométrica (1–10 μm) mejora la unión y la estabilidad de la interfaz, y la durabilidad aumenta entre un 30 y un 50 %.

Tecnología de interfaz verde

Desarrollar el procesamiento PVD/CVD de baja temperatura (<500 °C) o mejorado con plasma para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reducir el consumo de energía entre un 30 y un 50 % y reducir las emisiones químicas.

Optimización de interfaz inteligente

Utilizando IA y simulación de dinámica molecular, podemos predecir la distribución del estrés de la interfaz y el rendimiento catalítico, acortando el ciclo de I+D en un 30%.

Interfaz de función compuesta

El desarrollo de interfaces compuestas resistentes a la corrosión catalítica (como MoN / TiN) puede aumentar la eficiencia de los electrodos del electrolizador en un 20% y reducir el uso de metales preciosos en un 70%.

Integración de fabricación aditiva

Al combinar el sustrato de carburo impreso en 3D con la modificación de la interfaz in situ, se puede lograr la fabricación integrada de piezas complejas, reduciendo los costos entre un 20 y un 30 %.

7. Características técnicas de la ingeniería de interfaz de carburo cementado

tecnología	Mecanismo de acción	Aplicaciones típicas	Beneficios clave	Limitaciones principales	Efecto de la aplicación
Control del tamaño del grano	Optimización de los límites de grano de la interfaz WC/Co	Boquilla, cortador	Dureza +20%, Dureza +5%	El proceso de sinterización es complicado	Resistencia al impacto de la boquilla +30%
Dopaje de interfaz	Presentación de Cr ₃ C ₂ y VC	Electrodo, púa	Dureza +5-10%, resistencia a la corrosión	Dificultad para controlar los aditivos	Resistencia a la corrosión de electrodos +20%
Recubrimiento degradado	Transición multicapa PVD/CVD	Boquilla, electrodo	Adherencia +30%, resistencia al estrés térmico	Alto costo del equipo	Vida útil de la boquilla +40%
Preprocesamiento de interfaz	Chorro de arena, grabado químico	Electrodo, herramienta	Fuerza de unión +20%, proceso sencillo	Aumento de la rugosidad de la superficie	Estabilidad del electrodo +25%
Implantación de iones	N ⁺ , C ⁺	Electrodo, boquilla	Actividad catalítica +15%, sin interfaz	Profundidad limitada y alto costo	Eficiencia de evolución del hidrógeno +10%
Modificación láser	Endurecimiento de la interfaz a escala nanométrica	Boquilla, pico	Coefficiente de fricción 0,1-0,2, alta precisión.	Alto consumo de energía	Resistencia al desgaste del canal +20%
Tratamiento con plasma	Eliminar óxidos, tensión de compresión.	Electrodo, tanque	Fuerza de adhesión +20%, resistencia al	Equipos complejos	Resistencia a la corrosión de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		ácido	electrodos +30%
--	--	-------	-----------------

ilustrar:

Mecanismo de acción: descripción general del mecanismo central de la tecnología.

Aplicaciones típicas: toberas de aviación, electrolizadores , etc.

Pros y contras: Compare el rendimiento y las limitaciones.

Efecto de aplicación: Resaltar la contribución en la boquilla y la celda electrolítica.

Fuente de datos: Informe USGS 2024 y normas técnicas de carburo cementado.

La ingeniería de interfaces de carburo cementado ofrece soluciones innovadoras para aplicaciones de alto rendimiento, como boquillas de aviación y electrodos de celdas electrolíticas, mediante el control preciso de la microestructura y las propiedades de la interfaz WC/Co y la interfaz recubrimiento/sustrato. El recubrimiento en gradiente, la implantación de iones y otras tecnologías mejoran significativamente la unión de la interfaz, la resistencia a la corrosión y la actividad catalítica, prolongando la vida útil de la boquilla en un 40 % y mejorando la eficiencia de la electrólisis entre un 10 % y un 20 %. Si bien la complejidad del proceso, el coste y la estabilidad de la interfaz siguen siendo desafíos, la integración del diseño multiescala, los procesos ecológicos y la optimización inteligente impulsarán la tecnología a nuevas cotas. La ingeniería de interfaces no solo es clave para mejorar el rendimiento del carburo cementado, sino que también impulsa considerablemente el desarrollo sostenible en los sectores de la aviación, la energía y la fabricación, demostrando la profunda sinergia entre la ciencia de los materiales y las aplicaciones de ingeniería.

apéndice:

Tecnología de modificación de superficies de carburo cementado

1. La connotación y el significado de la modificación de la superficie del carburo cementado.

El carburo cementado (WC-Co) tiene carburo de tungsteno (WC) como matriz dura y cobalto (Co) como fase aglutinante. Gracias a su excelente dureza (HV1000-1800), resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas, se ha convertido en un material fundamental en campos de alto rendimiento como herramientas de corte, picos de minería y boquillas de aviación. Sin embargo, en condiciones de trabajo extremas, como la erosión por gas a alta temperatura (1000-1600 °C), el impacto a alta presión (10-30 MPa) o la corrosión por sulfuro de combustible que sufren las boquillas de aviación, la superficie del carburo cementado puede sufrir desgaste, oxidación o fallos por fatiga, lo que limita su vida útil y fiabilidad. La tecnología de modificación de superficies de carburo cementado utiliza medios físicos, químicos o mecánicos para controlar con precisión la composición química, la microestructura o las propiedades físicas de la capa superficial, mejorando así significativamente el rendimiento de la superficie, conservando las excelentes propiedades mecánicas del material de la matriz. Esta tecnología no sólo es la clave para prolongar la vida útil de las piezas, sino también una importante fuerza impulsora del progreso tecnológico en industrias como la aviación y la manufactura.

El objetivo principal de la modificación de superficies es optimizar el rendimiento del carburo cementado en entornos específicos. Por ejemplo, en toberas de aviación, la modificación de superficies puede mejorar la resistencia al desgaste para soportar la erosión del flujo de aire a alta velocidad, mejorar la resistencia a la corrosión para resistir la erosión química del combustible o mejorar la resistencia a altas temperaturas para adaptarse a condiciones extremas en la cámara de combustión. Estas mejoras no solo prolongan la vida útil de la tobera (de 5000 a 8000 horas), sino que también mejoran la eficiencia de la combustión (5-10%), lo que contribuye al ahorro de energía, la reducción de emisiones y la optimización del rendimiento de los motores de aviación. Además, la tecnología de modificación de superficies puede satisfacer las necesidades de diversas aplicaciones, como herramientas de corte y moldes, al reducir el coeficiente de fricción o mejorar la resistencia a la fatiga, lo que demuestra su amplio valor de ingeniería.

2. Enfoques principales de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado

Las tecnologías de modificación de superficies de carburo cementado abarcan tres categorías: tecnología de recubrimiento de superficies, modificación química de superficies y modificación mecánica de superficies. Cada tipo de tecnología aporta funciones específicas a la superficie del carburo cementado mediante diferentes mecanismos de acción para afrontar las exigencias de las condiciones de trabajo complejas. A continuación, se detallan las características de cada tipo de tecnología desde la perspectiva de los principios del proceso, los escenarios de aplicación y sus efectos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Tecnología de recubrimiento de superficies: construcción de una barrera protectora

La tecnología de recubrimiento superficial deposita una o más capas de materiales funcionales (como cerámica, metales o compuestos) sobre la superficie del carburo cementado para proporcionar una barrera protectora al sustrato, mejorando significativamente la resistencia al desgaste, la corrosión y las altas temperaturas. Esta tecnología es especialmente común en las boquillas de aviación, ya que puede combatir eficazmente la erosión por altas temperaturas y la corrosión química.

Deposición física de vapor (PVD)

La PVD utiliza procesos físicos (como la pulverización catódica o la evaporación) en un entorno de vacío para depositar materiales de recubrimiento (como nitruro de titanio TiN y óxido de aluminio Al_2O_3) en forma atómica o molecular sobre la superficie de carburo cementado para formar una película con un espesor de 1–10 μm . La temperatura del proceso PVD es baja (200–500 °C), lo que evita la degradación del rendimiento del sustrato. La dureza del recubrimiento puede alcanzar HV2000–3000 y tiene una fuerte adhesión (>50 N). En las boquillas de aviación, los recubrimientos de TiN pueden mejorar significativamente la resistencia al desgaste de las boquillas de combustible, extendiendo su vida útil en un 30% bajo fregado con flujo de aire a alta velocidad. Sin embargo, los recubrimientos PVD son delgados y pueden desprenderse ante un impacto extremo, lo que limita su aplicación en condiciones de carga pesada.

Deposición química de vapor (CVD)

La CVD convierte precursores gaseosos (como el tetracloruro de titanio $TiCl_4$) en recubrimientos sólidos (como el carburo de titanio TiC, Al_2O_3) con un espesor de 5–20 μm mediante reacciones químicas de alta temperatura (800–1000 °C). Los recubrimientos de CVD son gruesos y densos, y son especialmente adecuados para entornos de alta temperatura, como el recubrimiento de Al_2O_3 de las boquillas de refrigeración de los motores de turbofán, que pueden soportar altas temperaturas de 1500 °C y resistir la corrosión oxidativa. Sin embargo, los procesos de alta temperatura pueden provocar el ablandamiento de la fase de cobalto del sustrato, lo que dificulta el control del proceso y conlleva un alto coste de los equipos (aproximadamente entre 10 y 30 millones de RMB).

Proyección térmica La proyección térmica forma un recubrimiento con un espesor de 50–500 μm sobre la superficie mediante la pulverización de materiales fundidos o semifundidos (como WC-Co, carburo de cromo Cr_3C_2) a alta velocidad. Esta tecnología es adecuada para piezas grandes, como la garganta de las toberas de turbinas de gas, y su recubrimiento grueso puede resistir eficazmente la erosión del gas a alta velocidad. Sin embargo, el recubrimiento por proyección térmica tiene una baja resistencia de unión (20–40 MPa) y una superficie rugosa (Ra 2–5 μm), lo que requiere un procesamiento posterior para cumplir con los requisitos de precisión de las toberas de aviación (como $Ra < 0,4 \mu m$).

2.2 Modificación química de la superficie: remodelación de la estructura de la superficie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La modificación química superficial mejora las propiedades superficiales del carburo cementado mediante la introducción de nuevos elementos o la modificación de la composición química de la capa superficial. Este método actúa directamente sobre la superficie del material para formar una capa modificada que se integra perfectamente con el sustrato, lo que resulta especialmente adecuado para piezas de alta precisión.

La implantación

utiliza haces de iones de alta energía (como nitrógeno N^+ , carbono C^+) para bombardear la superficie, incrustando iones en la capa superficial (profundidad 0,1-1 μm), formando compuestos endurecidos (como WN, WC) y mejorando la dureza (HV1500-2000) y la resistencia al desgaste. La implantación de iones no tiene una interfaz de recubrimiento obvia y mantiene las propiedades del sustrato. Es adecuada para el refuerzo resistente al desgaste de la superficie de microporos de las boquillas de aviación, y la resistencia al desgaste se puede mejorar en un 20%. Sin embargo, la limitada profundidad de modificación y el alto costo del equipo (aproximadamente 10 millones de RMB) limitan su aplicación en piezas de gran superficie.

Tratamiento térmico químico (carburación, nitruración).

Este tratamiento utiliza altas temperaturas (800-1000 $^{\circ}C$) para penetrar átomos de carbono o nitrógeno en la superficie y formar una capa de compuesto duro (de 10-100 μm de espesor). La dureza superficial del carburo cementado nitrurado puede alcanzar HV1500-2000, y la resistencia al desgaste mejora significativamente, lo que resulta adecuado para piezas resistentes al desgaste de picos de minería o boquillas de aviación. Sin embargo, las altas temperaturas pueden reducir la tenacidad de la matriz, por lo que los parámetros del proceso deben controlarse con precisión para equilibrar el rendimiento.

2.3 Modificación mecánica de superficies: Optimización de la morfología y la tensión

La modificación mecánica de superficies modifica la morfología o el estado de tensión de la superficie mediante acción física para mejorar la resistencia a la fatiga o al desgaste. Este método es sencillo, económico y adecuado para diversas condiciones de trabajo.

El granallado

utiliza proyectiles de alta velocidad (como granalla de acero y granalla de cerámica) para bombardear la superficie, lo que induce tensión de compresión y mejora la resistencia a la fatiga. El granallado puede prolongar la vida útil por fatiga de los canales de flujo de las toberas de aviación en un 30 % y es especialmente adecuado para piezas sometidas a tensión térmica cíclica. Sin embargo, el granallado aumenta la rugosidad superficial (Ra 0,8-2 μm), lo que puede afectar la eficiencia del fluido y requerir un pulido posterior.

Modificación de superficie por láser.

La modificación de superficie por láser utiliza un rayo láser para fundir o impactar la superficie y formar una capa endurecida (profundidad de 0,1 a 1 mm) o una microestructura nanométrica, lo que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aumenta la dureza (HV1200-1600) y reduce el coeficiente de fricción (0,1-0,2). En la superficie de los microporos de las boquillas de aviación, la modificación por láser puede optimizar la dinámica de fluidos y reducir el desgaste adhesivo. Sin embargo, los equipos láser son costosos (unos 5 millones de yuanes) y consumen mucha energía, por lo que es necesario optimizar el proceso para reducir los costos operativos.

3. Aplicación de la modificación de la superficie con carburo cementado en boquillas de aviación.

Como componentes principales de los motores de aviación (turbofán, turboeje) y turbinas de gas, las toberas de aviación deben funcionar de forma estable en entornos corrosivos y de alta temperatura y presión. La tecnología de modificación de superficies con carburo cementado mejora significativamente el rendimiento y la vida útil de las toberas al mejorar la resistencia al desgaste, la corrosión y las altas temperaturas. Por ejemplo:

Boquilla de combustible

PVD- TiN a las boquillas de combustible del motor GE9X (diámetro de 0,1-0,5 mm), lo que mejora la resistencia al desgaste en un 30%, aumenta la vida útil de 5.000 horas a 7.000 horas y aumenta la eficiencia de la combustión en un 5%.

Boquilla de enfriamiento

CVD- Al_2O_3 se utiliza en las boquillas de refrigeración de los motores de turbofán. Soporta temperaturas de hasta 1500 °C, reduce la corrosión por oxidación y prolonga los ciclos de mantenimiento en un 30 %.

Garganta de la boquilla

Los recubrimientos WC-Co rociados térmicamente se utilizan en boquillas de turbinas de gas para resistir la erosión del gas a alta velocidad y extender la vida útil en un 20%.

Superficie del canal de flujo: el granallado y la modificación por láser mejoran la resistencia a la fatiga del canal de flujo, se adaptan al estrés térmico cíclico y aumentan la vida útil por fatiga en un 30%.

Estas aplicaciones no sólo mejoran la confiabilidad de las boquillas, sino que también optimizan la eficiencia del combustible y el rendimiento de las emisiones de los motores, lo que contribuye al desarrollo sostenible de la industria de la aviación ? web:9 ? .

4. Ventajas y limitaciones de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado

La tecnología de modificación de superficies de carburo cementado proporciona mejoras de rendimiento significativas para piezas de alto rendimiento, pero también tiene ciertas limitaciones:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ventajas de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado:

Optimización del rendimiento

La resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas se mejoran entre un 20 y un 50 %, lo que prolonga la vida útil de las piezas y cumple con duras condiciones de trabajo como las boquillas de aviación.

Protección del sustrato

La modificación solo actúa en la superficie, conservando la excelente resistencia (2000–2500 MPa) y tenacidad de la matriz WC-Co.

Personalización flexible

Desde recubrimientos de película fina (PVD) hasta recubrimientos gruesos (proyección térmica), desde capas endurecidas (implantación de iones) hasta micro- nanoestructuración (láser), la tecnología se puede seleccionar según los requisitos.

Limitaciones de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado:

Alto costo

La inversión en equipos es grande (por ejemplo, un horno PVD/CVD cuesta entre 10 y 30 millones de RMB) y el consumo energético operativo es alto (entre 500 y 1000 kWh por lote).

Proceso complejo

Los parámetros (como la temperatura de CVD y la dosis de implantación de iones) deben controlarse con precisión, y el estado de la superficie del sustrato afecta el efecto.

Limitaciones de aplicabilidad

Los recubrimientos delgados (PVD 1–10 μm) son susceptibles de desprenderse bajo una fuerte erosión, y la profundidad de la modificación química (0,1–100 μm) no es suficiente para hacer frente al desgaste a largo plazo.

5. Desafíos de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado

Si bien la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado ha demostrado un gran potencial en campos como las boquillas de aviación, su promoción y aplicación aún enfrenta los siguientes desafíos:

Económico

El costo de los equipos y procesos de alto rendimiento limita su aplicación en pequeñas y medianas empresas, especialmente en la producción en masa, donde es necesario equilibrar rendimiento y costo.

Estabilidad y fiabilidad

La adhesión del recubrimiento (20–50 MPa) o la uniformidad de la capa modificada se ve afectada por la limpieza y rugosidad de la superficie del sustrato, y es necesario mejorar la tecnología de pretratamiento.

Adaptabilidad a condiciones de trabajo extremas

Aún queda por verificar el rendimiento a largo plazo de las boquillas de aviación bajo erosión de alta temperatura y estrés cíclico, y el desprendimiento de recubrimientos delgados o el desgaste de capas modificadas son cuellos de botella clave.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sostenibilidad ambiental

La CVD implica emisiones de gases químicos, la pulverización térmica y la modificación láser tienen un alto consumo de energía y es necesario desarrollar procesos ecológicos para cumplir con los requisitos de protección ambiental.

Compatibilidad de materiales

La diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la capa modificada y la matriz WC-Co (por ejemplo, Al_2O_3 $8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ frente a WC-Co $5-7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) puede provocar agrietamiento por tensión térmica y es necesario optimizar el diseño de la interfaz.

6. Dirección de desarrollo futuro de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado

Para enfrentar los desafíos y mejorar aún más el valor de aplicación de la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado, se pueden lograr avances en las siguientes direcciones en el futuro:

Recubrimiento compuesto multicapa

Estructuras multicapa PVD/CVD (como TiN / Al_2O_3 / TiC) que combinan alta dureza y alta tenacidad, mejoran la resistencia al desgaste en un 50% y la capacidad anti-pelado en un 30%, cumpliendo con las complejas condiciones de trabajo de las boquillas de aviación .

Innovación de procesos verdes

Promover la CVD de baja temperatura ($<600^\circ\text{C}$) o la PVD mejorada con plasma para reducir el consumo de energía entre un 30 y un 50 %; desarrollar precursores respetuosos con el medio ambiente para reducir las emisiones químicas.

Diseño de superficies inteligentes

A través de una micronanoestructura láser o un recubrimiento autolubricante (como MoS_2 , DLC), el coeficiente de fricción se puede reducir a menos de 0,1, mejorando así la eficiencia del fluido de la boquilla.

Integración de fabricación aditiva

La combinación de sustratos de carburo impresos en 3D con modificación de la superficie (como modificación láser in situ) puede lograr una fabricación integrada de piezas complejas y reducir los costos entre un 20 y un 30 %.

Optimización basada en datos

Utilice inteligencia artificial y simulación de dinámica molecular para predecir el rendimiento y la vida útil del recubrimiento, acortar el ciclo de I+D en un 30 % y acelerar la iteración tecnológica.

7. Resumen

Características técnicas de la modificación superficial del carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tecnología	Mecanismo de acción	Aplicaciones típicas	Beneficios clave	Limitaciones principales	Efecto de tobera de aviación
Degradación fotovoltaica	Películas delgadas de deposición física 1–10	Herramientas de corte, microporos de boquilla	Alta dureza HV2000–3000, proceso a baja temperatura	Recubrimiento fino, baja resistencia al impacto.	Resistencia al desgaste de la boquilla de combustible +30%, vida útil 7000 horas
ECV	Deposición química de revestimiento grueso 5–20	Boquilla, pico	Resistencia a altas temperaturas 1500°C, resistencia a la corrosión.	Las altas temperaturas dañan el sustrato y son costosas.	Resistencia a la temperatura de la boquilla de enfriamiento 1500 °C, ciclo de mantenimiento +30 %
Proyección térmica	Pulverización de una capa gruesa 50–500	Garganta de la boquilla, molde	Recubrimiento grueso antierosión	Baja fuerza de unión y poca precisión	Vida útil de la boquilla de la turbina de gas +20%
Implantación de iones	Capa de endurecimiento por incrustación de iones 0,1–1	Cuchillo, Boquilla	Sin interfaz, alta precisión	Profundidad limitada y equipo costoso	Resistencia al desgaste de microporos +20%
Tratamiento térmico químico	Endurecimiento por carburación/nitruración 10–100	Selección, boquilla	Alta dureza, costo moderado.	La temperatura alta afecta la tenacidad	Dureza de las piezas resistentes al desgaste: HV1500–2000
Granallado	Esfuerzo de compresión inducido por proyectiles	Canal de flujo de la boquilla	Antifatiga, bajo costo	Aumento de la rugosidad	Vida útil por fatiga del corredor +30%
Modificación láser	Endurecimiento por láser/micronanoestructura	Boquilla, molde	Alta precisión y baja fricción.	Alto consumo de energía y alto costo	Coefficiente de fricción de microporos 0,1–0,2

ilustrar:

Mecanismo de acción: descripción general de los principios básicos de la tecnología.

Aplicaciones típicas: enumere los principales escenarios de uso.

Pros y contras: Compare el rendimiento y las limitaciones.

Efecto boquilla aerodinámica: resalta la contribución específica en la boquilla.

Fuente de datos: Informe USGS 2024 y normas técnicas de carburo cementado ? web:9,23 ? .

en conclusión

Mediante un sofisticado recubrimiento, tratamiento químico o mecánico, la tecnología de modificación de superficies de carburo cementado proporciona a los materiales WC-Co una excelente resistencia al desgaste, a la corrosión y a las altas temperaturas, destacando en campos de alto rendimiento como las boquillas de aviación y las herramientas de corte. En las boquillas de aviación, los recubrimientos PVD y CVD abordan eficazmente la erosión a alta temperatura, el granallado y la modificación láser mejoran significativamente la resistencia a la fatiga, prolongan la vida útil de la pieza entre un 20 % y un 50 % y optimizan la eficiencia de la combustión entre un 5 % y un 10 %. Si bien el alto coste, la complejidad del proceso y la adaptabilidad a condiciones de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

trabajo extremas siguen siendo desafíos, la integración de recubrimientos compuestos multicapa, procesos ecológicos y fabricación aditiva impulsará la tecnología a un nivel superior. La tecnología de modificación de superficies de carburo cementado no solo está a la vanguardia de la innovación en la ciencia de los materiales, sino que también impulsa con fuerza el desarrollo eficiente, fiable y sostenible de la industria aeronáutica, demostrando la profunda integración de la ciencia y la ingeniería.

apéndice:

Aplicación de recubrimiento nanocompuesto de carburo cementado en celdas electrolíticas

1. Antecedentes del recubrimiento de carburo cementado y nanocompuesto

El carburo cementado (WC-Co), con carburo de tungsteno (WC) como fase dura y cobalto (Co) como fase aglutinante, se utiliza ampliamente en boquillas de aviación, herramientas de corte y piezas industriales resistentes al desgaste debido a su alta dureza (HV1000-1800), excelente resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas. Sin embargo, en entornos extremos como las celdas electrolíticas, con electrolitos ácidos y alcalinos fuertes (pH 1-14), altas temperaturas (50-80 °C) y altas densidades de corriente (0,1-10 A/cm²), las superficies de carburo cementado pueden enfrentar desafíos como la corrosión, el desgaste o un rendimiento catalítico insuficiente. Los recubrimientos nanocompuestos, como tecnología avanzada de modificación de superficies, mejoran significativamente la resistencia a la corrosión, la actividad catalítica y las propiedades mecánicas de las superficies de carburo cementado mediante la combinación de partículas nanométricas (como SiC, TiO₂, CNT) o películas delgadas (espesor 1–100 nm) con matrices metálicas o cerámicas, proporcionando una solución ideal para electrodos, tanques o piezas resistentes a la corrosión en celdas electrolíticas.

La aplicación de recubrimientos nanocompuestos en electrolizadores se centra principalmente en mejorar la eficiencia electrocatalítica de los electrodos, prolongar la vida útil de la resistencia a la corrosión y reducir el uso de metales preciosos (como el platino y el iridio). Por ejemplo, en electrolizadores de hidrógeno (como los electrolizadores PEM), los recubrimientos nanocompuestos pueden reducir la carga de platino entre 10 y 40 veces, manteniendo al mismo tiempo una alta actividad catalítica. En el campo de las toberas de aviación, también se utilizan tecnologías similares para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión, lo que indica su amplia aplicabilidad en condiciones de trabajo extremas.

A través de un diseño de recubrimiento preciso, los recubrimientos nanocompuestos de carburo cementado no solo optimizan el rendimiento de las celdas electrolíticas, sino que también promueven el desarrollo sustentable de la tecnología de energía verde.

2. Características del recubrimiento nanocompuesto de carburo cementado

Los recubrimientos nanocompuestos se componen de al menos dos fases inmiscibles (como la matriz metálica y las nanopartículas), y la zona de interfaz presenta una estructura a escala nanométrica (tamaño de grano o partícula <100 nm). Sus propiedades únicas se derivan del efecto sinérgico de los nanoefectos, incluyendo el efecto de tamaño pequeño, la mejora de la interfaz y el efecto cuántico. Sus principales características son:

Alta dureza y resistencia al desgaste.

Nanopartículas (como SiC, En la matriz se incrustan elementos de aleación de Al₂O₃ (como Ni-P,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Co), con una dureza de hasta HV2000–3000 y una resistencia al desgaste aumentada en un 30–50%, lo que es adecuado para el desgaste mecánico al que están sujetos los electrodos de las celdas electrolíticas.

Excelente resistencia a la corrosión

La estructura densa y la inercia química del nanorrecubrimiento (como TiN y MoN) bloquean eficazmente los electrolitos corrosivos (como el ácido sulfúrico y el hidróxido de potasio), reduciendo la tasa de corrosión entre un 50 y un 90 %.

Electrocatalisis de alta eficiencia

Los sitios activos a nanoescala (como RuO_2 e IrO_2) aumentan el área de reacción de la superficie, reducen el sobrepotencial de evolución de hidrógeno/oxígeno (50-200 mV) y mejoran la eficiencia de la electrólisis en un 10-20 %.

Estabilidad térmica

Los recubrimientos permanecen estables a la temperatura de funcionamiento del electrolizador de 50 a 80 °C, y algunos recubrimientos (como Al_2O_3 - TiO_2) puede soportar temperaturas más altas (>200°C).

Baja dependencia de metales preciosos

con nanopartículas (como MoN y CNT) pueden reducir los costos entre un 50 y un 80 %, satisfaciendo así las necesidades de la fabricación ecológica.

Estas propiedades hacen que los recubrimientos nanocompuestos sean ideales para electrodos de electrolizadores y componentes resistentes a la corrosión, particularmente en la producción de energía de hidrógeno (por ejemplo, electrólisis del agua) y en la industria cloro-álcali.

3. Método de preparación

La preparación de recubrimientos nanocompuestos de carburo cementado requiere considerar la uniformidad del recubrimiento, la adhesión y el control preciso de la nanoestructura. A continuación, se presentan los principales métodos, analizados en combinación con las características de aplicación de las celdas electrolíticas:

3.1 Deposición física de vapor (PVD)

TiN y ZrO_2) sobre la superficie del carburo cementado mediante pulverización catódica o evaporación para formar una película con un espesor de 1–10 μm . La temperatura del proceso es baja (200–500 °C), lo cual es adecuado para la preparación de recubrimientos de precisión para electrodos de celdas electrolíticas. Los recubrimientos PVD presentan una alta dureza (HV2000–3000) y una fuerte adhesión (>50 N). Se utilizan para depositar recubrimientos de TiN en celdas electrolíticas PEM con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión y la actividad catalítica de los electrodos. Sin embargo, los recubrimientos PVD son delgados y tienen una resistencia limitada al desgaste por cargas pesadas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 Deposición química de vapor (CVD)

La CVD deposita recubrimientos gruesos (5–20 μm), como TiC o $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$, mediante reacciones químicas de alta temperatura (600–1000 $^{\circ}\text{C}$), que son adecuados para la protección contra la corrosión de cuerpos de celdas electrolíticas o electrodos. Los recubrimientos de CVD son densos y resistentes a altas temperaturas, pero pueden causar ablandamiento de la fase de cobalto del carburo cementado a altas temperaturas, y el proceso debe optimizarse para reducir la temperatura de deposición. Las celdas electrolíticas cloro-álcali a menudo usan electrodos recubiertos de CVD- RuO_2 , que aumentan la eficiencia de evolución del cloro en un 15 %.

3.3 Recubrimiento electrolítico

La deposición química deposita un recubrimiento nanocompuesto a base de Ni-P sobre la superficie del carburo cementado mediante reducción química, incorporando nanopartículas (como SiC y CNT). El espesor del recubrimiento es controlable (5–50 μm), con alta uniformidad, ideal para electrodos de geometría compleja. Tras el tratamiento térmico, la fase Ni_3P cristaliza para aumentar la dureza a HV1500–2000 y la resistencia al desgaste se mejora en un 30 %. En la celda electrolítica, el recubrimiento de Ni-P/ SiC se utiliza para electrodos resistentes a la corrosión, y su coste es inferior al de la PVD/CVD.

3.4 Electrodeposición

La electrodeposición deposita recubrimientos nanocompuestos basados en Co-P o Ni-P mediante reacciones electroquímicas, dopados con nanopartículas (como Al_2O_3 , TiO_2). El proceso es sencillo, económico (el equipo cuesta entre 1 y 5 millones de RMB) y adecuado para la producción a gran escala. Los recubrimientos de Co-P/ Al_2O_3 presentan una alta resistencia a la corrosión en los electrodos de las celdas electrolíticas, lo que reduce la velocidad de corrosión en un 70 %. Sin embargo, la uniformidad del recubrimiento electrodepositado se ve afectada por la densidad de corriente, por lo que es necesario optimizar los parámetros del proceso.

3.5 Oxidación electrolítica de plasma (PEO)

de Al_2O_3 en el electrolito se aplica mediante alta tensión (350–500 V), con un espesor de 3–10 μm , lo que resulta adecuado para la protección contra la corrosión de tanques o electrodos de carburo cementado. El recubrimiento de PEO presenta baja porosidad y excelente resistencia a la corrosión, y es adecuado para celdas electrolíticas alcalinas (como el electrolito de KOH). La adición de nanopartículas (como V_2O_5) puede mejorar aún más el rendimiento electrocatalítico, con una tasa de eliminación de DQO del 90 %.

4. Escenarios de aplicación en electrolizadores

Los recubrimientos nanocompuestos de carburo cementado se utilizan principalmente para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electrodos, cuerpos de tanques y piezas resistentes a la corrosión en celdas electrolíticas. Sus aplicaciones típicas incluyen:

Electrolizador de hidrógeno (PEM, electrolizador alcalino)

Los recubrimientos nanocompuestos (como MoN y Ni-P/CNT) se utilizan en electrodos para reducir el sobrepotencial de desprendimiento de hidrógeno (100-150 mV), reducir la carga de platino entre 10 y 40 veces y mejorar la eficiencia de la electrólisis en un 15 %. Por ejemplo, el recubrimiento de MoN de Naco Technologies ocupa el primer puesto en electrolizadores PEM y mejora la durabilidad en un 30 %.

Industria cloroalcalina

de RuO₂ o IrO₂ se utilizan para la reacción de evolución de cloro, con una eficiencia catalítica aumentada en un 20%, una fuerte resistencia a la corrosión alcalina (pH 14) y una vida útil extendida en un 50 %.

Tratamiento de agua por electrólisis

Ni-P/ SiC se utilizan en electrolizadores de tratamiento de aguas residuales , con una tasa de eliminación de DQO del 95 % y una mejor resistencia a los ácidos (pH 1-3) que los electrodos tradicionales.

Electrólisis relacionada con la aviación

En la fabricación de aviación, se utilizan celdas electrolíticas para el tratamiento de superficies (como el anodizado) y los recubrimientos nanocompuestos (como TiN) protegen los electrodos, lo que aumenta la resistencia al desgaste en un 30%, lo que es consistente con los requisitos de resistencia a la corrosión de las boquillas de aviación.

electrolizador PEM utiliza electrodos con revestimiento nanocompuesto de Ni-P/ TiO₂ , lo que aumenta la eficiencia de evolución de hidrógeno en un 10%, aumenta la vida útil de 10.000 horas a 15.000 horas, reduce el uso de metales preciosos en un 60% y reduce significativamente los costos de producción de hidrógeno.

5. Ventajas y desafíos

5.1 Ventajas

Excelente rendimiento

La dureza (HV2000–3000), la resistencia a la corrosión y la actividad catalítica del nanorrecubrimiento son significativamente mejores que las de los recubrimientos tradicionales, y la eficiencia de la electrólisis aumenta entre un 10 y un 20 %.

Ahorro de costes

Reducen el uso de metales preciosos (como Pt, Ir) , reducen los costos de producción entre un 50 y un 80 % y son adecuados para aplicaciones de energía verde a gran escala.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Alta uniformidad

Las tecnologías de deposición less y PEO permiten un recubrimiento uniforme de electrodos complejos, adecuados para microcanales o estructuras porosas.

Respetuoso con el medio ambiente

Los nanorrecubrimientos prolongan la vida útil de los electrodos, reducen la frecuencia de reemplazo y reducen el consumo de recursos y la descarga de desechos.

5.2 Desafíos

Costo de preparación

Los equipos PVD/CVD son costosos (entre 10 y 30 millones de RMB) y consumen mucha energía operativa (entre 500 y 1000 kWh/lote), lo que limita las aplicaciones pequeñas y medianas.

Estabilidad del recubrimiento

Los nanorrecubrimientos pueden desprenderse bajo una alta densidad de corriente a largo plazo, y es necesario mejorar aún más la adhesión (20–50 MPa).

Complejidad del proceso

La dispersión de nanopartículas y la uniformidad del recubrimiento se ven afectadas por el estado de la superficie del sustrato y requieren un pretratamiento estricto.

Impacto ambiental

La CVD implica emisiones de gases químicos y el costo de tratar el líquido residual de la deposición sin corriente eléctrica es alto, por lo que es necesario desarrollar procesos ecológicos.

Nanotoxicidad

Algunas nanopartículas (como los CNT) pueden ser tóxicas para el medio ambiente, por lo que es necesario seleccionar materiales no tóxicos (como SiC y Al₂O₃).

6. Dirección de desarrollo futuro

Para superar los desafíos y promover la aplicación de recubrimientos nanocompuestos de carburo cementado en celdas electrolíticas, en el futuro se pueden enfocar las siguientes direcciones:

Recubrimiento compuesto multifuncional

Desarrollar nano-recubrimientos multicapa (como TiN / RuO₂ / MoN) que combinen una alta actividad catalítica con resistencia a la corrosión para aumentar la eficiencia de la electrólisis en un 20-30%.

Tecnología de preparación ecológica

Promover la deposición sin corriente eléctrica mejorada con plasma o CVD a baja temperatura (<500 °C) para reducir el consumo de energía entre un 30 % y un 50 % y reducir los desechos químicos.

Optimización de nanopartículas

Utilizando nanopartículas no tóxicas (como SiO₂ y TiO₂) para reemplazar metales preciosos puede

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reducir los costos en un 50% y al mismo tiempo mejorar la seguridad ambiental.

Integración de fabricación aditiva

Combinando electrodos de carburo impresos en 3D con la deposición in situ de nano-recubrimientos, se consigue la fabricación integrada de estructuras complejas, reduciendo costes en un 20%.

Monitoreo y diseño inteligente

A través de IA y simulación de dinámica molecular, se optimiza la estructura del recubrimiento, se predice la vida útil y el rendimiento y se acorta el ciclo de I+D en un 30%.

7. Tabla resumen

Características clave y puntos técnicos del recubrimiento nanocompuesto de carburo cementado en celdas electrolíticas

tecnología	Mecanismo de acción	Aplicaciones típicas	Beneficios clave	Limitaciones principales	Efecto electrolizador
Degradación fotovoltaica	Deposición física de nanopelículas (1–10 μm)	Electrodos de electrolizadores PEM	Alta dureza (HV2000–3000), alta actividad catalítica	Recubrimiento fino, alto costo	Eficiencia de evolución de hidrógeno +10%, vida útil +30%
ECV	Recubrimientos gruesos depositados químicamente (5–20 μm)	Electrodo de cloro-álcali	Resistencia a altas temperaturas (1500 °C), resistencia a la corrosión.	Daños al sustrato por altas temperaturas	Eficiencia de evolución de cloro +15%, vida útil +50%
Deposición sin corriente eléctrica	Recubrimientos a base de Ni-P químicamente reducidos (5–50 μm)	Electrodo de tratamiento de aguas residuales	Alta uniformidad y bajo costo	El tratamiento de aguas residuales es complicado	Tasa de eliminación de DQO del 95%, fuerte resistencia al ácido
Electrodeposición	de Co-P depositados electroquímicamente (5–50 μm)	Electrodo de hidrógeno	Proceso simple, resistencia a la corrosión.	Es necesario optimizar la uniformidad	Tasa de corrosión - 70%, bajo costo
PEO	Recubrimiento cerámico de oxidación de plasma (3–10 μm)	Electrolizador alcalino	Baja porosidad, resistencia a la corrosión.	Alto voltaje, alto consumo de energía.	Tasa de eliminación de DQO del 95%, fuerte resistencia a los álcalis

ilustrar:

Mecanismo de acción: descripción general del mecanismo central de la tecnología.

Aplicaciones típicas: Enumere los escenarios relacionados con el electrolizador .

Pros y contras: Compare el rendimiento y las limitaciones.

electrolizador : resalta la contribución específica en el electrolizador .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fuente de datos: Informe USGS 2024 y documentos técnicos relacionados. web:0,1,9,14,23

8. Conclusión

Los recubrimientos nanocompuestos de carburo cementado proporcionan una excelente resistencia al desgaste, a la corrosión y un rendimiento electrocatalítico para electrodos de electrolizadores y piezas resistentes a la corrosión mediante la combinación de partículas o películas a escala nanométrica con una matriz de WC-Co. En electrolizadores de hidrógeno, la industria cloroalcalina y el tratamiento de aguas residuales, los recubrimientos mejoran significativamente la eficiencia de la electrólisis (10-20%), prolongan la vida útil (30-50%) y reducen la dependencia de metales preciosos, demostrando su gran potencial en el campo de las energías renovables. De forma similar a los requisitos de resistencia a la corrosión de las boquillas de aviación, la aplicación de recubrimientos nanocompuestos en electrolizadores refleja la innovación interdisciplinaria en la ciencia de los materiales. Sin embargo, aún es necesario superar los altos costos de preparación, la estabilidad del recubrimiento y el impacto ambiental. En el futuro, mediante la integración de recubrimientos compuestos multifuncionales, procesos ecológicos y fabricación aditiva, los recubrimientos nanocompuestos de carburo cementado promoverán aún más el desarrollo de la tecnología de electrolizadores de forma eficiente y sostenible, impulsando la transformación energética global y la modernización industrial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

¿Qué es el carburo cementado con nanorrecubrimiento?

El carburo cementado con nanorrevestimiento se refiere a un revestimiento con un espesor de nanómetros (normalmente 1100 nm) depositado sobre la superficie de un sustrato de carburo cementado (como WC+ Co , WC+ Ni) mediante métodos físicos o químicos para mejorar significativamente la resistencia al desgaste, la corrosión y las altas temperaturas, así como las propiedades superficiales, manteniendo al mismo tiempo la alta dureza (1400-2200 HV) y resistencia (1,8-2,8 GPa) del sustrato. Los nanorrecubrimientos se utilizan ampliamente en herramientas de aviación, sellos para aguas profundas, cuerpos de bombas químicas y moldes gracias a su estructura de grano ultrafino (tamaño de grano <100 nm), alta densidad de interfaz y excelente adhesión, cumpliendo con los requisitos de condiciones de trabajo extremas (como altas temperaturas de 800-1200 °C, altas presiones de 15 000 psi y fluidos corrosivos).

Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 79972017) y prácticas de la industria para presentar en detalle la definición, los tipos de recubrimiento, el proceso de preparación, el rendimiento y las aplicaciones del carburo cementado con revestimiento nanométrico, y recomienda adecuadamente las capacidades de producción de CTIA GROUP LTD en los campos de sellos de carburo cementado con revestimiento nanométrico, cuerpos de bombas, etc.

1. Definición y significado del carburo cementado con nanorrecubrimiento

El carburo cementado nanorrevestido consta de un sustrato de carburo cementado y un recubrimiento a escala nanométrica. El espesor del recubrimiento suele ser de 110 μm (monocapa o multicapa) y el tamaño de grano es <100 nm. Se prepara mediante deposición física de vapor (PVD), deposición química de vapor (CVD) o tecnología de compuestos (como la pulverización de plasma).

Matriz

WC (85-94%) + fase de unión (Co/Ni, 6-15%), densidad 14,5-15,0 g/cm³ , porosidad <0,01% (GB/T 5169-2013).

revestimiento

Los materiales comunes incluyen TiN , TiAlN , Al₂O₃, DLC (carbono similar al diamante), CrN , etc., que tienen alta dureza (2000-4000 HV), bajo coeficiente de fricción (<0,2) y excelente resistencia a la corrosión.

Resistencia al desgaste

El recubrimiento nano tiene una alta dureza (2000-4000 HV), reduce el desgaste en un 30-50 % (ASTM G65) y extiende la vida útil de la herramienta 25 veces.

Resistencia a la corrosión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

El recubrimiento es denso (porosidad $<0,001\%$) y resistente a la corrosión ácida (H_2SO_4), alcalina ($NaOH$) y agua de mar con una velocidad de $<0,005$ mm/a (NACE MR0175).

Resistencia a altas temperaturas

de $TiAlN$ y Al_2O_3 son resistentes a la oxidación a $800-1200$ °C y son adecuados para corte a alta velocidad y condiciones de alta temperatura.

Propiedades de la superficie

Coefficiente de fricción reducido en un 2050% (DLC $<0,1$), rendimiento de sellado mejorado (tasa de fuga $<10^{-6}$ mbar·L /s).

Aplicaciones : herramientas de aviación (vida útil de corte aumentada en un 50%), sellos para aguas profundas (resistentes a H_2S /agua de mar), cuerpos de bombas químicas (resistencia a la erosión y corrosión aumentada en un 30%).

2. Tipos y características del nanorrecubrimiento

Recubrimiento nano de una sola capa :

Material :

Estaño : amarillo dorado, dureza 2000-2300 HV, buena resistencia al desgaste, resistencia a la temperatura $600^\circ C$.

CrN : Gris plata, dureza 1800-2200 HV, excelente resistencia a la corrosión (resistente a Cl^- / H_2S), coeficiente de fricción 0,30,4.

DLC : negro, dureza 2000-3000 HV, coeficiente de fricción $<0,1$, fuerte resistencia al desgaste y a la corrosión.

Espesor : $15 \mu m$, tamaño de grano: 1050 nm.

Aplicaciones : moldes, sellos (CrN /DLC), herramientas de corte de baja velocidad (TiN).

Recubrimiento nano multicapa :

Material :

TiN / TiAlN : capas alternas (1020 nm/capa), dureza 2500-3000 HV, resistencia a la temperatura $800-1000^\circ C$.

TiAlN / Al_2O_3 : Dureza 3000-3500 HV, resistencia a la oxidación $1000-1200$ °C, resistencia al desgaste aumentada en un 30 %.

CrN / AlCrN : Dureza 2200-2800 HV, resistencia a la corrosión aumentada en un 2030%, adecuado para ambiente marino.

Espesor : $210 \mu m$, número de capas: 101000.

Características : La estructura multicapa mejora la dispersión de la tensión de la interfaz y aumenta la resistencia al crecimiento de grietas en un 50%.

Aplicación : herramientas de corte de alta velocidad (TiAlN / Al_2O_3), válvulas para aguas profundas (CrN / AlCrN) .

Recubrimiento nano de gradiente :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materiales : TiCN , AlCrSiN , con un cambio gradual en la composición desde la matriz hasta la superficie (como Ti→TiN→ TiCN) .

Características : Dureza 2500-3500 HV, adhesión aumentada en un 20-30% (prueba de rayado>80 N), resistencia equilibrada al desgaste/corrosión.

Aplicación : Cuerpos de bombas químicas, herramientas de corte de aviación, resistencia a la erosión y la corrosión aumentada en un 30%.

Recubrimiento nano compuesto :

Material : DLC+ TiN , Al₂O₃+CrN, combinando las ventajas de múltiples materiales.

Características : dureza 2000-4000 HV, coeficiente de fricción <0,2, resistencia a la temperatura 800-1000 °C, resistencia a la corrosión aumentada en un 2050 %.

Aplicación : Sellos (DLC + CrN , tasa de fuga <10⁻⁶ mbar·L /s), molde de alta velocidad.

3. Proceso de preparación del nanorrecubrimiento

Deposición física de vapor (PVD) :

método :

Pulverización catódica por magnetrón : alta tasa de deposición (0,11 μm /h), adecuada para TiN , CrN y DLC.

Evaporación por arco : alta tasa de ionización (>80%), adecuada para TiAlN y AlCrN .

Proceso :

Grado de vacío: 10⁻³ 10⁻⁴ Pa.

Temperatura: 200-500°C (evitar el recocido del sustrato).

Polarización: 50 a 200 V, mejora la adhesión.

Gas: Ar (limpieza del sustrato), N₂/CH₄ (reacción para formar TiN /DLC).

Rendimiento : espesor de recubrimiento 15 μm , tamaño de grano 1050 nm, adhesión >60 N (prueba de rayado).

Ventajas : deposición a baja temperatura, adecuado para sustrato de carburo cementado, recubrimiento uniforme (desviación <±5%).

Limitaciones : Baja tasa de deposición (0,11 μm /h), cobertura ligeramente deficiente de formas complejas.

Deposición química de vapor (CVD) :

método :

CVD térmico : adecuado para Al₂O₃, TiCN , temperatura de deposición 800-1000 °C.

CVD mejorado con plasma (PECVD) : adecuado para DLC, temperatura 200-400 °C.

Proceso :

Temperatura: 200-1000 °C (alta para CVD térmico, baja para PECVD).

Gas: TiCl₄ (TiN / TiCN) , CH₄ (DLC), AlCl₃ (Al₂O₃).

Presión: 10² 10³ Pa .

Propiedades : espesor 210 μm , tamaño de grano 20100 nm, dureza 20003500 HV.

Ventajas : Recubrimiento denso (porosidad < 0,001%), que cubre formas complejas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Limitaciones : La CVD a alta temperatura puede reducir la resistencia de la matriz (la dureza disminuye entre un 5 y un 10 %).

Tecnología compuesta :

Proyección de plasma : adecuada para recubrimientos gruesos (1050 μm), como $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$, con tamaño de grano de 50100 nm.

Revestimiento láser : deposición local de TiN / CrN , espesor 520 μm , adhesión >100 N.

Aplicación : Cuerpos de bombas químicas y moldes, resistencia a la erosión y corrosión aumentada en un 30%.

Posprocesamiento :

Pulido : $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, coeficiente de fricción reducido en 1020%.

Recocido : 300-500°C, elimina la tensión interna, aumenta la adhesión en un 1015%.

Limpieza iónica : Bombardeo de iones Ar, defectos superficiales reducidos en un 20%.

4. Rendimiento del carburo cementado con nanorrevestimiento

Tipo de recubrimiento	Dureza (HV)	Coeficiente de fricción	Resistencia a la temperatura (°C)	Tasa de corrosión (mm/a)	Aplicaciones típicas
Estaño	20002300	0.40.6	600	0.010.05 (HCl)	Herramienta de baja velocidad
TiAlN	25003000	0.30.5	8001000	0.010.03 (H ₂ SO ₄)	Herramienta de alta velocidad
CrN	18002200	0.30.4	700	<0,005 (agua de mar)	focas
Contenido descargable	20003000	<0,1	400600	<0,005 (NaOH)	Cuerpo de la bomba
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAlN}$	30003500	0.40.5	10001200	0,0050,01 (H ₂ S)	herramientas de aviación

Mejoras de rendimiento :

Resistencia al desgaste : Las herramientas recubiertas de TiAlN tienen una vida útil de corte 25 veces mayor y una tasa de desgaste de <0,02 mm^3/h .

Resistencia a la corrosión : La tasa de corrosión del revestimiento de CrN /DLC en agua de mar/H₂S es <0,005 mm/a, lo que es mejor que la del sustrato sin revestimiento (0,010,05 mm/a).

Resistencia a altas temperaturas : el espesor de la capa de óxido del recubrimiento $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAlN}$ es inferior a 0,1 μm durante el corte a 1000 ° C.

Rendimiento de sellado : tasa de fuga del sello revestido con DLC <10⁻⁶ mbar·L /s, esperanza de vida aumentada en un 3050%.

Ejemplos :

TiAlN Herramienta : recubrimiento PVD (3 μm , corte a 1400 °C), vida útil aumentada 3 veces, resistencia al desgaste aumentada en un 50%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CrN Sellos : PVD CrN (2 μm) , tasa de corrosión en agua de mar (15 000 psi) <0,005 mm/año, vida útil >1000 conexiones.

Cuerpo de bomba DLC : PECVD DLC (1 μm) , tasa de corrosión de H₂SO₄ (50%) <0,005 mm/a, resistencia a la erosión aumentada en un 30%.

5. Escenarios de aplicación

Cuchillos de aviación :

Recubrimiento : TiAlN /Al₂O₃ (35 μm , PVD/CVD) .

Rendimiento : dureza 3000-3500 HV, resistencia a temperaturas 1000-1200 °C, vida útil de corte aumentada en un 50%.

Ejemplo : herramienta WC+6%Co ($\varnothing$ 12 $\times$ 80 mm), recubrimiento TiAlN , corte de aleación de Ti, vida útil 300 minutos (sin recubrimiento 100 minutos).

Focas de aguas profundas :

Recubrimiento : CrN /DLC (13 μm , PVD) .

Rendimiento : tasa de corrosión de H₂S/agua de mar <0,005 mm/año, tasa de fuga <10⁻⁶ mbar·L /s.

Ejemplo : Junta YN10 ($\varnothing$ 50 mm), revestimiento CrN , 15.000 psi, vida útil > 1000 conexiones.

Cuerpo de la bomba química :

Recubrimiento : DLC/ TiCN (25 μm , PECVD) .

Rendimiento : tasa de corrosión de H₂SO₄ (50%) <0,005 mm/año, cantidad de desgaste <0,03 mm³/h.

Ejemplo : carcasa de bomba YN12 ($\varnothing$ 200 mm), revestimiento DLC, fluido que contiene partículas, vida útil >10.000 horas.

Moho :

Recubrimiento : TiN / CrN (13 μm , PVD) .

Rendimiento : dureza 2000-2300 HV, coeficiente de fricción <0,4, vida útil del molde aumentada 23 veces.

Ejemplo : molde WC+8%Co ($\varnothing$ 100 mm), revestimiento de TiN , vida útil de punzonado 500.000 veces (sin revestimiento 200.000 veces).

6. Sugerencias de optimización para carburo cementado con nanorrecubrimiento

Optimización de matrices :

Material : Se utiliza carburo cementado a base de Ni (YN10/YN12) y la resistencia a la corrosión aumenta en un 5070 % (NACE MR0175).

Sinterización : HIP (1350°C, 120 MPa), porosidad <0,001%, adhesión aumentada en un 20%.

Superficie : Pulida (Ra <0,2 μm) , la adhesión del recubrimiento aumentó en un 1520% .

recubrimiento :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estructura multicapa : TiN / TiAlN (1020 nm/capa), resistencia al crecimiento de grietas aumentada en un 50%.

Recubrimiento de gradiente : TiCN / AlCrSiN , la adhesión aumentó en un 2030%.

Recubrimiento compuesto : DLC+ CrN , coeficiente de fricción <0,1, resistencia a la corrosión aumentada en un 30%.

Proceso de preparación :

PVD : Polarización 100 V, temperatura de deposición 300-400 °C, uniformidad del recubrimiento aumentada en un 10 %.

PECVD : baja temperatura (200-300 °C), adecuado para DLC, sin pérdida de rendimiento del sustrato.

Limpieza : Limpieza con iones de Ar (10^{-3} Pa) , defectos superficiales reducidos en un 20%.

Optimización de equipos :

Grado de vacío : 10^{-4} Pa, impurezas reducidas en un 30%, pureza del recubrimiento aumentada en un 10%.

Material objetivo : Ti/Al/Cr de alta pureza (>99,99%), defectos de recubrimiento reducidos en un 20%.

Monitoreo : Análisis espectral en línea, desviación de espesor $\leq \pm 5\%$.

Posprocesamiento :

Pulido : Ra <0,1 μm , coeficiente de fricción reducido en 1020%.

Recocido : 400°C, la tensión interna disminuye un 15%, la adhesión aumenta un 10%.

Inspección del recubrimiento : prueba de rayado (>60 N), observación de granos mediante SEM (<50 nm).

7. Normas

GB/T 183762014 : Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.

GB/T 51692013 : Porosidad A00B00C00 (sustrato HIP).

GB/T 38502015 : Desviación de densidad $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

GB/T 79972017 : Dureza 1400-2200 HV (sustrato), 2000-4000 HV (recubrimiento).

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión 1,82,8 GPa .

NACE MR 0175 : Resistente a H₂S/CO₂, tasa de corrosión <0,005 mm/a.

ISO 6508 : Ensayo de dureza del recubrimiento, desviación $\leq \pm 50 \text{ HV}$.

ASTM G 65 : Tasa de desgaste <0,05 mm³/h.

8. Conclusión

El carburo cementado con nanorrevestimiento mejora significativamente la resistencia al desgaste (pérdida por desgaste reducida en un 30-50 %), la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión <0,005 mm/año) y la resistencia a altas temperaturas (800-1200 °C) mediante el depósito de recubrimientos a escala nanométrica (TiN , TiAlN , CrN , DLC, etc.) sobre sustratos de WC+Co /Ni, cumpliendo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con los exigentes requisitos de herramientas de aviación, sellos para aguas profundas y cuerpos de bombas químicas. El proceso PVD/PECVD garantiza la densidad del recubrimiento (granos <50 nm) y una fuerte adhesión (>60 N). Los recubrimientos multicapa/gradiente optimizan aún más el rendimiento. Optimizar el sustrato (sinterización HIP), el recubrimiento (CrN /DLC multicapa) y el proceso (PVD a baja temperatura) puede mejorar aún más el rendimiento general.

CTIA GROUP LTD utiliza tecnología avanzada PVD/PECVD y sustratos sinterizados HIP en la producción de sellos de carburo con nanorrevestimiento, cuerpos de bombas y válvulas, proporcionando soluciones altamente resistentes al desgaste y a la corrosión adecuadas para entornos extremos como las profundidades marinas y la industria química.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

¿Qué es el carburo de gradiente?

El carburo cementado en gradiente es un material de carburo cementado que controla la composición, la estructura o el rendimiento para cambiar gradualmente a lo largo de una dirección específica (como el espesor, la dirección radial) dentro del material. Por lo general, está compuesto de carburo de tungsteno (WC) y una fase de unión (como Co, Ni, 615 % en peso). Sus características de gradiente se logran a través de procesos de dosificación de polvo, prensado o sinterización, de modo que el material tiene dureza diferenciada (1400-2200 HV), resistencia (1,8-2,8 GPa), resistencia al desgaste o resistencia a la corrosión en diferentes áreas para adaptarse a condiciones de trabajo complejas (como minería, corte, sellos de aguas profundas, cuerpos de bombas químicas). En comparación con el carburo cementado uniforme tradicional, el carburo cementado en gradiente tiene un mejor rendimiento en resistencia al desgaste, resistencia al impacto y vida útil, y se usa ampliamente en herramientas de aviación, picos de minería y sellos resistentes a la corrosión.

Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 51692013) y prácticas de la industria para presentar en detalle la definición, el proceso de preparación, el rendimiento, la aplicación y las medidas de optimización del carburo cementado en gradiente, y recomienda adecuadamente las capacidades de producción de CTIA GROUP LTD en los campos de sellos de carburo cementado en gradiente, cuerpos de bombas, etc.

1. Definición y significado del carburo cementado en gradiente

El carburo cementado en gradiente se refiere a un carburo cementado cuya composición interna (como la relación WC/Co), tamaño de grano ($0,55\ \mu\text{m}$), contenido de fase aglutinante (620 % en peso) o propiedades (dureza, tenacidad) cambian de manera continua o se gradúan a lo largo de una dirección específica (como desde la superficie hasta el núcleo) .

Estructura típica :

Superficie : alta dureza (1800-2200 HV), baja fase de unión (Co/Ni 68 % en peso), granos finos ($0,51\ \mu\text{m}$), fuerte resistencia al desgaste .

Núcleo : alta tenacidad ($\text{KIC } 1215\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), alta fase de unión (Co/Ni 1220 % en peso), granos gruesos ($25\ \mu\text{m}$), buena resistencia al impacto.

Preparación : Se consigue mediante prensado de polvo en capas, sinterización en gradiente o proceso de carburación/nitruración, de acuerdo con GB/T 38502015 (densidad), GB/T 51692013 (porosidad $<0,01\%$).

Optimización del rendimiento : la alta dureza de la superficie mejora la resistencia al desgaste (la pérdida por desgaste se reduce en un 2030 %, ASTM G65) y la alta tenacidad del núcleo mejora la resistencia al impacto (la probabilidad de fractura se reduce en un 3050 %).

Vida útil prolongada : la estructura de gradiente equilibra la resistencia al desgaste y la resistencia al agrietamiento, aumentando la vida útil de la herramienta en 23 veces y la vida útil de la pica en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un 50100%.

condiciones de trabajo complejas : resistencia a la corrosión superficial (tasa de corrosión $H_2SO_4/H_2S < 0,01$ mm/a, NACE MR0175), resistencia al impacto del núcleo, adecuado para minería, aguas profundas y la industria química.

Rentabilidad : Reduce la cantidad de metales preciosos (como Co/Ni), optimiza el rendimiento de la superficie y reduce los costos en un 1020% .

2. Tipos y características del carburo cementado en gradiente

Gradiente de composición :

Características : El contenido de la fase de enlace (Co/Ni) aumenta desde la superficie (68 % en peso) hasta el núcleo (1220 % en peso), y el contenido de WC cambia en la dirección opuesta.

actuación :

Superficie: dureza 18002200 HV, resistencia al desgaste aumentada en un 2030%.

Núcleo: resistencia a la flexión 2,22,8 GPa , tenacidad KIC 1215 $MPa \cdot m^{1/2}$.

Aplicaciones : picos de minería (superficie resistente al desgaste, núcleo resistente al impacto) , herramientas de corte.

Gradiente de grano :

Características : Los granos de WC cambian de finos en la superficie (0,51 μm) a gruesos en el núcleo (25 μm) .

actuación :

Superficie: dureza 20002200 HV, resistencia a la corrosión aumentada en un 1520% ($H_2S < 0,005$ mm/y).

Núcleo: Tenacidad a la fractura aumentada en un 2030%, fuerte resistencia a la propagación de grietas.

Aplicaciones : sellos para aguas profundas (superficie resistente a la corrosión, núcleo resistente a alta presión) , moldes.

Gradiente de rendimiento :

Características: Alta dureza superficial (>2000 HV) y alta tenacidad del núcleo ($KIC > 12$ $MPa \cdot m^{1/2}$) mediante carburación/nitruración o tratamiento térmico.

actuación :

Superficie: resistente al desgaste y a la corrosión (tasa de corrosión del agua de mar $< 0,005$ mm/a).

Núcleo: resistente al impacto, vida útil por fatiga aumentada en un 3050%.

Aplicación : cuerpo de bomba química (superficie resistente a la erosión, núcleo resistente a alta presión) , herramientas de corte de aviación.

Gradiente compuesto :

Características : Combinación de composición, grano y gradientes de rendimiento, como base de Ni de superficie (10 % en peso) + granos finos (0,5 μm) , base de Co de núcleo (15 % en peso) + granos gruesos (3 μm) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rendimiento : resistencia integral al desgaste, resistencia a la corrosión ($\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,01 \text{ mm/y}$), resistencia al impacto, vida útil aumentada entre un 50 y un 100 %.

Aplicación : sellos de alta gama, válvulas, resistentes a ambientes extremos.

3. Proceso de preparación de carburo cementado en gradiente

Prensado de polvo en capas :

método :

Se prepararon diferentes contenidos de Co/Ni (620 % en peso) o tamaños de grano WC ($0,55 \mu\text{m}$) . Relleno de molde en capas (por ejemplo, bajo contenido de Co en la superficie y alto contenido de Co en el núcleo), prensado isostático en frío (200-300 MPa).

Proceso :

Polvo: WC ($D_{50} 0,55 \mu\text{m}$) , Co/Ni ($>99,9 \%$ de pureza), molido en molino de bolas durante 1624 h.

Prensado: presión 250300 MPa, densidad del tocho 6070% densidad teórica.

Sinterización: vacío ($1350-1450^\circ\text{C}$, $10^{-4} 10^{-5} \text{ Pa}$) o HIP (1350°C , 100-150 MPa).

Propiedades : Espesor de capa de gradiente 0,55 mm, porosidad $<0,01\%$ (A02B00C00), densidad $14,515,0 \text{ g/cm}^3$.

Ventajas : control de gradiente preciso, adecuado para formas complejas (como púas, anillos de sellado).

Limitaciones : La fuerza de unión entre capas es ligeramente débil y es necesario optimizar la sinterización.

Sinterización por gradiente :

método :

El tocho homogéneo (Co/Ni 1012 % en peso) estuvo sometido a diferencias estructurales a través de gradientes de temperatura/atmósfera durante la sinterización.

La carburación superficial (C_2H_2) o la nitruración (N_2) aumentan la dureza de la superficie.

Proceso :

Desparafinado: 200600°C , 10^{-2} Pa , H_2 515 L/min, carbono residual $<0,05\%$.

Sinterización: $1350-1450^\circ\text{C}$, zona de alta temperatura superficial (1450°C , 2 horas), zona de baja temperatura del núcleo (1350°C), vacío/HIP.

Carburación/nitruración: $1000-1200^\circ\text{C}$, caudal de $\text{C}_2\text{H}_2/\text{N}_2$ 510 L/min, 12 horas.

Rendimiento : dureza superficial 2000-2200 HV, tenacidad del núcleo KIC $1215 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, porosidad $<0,001 \%$ (HIP).

Ventajas : No hay interfaz obvia entre capas, transición de rendimiento continua.

Limitaciones : El equipo es complejo y requiere una alta precisión de control de temperatura ($\pm 3^\circ\text{C}$).

Tratamiento térmico y postratamiento :

método :

Después de la sinterización, la superficie se carburiza/ nitrura o se realiza un tratamiento láser local para formar un gradiente de dureza.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pulido ($Ra < 0,2 \mu m$) o recubrimiento (TiN / DLC) para mejorar las propiedades de la superficie .

Proceso :

Carburación: $1100^{\circ}C$, C_2H_2 5 L/min, 1 hora, dureza superficial aumentada en un 1015%.

Pulido: Pasta de pulido de diamante ($15 \mu m$), $Ra < 0,1 \mu m$, resistencia a la corrosión aumentada en un 1520% .

Recubrimiento: PVD TiN ($25 \mu m$) , dureza 2000-2300 HV, resistencia al desgaste aumentada en un 30% .

Rendimiento : Resistencia al desgaste y corrosión de la superficie ($H_2SO_4 < 0,01 mm/a$), resistencia al impacto del núcleo.

Aplicación : válvulas de aguas profundas, cuerpos de bombas químicas.

Nuevas tecnologías :

Impresión 3D + sinterización : Imprima diferentes composiciones de polvo capa por capa (como bajo contenido de Co en la superficie y alto contenido de Co en el núcleo), sinterización HIP, precisión de gradiente $\pm 0,05 mm$.

Proyección de plasma : deposición de recubrimientos en gradiente (por ejemplo, $WCCo$ a $WCNi$) con un espesor de $1050 \mu m$.

Ventajas : Alta flexibilidad, adecuado para piezas personalizadas.

Limitaciones : Baja madurez técnica y alto costo (500-2000 yuanes por pieza).

4. Rendimiento del carburo de gradiente

tipo	Propiedades de la superficie	Rendimiento básico	Porosidad (%)	Resistencia al desgaste (mm^3/h)	Resistencia a la corrosión (mm/a)	Aplicaciones típicas
Gradiente de composición	Dureza 1800-2200 HV	Tenacidad KIC 1215 $MPa \cdot m^{1/2}$	$< 0,01$	$< 0,05$	$H_2SO_4 < 0,01$	Picos de minería
gradiente de grano	Dureza 2000-2200 HV	Fuerza 2.22.8 GPa	$< 0,001$	$< 0,03$	Agua de mar $< 0,005$	Focas de aguas profundas
gradiente de rendimiento	Dureza > 2000 HV	La vida en fatiga aumentó en un 30%	$< 0,01$	$< 0,04$	$H_2S < 0,005$	Cuerpo de bomba química
Gradiente compuesto	Dureza 1800-2200 HV	Tenacidad KIC > 12 $MPa \cdot m^{1/2}$	$< 0,001$	$< 0,03$	$H_2SO_4 < 0,01$	herramientas de aviación

Mejoras de rendimiento :

Resistencia al desgaste : La superficie de grano fino/bajo contenido de Co reduce la pérdida por desgaste en un 20-30% ($< 0,05 mm^3/h$, ASTM G65).

Resistencia a la corrosión : La superficie de gradiente a base de Ni (Cr_3C_2/Mo 0,52 % en peso) tiene una tasa de corrosión de H_2S /agua de mar de $< 0,005 mm/año$.

Resistencia al impacto : Alto contenido de Co en el núcleo (1520 % en peso), resistencia a la flexión de 2,2 a 2,8 GPa , probabilidad de fractura reducida en un 3050 %.

Vida útil : la vida útil de los dientes de corte aumenta entre un 50 y un 100 %, la vida útil del sello

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

es >5000 horas (15 000 psi).

Ejemplos :

Composición del gradiente de la pica : superficie WC+6%Co (0,5 μm) , núcleo WC+15%Co (3 μm) , sinterizado al vacío (1450°C), dureza 2000 HV, desgaste <0,05 mm³/h, vida útil 800 horas (400 horas para la pica normal) .

Sellado con gradiente de grano : superficie WC+10%Ni (0,5 μm) , núcleo WC+12%Ni (2 μm) , HIP (1400 °C, 120 MPa), tasa de corrosión del agua de mar <0,005 mm/a, tasa de fuga <10⁻⁶ mbar·L /s.

Cuerpo de bomba de gradiente de rendimiento : carburación de superficie (1100 °C, C2H2), dureza 2100 HV, tenacidad del núcleo KIC 13 MPa·m^{1/2} , tasa de corrosión de H2SO4 (50 %) <0,01 mm/a, vida útil >10 000 horas.

5. Escenarios de aplicación

Selecciones de minería :

Tipo de gradiente : gradiente de composición (bajo contenido de Co 6 % en peso en la superficie, alto contenido de Co 15 % en peso en el núcleo) .

Rendimiento : Dureza superficial 2000 HV, desgaste <0,05 mm³/h, resistencia al impacto del núcleo, vida útil aumentada entre un 50 y un 100 %.

Caso : Pico WC+Co (Ø 20 × 330 mm), sinterizado al vacío, 800 horas de minería de carbón sin roturas.

Focas de aguas profundas :

Tipo de gradiente : gradiente de grano (granos finos superficiales 0,5 μm , granos gruesos del núcleo 2 μm) + base de Ni.

Rendimiento : tasa de corrosión de H2S/agua de mar <0,005 mm/año, tasa de fuga <10⁻⁶ mbar·L /s, resistencia a la presión 15 000 psi.

Ejemplo : anillo de estanqueidad YN10 (Ø 50 mm), HIP+pulido (Ra <0,1 μm) , vida útil >1000 conexiones.

Cuerpo de la bomba química :

Tipo de gradiente : Gradiente de rendimiento (carburación superficial, dureza > 2000 HV) + base de Ni.

Rendimiento : tasa de corrosión por H2SO4 (50%) <0,01 mm/a, resistencia a la erosión aumentada en un 30%, vida útil >10 000 horas.

Carcasa : Carcasa de bomba YN12 (Ø 200 mm), revestimiento HIP+TiN , funcionamiento estable con fluido que contiene partículas.

Cuchillos de aviación :

Tipo de gradiente : gradiente compuesto (base de Ni superficial + cristales finos, base de Co central + cristales gruesos).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rendimiento : Dureza 18002200 HV, tenacidad KIC $>12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, vida útil de corte aumentada en un 50%.

Caso : Herramienta WC+Co ($\varnothing 12 \times 80 \text{ mm}$), sinterización en gradiente + recubrimiento TiAlN, corte de aleación de Ti durante 300 minutos.

6. Sugerencias de optimización para carburo cementado en gradiente

polvo :

Grano : WC de grano fino en la superficie ($0,51 \mu\text{m}$), granos medio-gruesos en el núcleo ($23 \mu\text{m}$), con un equilibrio de resistencia al desgaste y tenacidad.

Fase de unión : superficie Ni (68 % en peso) + Cr₃C₂ (0,52 % en peso), núcleo Co/Ni (1220 % en peso), resistencia a la corrosión aumentada en un 2030 %.

Molienda de bolas : 1624 horas, homogeneidad aumentada en un 10%, desviación de gradiente $<\pm 0,5 \%$ en peso.

Proceso de prensado :

Prensado por capas : prensado isostático en frío (250-300 MPa), espesor de la zona de transición entre capas 0,1-0,5 mm, resistencia de unión aumentada en un 15%.

Matriz : Distribución de presión optimizada, defectos de tocho reducidos en un 20%, desviación de densidad $<\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Proceso de sinterización :

HIP : 1350°C, 120 MPa, 2 horas, porosidad $<0,001\%$, densidad $>99,9\%$.

Sinterización en gradiente : superficie 1450 °C, núcleo 1350 °C, control de temperatura $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, transición de rendimiento suave.

Atmósfera : pureza de H₂ $> 99,999 \%$, O₂ $< 5 \text{ ppm}$, carbono residual $< 0,05 \%$, resistencia a la corrosión aumentada en un 10 %.

Posprocesamiento :

Carburación/ nitruración : 1100-1200 °C, C₂H₂/N₂ 510 L/min, dureza superficial aumentada en un 1015 %.

Pulido : Ra $<0,2 \mu\text{m}$, la resistencia a la corrosión aumentó en un 1520%, el coeficiente de fricción disminuyó en un 20%.

Recubrimiento : PVD TiN /DLC ($25 \mu\text{m}$), resistencia al desgaste aumentada en un 3050%.

Optimización de equipos :

Control de temperatura : $\pm 3^\circ\text{C}$, uniformidad $\pm 5^\circ\text{C}$, consistencia de gradiente aumentada en un 10%.

Vacío : 10^{-5} Pa , eficiencia de desparafinado $> 99,5 \%$, reducción de porosidad 0,01 %.

Detección : análisis SEM de la capa de gradiente, medición XPS de la composición de la superficie, precisión $\pm 0,1 \%$ en peso.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Normas

GB/T 183762014 : Porosidad $<0,01\%$, uniformidad $>95\%$.

GB/T 51692013 : Porosidad A02B00C00 (vacío), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015 : Densidad $14,515,0 \text{ g/cm}^3$, desviación $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

GB/T 38512015 : Resistencia a la flexión $1,82,8 \text{ GPa}$.

GB/T 7997- 2017 : Dureza 1400-2200 HV.

NACE MR 0175 : Resistente a $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$, tasa de corrosión $<0,005 \text{ mm/a}$.

ASTM G 65 : Tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$.

8. Conclusión

El carburo cementado en gradiente proporciona alta dureza (1800-2200 HV) y resistencia al desgaste y la corrosión (tasa de corrosión $<0,005 \text{ mm/año}$) en la superficie, alta tenacidad ($\text{KIC } 1215 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y resistencia al impacto en el núcleo mediante cambios graduales en la composición, los granos o las propiedades, lo que mejora significativamente el rendimiento y la vida útil de picos de minería, sellos de aguas profundas, cuerpos de bombas químicas y herramientas de aviación (un aumento del 50-100%). Los procesos de prensado en capas, sinterización en gradiente y HIP garantizan un control preciso de la estructura del gradiente y, combinados con el pulido ($\text{Ra } <0,2 \mu\text{m}$) y el nanorrecubrimiento (TiN/DLC), optimizan aún más el rendimiento. La optimización de polvos, procesos y equipos permite lograr un mayor rendimiento y una mayor rentabilidad.

CTIA GROUP LTD utiliza tecnología de prensado en capas y sinterización HIP, combinada con nano-recubrimiento, en la producción de sellos de carburo de gradiente, cuerpos de bombas y válvulas para proporcionar soluciones altamente resistentes al desgaste y a la corrosión para satisfacer las necesidades de entornos extremos como las profundidades marinas y la industria química.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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:

Pico y tecnología de minería de carburo de gradiente

Las picas de corte de carburo cementado con gradiente son herramientas de alto rendimiento diseñadas para afrontar condiciones mineras complejas (como rocas de alta dureza, capas de mineral corrosivos y cargas de alto impacto). El cabezal de corte está hecho de carburo cementado con gradiente. Al ajustar la composición (como la relación WC/Co), el tamaño de grano ($0,55 \mu\text{m}$) y el rendimiento (dureza/tenacidad) en dirección radial o axial, se logra una combinación optimizada de alta dureza superficial (1800-2200 HV), resistencia al desgaste, alta tenacidad del núcleo (KIC 1215 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y resistencia al impacto. En comparación con las picas de carburo cementado uniformes tradicionales, la resistencia al desgaste de las picas con gradiente se mejora en un 20-30% (pérdida por desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$), la probabilidad de fractura se reduce en un 30-50% y la vida útil se extiende en un 50-100% (800-1500 horas). Es adecuado para máquinas tuneladoras integrales, máquinas de extracción de carbón y máquinas de perforación rotatorias.

Este artículo combina estándares nacionales (como GB/T 183762014, GB/T 51692013) y prácticas de la industria, proporciona picas de gradiente específicas, parámetros de proceso y análisis de rendimiento, los integra en una copia completa y recomienda adecuadamente las capacidades de producción de CTIA GROUP LTD en el campo de las picas de carburo de gradiente.

1. Pico de minería de carburo degradado

1.1 Objetivos

Adaptación de las condiciones de trabajo:

Roca de alta dureza (dureza Mohs 68, como arenisca y granito).
Depósitos minerales corrosivos ($\text{H}_2\text{S} > 100 \text{ ppm}$, pH 35, como minerales de sulfuro de hierro).
Cargas de impacto elevadas (515 kN, p. ej. tambor de rozadora).

Requisitos de rendimiento:

Dureza superficial: 1800-2200 HV, tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$ (ASTM G65).
Tenacidad del núcleo: KIC 1215 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, resistencia a la flexión 2,22,8 GPa (GB/T 38512015).
Resistencia a la corrosión: velocidad de corrosión $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,005 \text{ mm/a}$ (NACE MR0175).
Vida útil: 800-1500 horas (400-600 horas para púas normales).
Control de costos: reducir la cantidad de Co/Ni utilizada y reducir los costos en un 1020% (200.500 yuanes por pieza).

1.1 Estructura de selección

Estructura general:

Cabezal de corte: Metal duro degradado (WC + Co / Ni, $\varnothing 1525 \text{ mm}$, altura 1020 mm).
Cuerpo de acero: 42CrMo (templado y revenido, resistencia $> 1000 \text{ MPa}$, $\varnothing 2030 \text{ mm}$, longitud

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

300400 mm).

Conexión: Soldadura fuerte (aleación AgCu , resistencia de unión > 200 MPa).

Forma: Cónica (ángulo de vértice 60-80°, adecuado para rocas de alta dureza) o en forma de hongo (adecuado para vetas de carbón de dureza media).

gradiente:

Tipo: gradiente de composición + gradiente de grano (gradiente compuesto).

Capa superficial (03 mm):

Composición: WC 92 % en peso , Co 6 % en peso, Cr3C2 0,5 % en peso (resistente a la corrosión).

Grano: WC 0,51 μm (grano fino, resistente al desgaste).

Rendimiento: Dureza 20002200 HV, resistencia al desgaste <0,05 mm³/h, resistencia al H2S <0,005 mm/a.

Capa de transición (36 mm):

Composición: WC 88 % en peso, Co 10 % en peso, Cr3C2 0,5 % en peso.

Grano : WC 12 μm .

Propiedades: Dureza 18002000 HV, tenacidad KIC 1012 MPa·m^{1/2} .

Núcleo (610 mm):

Composición: WC 82 % en peso , Co 15 % en peso , Ni 2 % en peso (tenacidad mejorada).

Grano: WC 23 μm (grano medio grueso, resistente al impacto).

Propiedades: Dureza 1400-1600 HV, tenacidad KIC 1215 MPa·m^{1/2} , resistencia a la flexión 2,2-2,8 GPa .

Parámetros geométricos:

Diámetro del cabezal de corte: Ø 20 mm (estándar TBM).

Espesor de la capa de gradiente: 3 mm en la superficie, 3 mm en la transición y 4 mm en el núcleo.

Rugosidad superficial: Ra <0,2 μm (después del pulido).

Peso total: 150-300 g (cabezal de corte 50-100 g, cuerpo de acero 100-200 g).

1.3 Características

Optimización de la superficie: WC de grano fino + bajo Co+Cr3C2, resistencia al desgaste/resistencia a la corrosión aumentada en un 2030%, adecuado para arenisca y capas de mineral ácido.

Refuerzo del núcleo: grano medio grueso con alto contenido de Co+, resistencia al impacto aumentada entre un 30 y un 50 %, fractura reducida (<5 % de tasa de falla).

Amortiguador de capa de transición: suaviza los cambios de composición/grano, reduce la concentración de tensión entre capas y aumenta la resistencia de unión en un 15 %.

Refuerzo de recubrimiento: PVD CrN (2 μm) , coeficiente de fricción <0,3, resistencia al desgaste aumentada en un 30% .

2. Proceso de preparación y parámetros

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Preparación del polvo

materia prima:

WC: D50 0,51 μm (superficie), 23 μm (núcleo), pureza >99,9%.

Co: D50 12 μm , pureza >99,9%, superficie 6 % en peso, núcleo 15 % en peso.

Ni: D50 12 μm , pureza >99,9%, núcleo 2 % en peso (resistente a la corrosión) .

Cr3C2: D50 0,51 μm , pureza >99,9%, capa superficial/de transición 0,5 % en peso .

Molienda de bolas:

Equipo: Molino de bolas planetario (bolas de ZrO₂, relación bola-material 10:1).

Parámetros: velocidad de rotación 300 rpm, tiempo 20 horas, medio alcohólico, uniformidad >95%.
de partícula del polvo $\leq \pm 0,1 \mu\text{m}$, desviación de la composición $\leq \pm 0,5 \%$ en peso .

2.2 Prensado de polvo en capas

método:

Molde estratificado: capa superficial (WC +6%Co+0,5%Cr3C2, 3 mm), capa de transición (WC+10%Co+0,5%Cr3C2, 3 mm), núcleo (WC+15%Co+2%Ni, 4 mm).

Prensado isostático en frío (CIP): 250300 MPa, manteniendo la presión durante 60 segundos.

Equipamiento: Prensa CIP (precisión de presión $\pm 5 \text{ MPa}$).

parámetro:

Molde : Molde de acero de alta precisión (desviación $\leq \pm 0,05 \text{ mm}$), pared interior recubierta con lubricante BN.

Velocidad de prensado: 510 mm/min, espesor de la zona de transición 0,10,5 mm.

Densidad en blanco: 60-70% densidad teórica (8,7-10,5 g/cm³) .

Resultados: Tamaño de la pieza $\varnothing 20 \times 10 \text{ mm}$, desviación de densidad $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, tasa de grietas <1%.

2.3 Sinterización por gradiente

Método: sinterización al vacío + HIP (prensado isostático en caliente).

equipo:

Horno de sinterización al vacío (elemento calentador de molibdeno, grado de vacío 10^{-5} Pa).

Horno HIP (presión de Ar 100-150 MPa, control de temperatura $\pm 3^\circ\text{C}$).

Parámetros del proceso:

Desparafinado:

Temperatura: 200-600°C, velocidad de calentamiento 3°C/min.

Atmósfera: H₂ (pureza > 99,999%, O₂ <5 ppm), caudal 10 L/min.

Grado de vacío: 10^{-2} Pa .

Tiempo: 3 horas, tasa de desparafinado > 99,5%, carbono residual < 0,05%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sinterización:

Temperatura: 1350-1450 °C (superficie 1450 °C, núcleo 1350 °C, control de temperatura de gradiente).

Velocidad de calentamiento: 58°C/min.

Grado de vacío: 10^{-4} 10^{-5} Pa.

Mantener caliente: 23 horas.

Posprocesamiento HIP:

Temperatura: 1350°C, presión 120 MPa (Ar).

Mantener caliente: 1,5 horas.

Enfriamiento: 15°C/min (enfriamiento forzado Ar), hasta 200°C.

resultado:

Densidad: 14,815,0 g/cm³ (GB/T 38502015, desviación $\leq \pm 0,05$ g/cm³).

Porosidad: $< 0,001\%$ (A00B00C00, GB/T 51692013).

Dureza: superficie 2000-2200 HV, núcleo 1400-1600 HV (GB/T 7997-2017).

Tasa de contracción: 1518%, desviación dimensional $\leq \pm 0,1$ mm.

2.4 Posprocesamiento

pulido:

de partícula 15 μm), disco de pulido de poliuretano.

Parámetros: velocidad de rotación 800 rpm, presión 0,3 MPa, líquido de pulido (base agua, 5 L/min).

Tiempo: 20 min/cm².

Resultados: Ra $< 0,2 \mu\text{m}$, la resistencia a la corrosión aumentó en un 1520%, el coeficiente de fricción disminuyó en un 20%.

Recubrimiento PVD:

Recubrimiento: CrN (2 μm , resistente a H₂S/H₂SO₄).

Equipo: Sputtering por magnetrón (blanco Cr, pureza $> 99,99\%$).

parámetro:

Grado de vacío: 10^{-4} Pa.

Temperatura: 300°C (evitar el recocido del sustrato).

Tensión de polarización: 100 V.

Gas: Ar (limpieza), N₂ (reacción), caudal 50 sccm.

Velocidad de deposición: 0,5 $\mu\text{m/h}$.

Resultados: dureza del recubrimiento 1800-2200 HV, adhesión > 60 N (prueba de rayado), resistencia al desgaste aumentada en un 30%.

Soldadura:

Material: Aleación de AgCu (Ag 50 % en peso, Cu 30 % en peso, 700-800 °C).

Equipamiento: Máquina de soldadura por inducción de alta frecuencia (potencia 15 kW).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Parámetros: temperatura 750°C, mantener durante 30 segundos, protección Ar (O₂ <10 ppm).

Resultados: Resistencia de unión >200 MPa, resistencia al corte aumentada en un 15%.

Detección:

Superficie: SEM (grano 0,51 µm), medidor de rugosidad (Ra <0,2 µm, precisión ± 0,01 µm).

Gradiente: XPS (desviación de composición <±0,1 % en peso), prueba ultrasónica (grieta >0,1 mm).

Rendimiento: Probador de dureza (desviación <±50 HV), prueba de desgaste (ASTM G65, <0,05 mm³/h).

3. Análisis del rendimiento

parámetro	Superficie (03 mm) % peso	Capa de transición (36 mm) % en peso	Núcleo (610 mm) % peso
Elemento	WC 92, Co 6, Cr3C2 0,5	WC 88, Co 10 Cr3C2 0,5	WC 82, Co 15, Ni 2
Grano	WC 0,51 µm	WC 12 µm	WC 23 µm
Dureza (HV)	20002200	18002000	14001600
Tenacidad KIC, MPa·m ^{1/2}	810	1012	1215
Resistencia al desgaste (mm ³ /h)	<0,05	<0,07	<0,10
Resistencia a la corrosión (mm/a)	H2S/H2SO4 <0,005	H2S/H2SO4 <0,01	H2S/H2SO4 <0,02

Aspectos destacados del rendimiento:

Resistencia al desgaste

Grano fino superficial WC+Cr3C2, pérdida por desgaste <0,05 mm³/h (ASTM G65), 50% menor que la picadura uniforme (0,1 mm³/h).

Resistencia al impacto

El núcleo tiene un alto contenido de Co+ Ni, con una resistencia a la flexión de 2,22,8 GPa y una probabilidad de fractura de <5 % bajo carga de impacto (10 kN).

Resistencia a la corrosión

de CrN + base de Ni, índice de resistencia a la corrosión H2S/H2SO4 <0,005 mm/a (NACE MR0175), mejor que la punta a base de Co común (0,05 mm/a).

vida

La eficiencia de excavación aumenta entre un 20 y un 30 % y la vida útil es de 1000 a 1500 horas (500 a 600 horas para picos comunes).

Ejemplos:

Selección completa de excavadoras

Ø 20 × 330 mm, WC+Co (6%Co en la superficie, 15%Co en el núcleo), HIP (1400°C, 120 MPa), recubrimiento de CrN (2 µm), minería de carbón (dureza Mohs 6) 1000 h, pérdida por desgaste <0,05 mm³/h.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pico de máquina para minería de carbón

Ø 18 × 300 mm, WC+Ni (0,5 µm en la superficie, 2 µm en el núcleo), sinterizado al vacío (1450°C), índice de resistencia a la corrosión por H₂S <0,005 mm/a, vida útil de la capa de mineral que contiene azufre 1200 horas.

Selección de máquina perforadora rotativa

Ø 25 × 400 mm, WC+Co (carburación superficial), HIP+pulido (Ra <0,2 µm), excavación de granito 1100 horas, tasa de fractura <3%.

4. Escenarios de aplicación

completa de cabezales de carretera :

Condiciones de trabajo: veta de carbón de alta dureza (dureza Mohs 57), arenisca/pizarra, impacto 510 kN .

Gradiente de composición (6%Co en la superficie, 15%Co en el núcleo), recubrimiento de CrN (2 µm) .

Rendimiento: Dureza 20002200 HV, desgaste <0,05 mm³/h, vida útil 1000 horas.

Caso: pico WC+Co (Ø 22 × 350 mm), eficiencia de extracción de carbón aumentada en un 20%, sin roturas

Selección de máquina para minería de carbón:

Condiciones de trabajo: vetas de carbón semiduro (dureza Mohs 35), conteniendo sulfuros (H₂S >100 ppm).

de grano (superficie 0,5 µm, núcleo 2 µm), base de Ni + Cr₃C₂.

Rendimiento: Resistencia al H₂S <0,005 mm/año, vida útil de 1200 horas.

Estuche: Pico YN10 (Ø 18 × 300 mm), excavación estable en estratos sulfurosos.

Selección de plataforma de perforación rotatoria:

Condiciones de trabajo: Granito (dureza Mohs 68), impacto >15 kN .

:Gradiente de propiedad (carburación de caja, dureza > 2000 HV), núcleo con alto contenido de Co.

Rendimiento: Tasa de desgaste <0,04 mm³/h, vida útil 1100 horas.

Caso: pico WC+Co (Ø 25 × 400 mm), eficiencia aumentada en un 15%, tasa de rotura <3%.

Selección de mineral ácido:

Condiciones de trabajo: ambiente ácido (pH 35, H₂SO₄/H₂S).

Gradiente compuesto (Ni+Cr₃C₂ en la superficie, Co en el núcleo), recubrimiento de CrN .

Rendimiento: Resistencia a H₂SO₄ <0,01 mm/año, vida útil 1500 horas.

Caja: Pico YN12 (Ø 20 × 330 mm), vida útil en capas de mineral ácido es de 1500 horas.

5. Sugerencias de optimización

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización del polvo:

Superficie: WC 0,51 μm , Co 6 % en peso , Cr3C2 0,5 % en peso , resistencia a la corrosión aumentada en un 2030 %.

Núcleo: WC 23 μm , Co 15 % en peso , Ni 2 % en peso , tenacidad aumentada en un 20 % .

Molienda de bolas: 20 horas, homogeneidad >95%, desviación $\leq \pm 0,5$ % en peso .

Optimización de la supresión:

Prensado isostático en frío: 250-300 MPa, zona de transición 0,1-0,5 mm, resistencia de unión aumentada en un 15%.

Matriz: lubricación BN, reducción de grietas 20%, desviación de densidad $\leq \pm 0,1$ g/cm³ .

Optimización de la sinterización:

HIP: 1350°C, 120 MPa, 2 horas, porosidad <0,001%.

Sinterización en gradiente: superficie 1450°C, núcleo 1350°C, control de temperatura $\pm 3^\circ\text{C}$.

Atmósfera: H₂ (O₂ < 5 ppm), carbono residual <0,05%, resistencia a la corrosión aumentada en un 10%.

Optimización del posprocesamiento:

Carburación: 1100°C, C₂H₂ 5 L/min, aumento de dureza 1015%.

Pulido: Ra <0,2 μm , resistencia a la corrosión aumentada en un 1520% .

Recubrimiento: PVD CrN (2 μm) , resistencia al desgaste aumentada en un 30%, resistencia al H₂S aumentada en un 20%.

Soldadura fuerte: AgCu (750°C), resistencia de unión >200 MPa.

Optimización de equipos:

Horno de sinterización: control de temperatura $\pm 3^\circ\text{C}$, uniformidad $\pm 5^\circ\text{C}$, consistencia del gradiente aumentada en un 10%.

Vacío: 10^{-5} Pa, eficiencia de desparafinado > 99,5 % , reducción de porosidad 0,01 %.

Inspección: SEM/XPS (precisión $\pm 0,1$ % en peso), ultrasonido (grietas > 0,1 mm).

Adaptación de las condiciones de trabajo:

Roca de alta dureza: gradiente de composición + recubrimiento CrN , resistencia al desgaste primero.

Capa mineral corrosiva: a base de Ni + Cr₃C₂, resistente a H₂S/H₂SO₄.

Alto impacto: gradiente de rendimiento + alto Co, prioridad de resistencia a la fractura.

6. Normas

GB/T 183762014: Porosidad <0,01%, uniformidad >95%.

GB/T 51692013: Porosidad A02B00C00 (vacío), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015: Densidad 14,515,0 g/cm³ , desviación $\leq \pm 0,1$ g/ cm³.

GB/T 38512015: resistencia a la flexión 1,82,8 GPa .

GB/T 7997-2017: Dureza 1800-2200 HV.

NACE MR0175: Resistente a H₂S/CO₂, tasa de corrosión <0,005 mm/a.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM G65: Tasa de desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$.

ISO 6508: Desviación de dureza $< \pm 50 \text{ HV}$.

7. Conclusión

Las picas de minería de carburo de gradiente logran una alta dureza superficial (2000-2200 HV), resistencia al desgaste/corrosión ($\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,005 \text{ mm/a}$) y alta tenacidad del núcleo ($\text{KIC } 1215 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) y resistencia al impacto mediante una cuidadosa composición y gradiente de grano (superficie $\text{WC}+6\%\text{Co}+0,5\% \text{ Cr}_3\text{C}_2$, núcleo $\text{WC}+15\%\text{Co}+2\% \text{ Ni}$), combinado con prensado en capas, sinterización HIP (1350°C , 120 MPa), pulido ($\text{Ra} < 0,2 \mu\text{m}$) y recubrimiento PVD CrN ($2 \mu\text{m}$). La vida útil de la pica alcanza las 1000-1500 horas (un aumento del 50-100 %), y la eficiencia de excavación aumenta en un 20-30 %. Es adecuada para rocas de alta dureza, capas de mineral corrosivas y condiciones de trabajo de alto impacto. La optimización de los procesos de dosificación de polvo, prensado, sinterización y posprocesamiento puede mejorar aún más el rendimiento y la rentabilidad para satisfacer las exigentes necesidades de las máquinas tuneladoras multipropósito, las máquinas de extracción de carbón y las plataformas de perforación rotatorias.

CTIA GROUP LTD utiliza tecnología avanzada de prensado en capas, sinterización HIP y recubrimiento PVD en el campo de las picas de carburo de gradiente para minería, con el fin de ofrecer soluciones resistentes al desgaste, a la corrosión y al impacto, satisfaciendo las necesidades de estratos geológicos complejos y ácidos. Los productos se verifican mediante SEM, XPS y pruebas de desgaste para garantizar un rendimiento estable (desviación de dureza $< \pm 50 \text{ HV}$, volumen de desgaste $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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:

Aplicación de carburo cementado en boquillas de aviación

1. Descripción general de las boquillas de aviación

Las toberas de aviación son componentes esenciales de los motores de aviación (como los turbofán y los turboejes) y las turbinas de gas. Se utilizan para controlar con precisión la inyección de combustible, la mezcla de aire o el flujo de gas a alta temperatura para optimizar la eficiencia de la combustión, el empuje y la gestión térmica. Las toberas deben soportar condiciones de trabajo extremas: alta temperatura (1000–1600 °C), alta presión (10–30 MPa), erosión del flujo de aire a alta velocidad (>500 m/s) y corrosión química (como la de los sulfuros de combustible). Los materiales tradicionales (como el acero inoxidable y las aleaciones a base de níquel) son cada vez menos capaces de satisfacer los requisitos de los motores de aviación modernos en cuanto a alto rendimiento y larga vida útil en términos de resistencia al desgaste y a altas temperaturas. El carburo cementado (WC-Co) se ha convertido en un material ideal para las toberas de aviación gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas, especialmente para toberas de precisión (como las de combustible y las de orificios de refrigeración) y piezas resistentes al desgaste (como las gargantas de las toberas).

2. Propiedades materiales del carburo cementado (WC-Co)

El carburo cementado tiene carburo de tungsteno (WC) como fase dura y cobalto (Co) como fase aglutinante, con una composición típica de WC 85-95 % en peso , Co 5-15 % en peso . Sus propiedades clave lo hacen adecuado para boquillas de aviación:

Alta dureza: HV1000–1800, superando ampliamente las aleaciones a base de níquel (HV300–500), lo que garantiza resistencia al desgaste y a la erosión.

Estabilidad a altas temperaturas: el punto de fusión del WC es de 2870 °C, la fase Co permanece estable por debajo de 1400 °C, adecuada para entornos de gas de alta temperatura.

Resistencia a la corrosión: Resiste la corrosión por sulfuro de combustible y oxidación, lo que extiende la vida útil de la boquilla (entre un 20 y un 50 % más que las aleaciones a base de níquel).

Alta resistencia: resistencia a la flexión 2000–2500 MPa, resistencia a la compresión >4000 MPa, capaz de soportar el impacto de un flujo de aire a alta presión.

Tenacidad ajustable: Al ajustar el contenido de Co (un alto contenido de Co mejora la tenacidad, un bajo contenido de Co aumenta la dureza), se pueden cumplir los requisitos de las diferentes partes de la boquilla.

Microestructura: Tamaño de grano WC 0,5–2 μm , distribución uniforme de la fase de cobalto , lo que garantiza propiedades mecánicas consistentes.

Estas propiedades permiten que el carburo cementado resista la tensión combinada de alta temperatura, alta presión y erosión en las boquillas de aviación, mejorando significativamente el rendimiento y la confiabilidad del motor? web :9,23 ? .

3. Proceso de fabricación de boquillas de aviación de carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las boquillas de aviación presentan requisitos extremadamente altos de precisión dimensional ($\pm 0,01$ mm), acabado superficial ($Ra < 0,4 \mu m$) y uniformidad de la microestructura, y la fabricación de carburo cementado requiere un control preciso. El proceso incluye la preparación del polvo, el prensado, la sinterización y el posprocesamiento, entre los que destacan el prensado isostático en frío (CIP) y el prensado isostático en caliente (HIP).

3.1 Preparación del polvo

Materias primas: polvo de WC ultrafino (tamaño de partícula $0,2-1 \mu m$) y polvo de Co (pureza $>99,9\%$), mezclados mediante molienda de bolas para garantizar la homogeneidad.

Aditivos: Una pequeña cantidad de carburo de titanio (TiC) o carburo de niobio (NbC) para mejorar la resistencia a la oxidación a alta temperatura; parafina como agente de moldeo.

Objetivo: Obtener un polvo mixto con buena fluidez y distribución uniforme de partículas y reducir los defectos de prensado.

3.2 Prensado isostático en frío (CIP)

El CIP se utiliza para prensar boquillas verdes, lo que garantiza una densificación uniforme de geometrías complejas como boquillas de múltiples orificios:

Proceso: El polvo mezclado se carga en un molde de caucho, se coloca en un dispositivo CIP y se aplica una presión de 100 a 400 MPa a través de un medio líquido (agua o aceite) durante varios minutos.

Ventajas: La presión uniforme elimina el desconchado y la delaminación, adecuado para estructuras de boquillas complejas (como canales internos, orificios de boquilla con diámetro <1 mm).

Resultados: La densidad verde alcanzó el 60-70% de la densidad teórica y la precisión dimensional fue de $\pm 0,1$ mm, proporcionando una base para la sinterización.

Desafío: La fluidez insuficiente del polvo puede generar una densidad desigual y es necesario optimizar la distribución de partículas.

3.3 Sinterización al vacío

La sinterización al vacío se realiza a $1350-1450^\circ C$ y la densificación se logra mediante sinterización en fase líquida (fusión en fase Co):

Proceso: El cuerpo verde CIP se calienta en un horno de vacío y la fase Co humedece las partículas de WC en estado líquido, promoviendo la reorganización de las partículas y el cierre de los poros. de grano se controló entre $0,5$ y $1 \mu m$ y la contracción fue del 15 al 20%.

Desafío: La contracción por sinterización puede provocar desviaciones dimensionales, lo que requiere un control preciso de la temperatura y el tiempo de mantenimiento.

3.4 Prensado isostático en caliente (HIP)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El HIP como postratamiento mejora aún más la densidad y el rendimiento de las boquillas:

Proceso: El blank sinterizado se coloca en un equipo HIP y se trata a 1200–1400 °C y 50–200 MPa de presión de argón durante 1–4 horas.

Ventajas: Elimina microporos (porosidad < 0,1%), grietas y tensiones residuales, aumenta la dureza en un 5-10% (HV1600-1800) y aumenta la resistencia a la flexión en un 10-20% (2000-2500 MPa). de la densidad teórica y el acabado superficial Ra es menor a 0,4 µm , lo que cumple con los requisitos de precisión de la aviación.

Desafíos: Los altos costos (el equipo cuesta alrededor de 10 a 30 millones de RMB) y los largos tiempos de proceso limitan la producción en masa.

3.5 Mecanizado de precisión

Proceso: El rectificado de diamante, el mecanizado por descarga eléctrica (EDM) o el micromecanizado láser se utilizan para formar microporos de boquilla (de 0,1 a 1 mm de diámetro) y canales de flujo complejos.

Objetivo: Garantizar la precisión dimensional ($\pm 0,01$ mm) y la calidad de la superficie y optimizar la uniformidad de la pulverización.

Desafío: La alta dureza del carburo cementado aumenta la dificultad del procesamiento y requiere equipos de alta precisión (como CNC de cinco ejes).

4. Ventajas de rendimiento de las boquillas de aviación de carburo cementado

En comparación con las boquillas de aleación o cerámica tradicionales a base de níquel, las boquillas de aviación de carburo cementado tienen las siguientes ventajas:

Resistencia al desgaste: dureza HV1600-1800, resistente a la erosión del flujo de aire a alta velocidad, vida útil extendida en un 30-50% (5000-8000 horas).

Rendimiento a altas temperaturas: Mantiene la estabilidad estructural a 1400 °C y tiene una mejor resistencia al choque térmico que las aleaciones a base de níquel (coeficiente de expansión térmica $5-7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$).

Estabilidad dimensional: el proceso CIP+HIP garantiza la precisión de microporos y canales de flujo ($\pm 0,01$ mm), mejorando la eficiencia de la inyección de combustible (eficiencia de combustión +5–10%).

Resistencia a la corrosión: resiste la corrosión por sulfuro de combustible, reduce la obstrucción de las boquillas y la degradación del rendimiento.

Personalización: Al ajustar el tamaño de partícula de WC (0,2–2 µm) y el contenido de Co (5–15 % en peso), la dureza y la tenacidad se pueden equilibrar para cumplir con los diferentes requisitos de las boquillas (por ejemplo, alta dureza para boquillas de combustible de alta presión y alta tenacidad para boquillas de enfriamiento) .

5. Escenarios de aplicación

Las boquillas de aviación de carburo se utilizan ampliamente en los siguientes campos de aviación:

Motores turbofán: como GE9X y PW4000, para boquillas de combustible (0,1–0,5 mm de diámetro)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y boquillas con orificios de enfriamiento para optimizar la combustión y la gestión térmica.

Motores de turboeje: como el T700 (para helicópteros), se utilizan para gargantas de toberas resistentes al desgaste para resistir la erosión del gas a alta temperatura.

Turbinas de gas: como la Siemens SGT-8000H para la generación de energía industrial, donde se utilizan toberas para una distribución precisa del gas para mejorar la eficiencia.

Propulsores aeroespaciales: como toberas de combustible de motores de cohetes, sujetas a temperaturas y presiones extremadamente altas ($>1500^{\circ}\text{C}$, $>20\text{ MPa}$).

Caso típico: El motor GE9X utilizado en el Boeing 787 adopta una tobera WC-Co, que tiene una vida útil un 40% más larga que la de la aleación a base de níquel y un aumento de la eficiencia de combustión del 7% ? web:9 ? .

6. Desafíos y limitaciones

Si bien las boquillas de aviación de carburo cementado tienen un rendimiento excelente, aún enfrentan los siguientes desafíos:

Costo de fabricación: El alto costo de los equipos HIP y el mecanizado de precisión (el costo de fabricación de una sola boquilla es de aproximadamente RMB 10.000-50.000) limita las aplicaciones a gran escala.

Dificultad de procesamiento: La alta dureza (HV1600-1800) aumenta la dificultad del procesamiento de microagujeros y requiere equipos costosos (como el microprocesamiento láser, que cuesta alrededor de 5 millones de RMB).

Limitación de tenacidad: El WC-Co de alta dureza ($\text{Co} < 10\%$ en peso) tiene menor tenacidad que las aleaciones a base de Ni (tenacidad a la fractura K_{IC} 10–15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ frente a 50 – 100 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) y puede agrietarse bajo un impacto extremo.

Peso: La densidad del carburo cementado ($14\text{--}15\text{ g/cm}^3$) es mayor que la de las aleaciones a base de níquel ($8\text{--}9\text{ g/cm}^3$), por lo que es necesario optimizar el diseño para reducir el peso.

Impacto ambiental: el elevado consumo energético del HIP (500–1000 kWh por lote) y la escasez de recursos de cobalto (las reservas mundiales son de aproximadamente 7 millones de toneladas) aumentan los costes de producción y la presión ambiental ? web:23 ? .

7. Dirección de desarrollo futuro

Para enfrentar los desafíos y mejorar la competitividad de las boquillas de aviación de carburo cementado, las direcciones de desarrollo futuras incluyen:

Carburo nano cementado

de WC ultrafinas ($<0,2\text{ }\mu\text{m}$) para mejorar la dureza (HV1800–2000) y la tenacidad (K_{IC} 15–20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) para cumplir con requisitos de rendimiento más elevados.

Fabricación ecológica

Optimizar el proceso HIP (como el HIP de baja temperatura, $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$) para reducir el consumo de energía entre un 30 y un 50 %; desarrollar tecnología de recuperación de cobalto para aliviar la presión sobre los recursos.

Fabricación aditiva

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Explore las boquillas de carburo de impresión 3D (como la sinterización selectiva por láser SLS) para lograr un moldeado integrado de canales de flujo complejos y reducir los costos de procesamiento entre un 20 y un 30 %.

Materiales compuestos

Combinando carburo cementado con recubrimientos cerámicos (como ZrO_2) mejora la resistencia a altas temperaturas ($>1600\text{ }^\circ\text{C}$) y la resistencia a la corrosión.

Diseño inteligente

Se utiliza CFD (dinámica de fluidos computacional) para optimizar la trayectoria del flujo de la boquilla, mejorar la eficiencia de la inyección (+10%) y reducir el consumo de combustible.

8. Tabla resumen: Características clave y puntos de fabricación de las boquillas de aviación de carburo cementado

proyecto	describir
Composición del material	WC 85–95 % en peso, Co 5–15 % en peso, adiciones opcionales de TiC / NbC
Características principales	Dureza HV1600–1800, resistencia a la flexión 2000–2500 MPa, resistencia a la temperatura 1400 $^\circ\text{C}$, resistencia a la corrosión.
Proceso de fabricación	Preparación del polvo → CIP (100–400 MPa, temperatura ambiente) → Sinterización al vacío (1350–1450 $^\circ\text{C}$) → HIP (50–200 MPa, 1200–1400 $^\circ\text{C}$) → Mecanizado de precisión (EDM, láser)
Función CIP	Forma un cuerpo verde uniforme (densidad 60–70%), adecuado para estructuras de boquillas complejas
Efecto HIP	Elimina microporos (densidad ~100%), aumenta la dureza entre un 5 y un 10% y la resistencia entre un 10 y un 20%.
Escenario de aplicación	Toberas de combustible para motores de turbofán/turboeje, toberas de refrigeración y toberas de turbinas de gas
Ventajas de rendimiento	Vida útil prolongada entre un 30 y un 50 %, eficiencia de combustión aumentada entre un 5 y un 10 %, precisión dimensional $\pm 0,01\text{ mm}$
desafío	Alto costo (10.000-50.000 yuanes/pieza), difícil de procesar, tenacidad limitada, alto peso.
Direcciones futuras	Aleación nanodura, HIP ecológico, impresión 3D, recubrimiento compuesto, optimización CFD

ilustrar:

Materiales y propiedades: Basado en la composición y propiedades típicas de WC-Co.

Proceso de fabricación: abarca CIP, HIP y todo el proceso de procesamiento.

Rendimiento y desafíos: cuantificar ventajas (por ejemplo, vida útil, eficiencia) y limitaciones (por ejemplo, costo, dureza).

Fuente de datos: Informe USGS 2024 y estándares de fabricación de carburo cementado ? web:9,23 ? .

9. Conclusión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El carburo cementado (WC-Co) se ha convertido en el material predilecto para las toberas de aviación gracias a su alta dureza, resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas, lo que mejora significativamente el rendimiento y la vida útil de los motores de turbofán, turboeje y turbinas de gas. Mediante el proceso de prensado isostático en frío (CIP) para formar un cuerpo verde uniforme, sinterización al vacío para lograr la densificación inicial y prensado isostático en caliente (HIP) para optimizar la microestructura y el rendimiento, las toberas de carburo cementado pueden alcanzar una densidad teórica cercana al 100 %, una precisión dimensional de $\pm 0,01$ mm y una vida útil entre un 30 % y un 50 % más larga. Sin embargo, aún es necesario superar los altos costos de fabricación, las dificultades de procesamiento y las limitaciones de tenacidad. En el futuro, el progreso del carburo nanocementado, la fabricación ecológica y la tecnología de fabricación aditiva mejorarán aún más el rendimiento de las toberas, reducirán los costos e impulsarán el desarrollo de la industria aeronáutica de forma eficiente y sostenible. La aplicación de toberas de aviación de carburo cementado no solo refleja la vanguardia de la tecnología de materiales, sino que también proporciona un respaldo clave para la confiabilidad y la eficiencia de los motores de aviación.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

ISO 14923:2003

Proyección térmica: caracterización y ensayo de recubrimientos por pulverización térmica

1. Alcance

Esta Norma Internacional especifica métodos para la caracterización y el ensayo de recubrimientos por proyección térmica. Es aplicable a recubrimientos preparados mediante diversos procesos de proyección térmica (p. ej., proyección de plasma, proyección de llama, proyección de oxígeno combustible a alta velocidad, etc.), incluyendo recubrimientos metálicos, cerámicos y compuestos.

Objetos aplicables : incluidos, entre otros, recubrimientos de carburo cementado (como WC-Co, Cr₃C₂- NiCr) .

Exclusiones : No se establecen disposiciones para parámetros específicos del proceso de preparación del recubrimiento, solo se centran en los métodos de prueba.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

ISO 4287:1997 - Especificaciones geométricas del producto (GPS) — Textura de la superficie: Método del perfil — Términos, definiciones y parámetros de textura de la superficie.

ISO 6507-1:2005 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Vickers — Parte 1: Método de ensayo.

ISO 14916:2017 - Proyección térmica. Ensayo de tracción para determinar la resistencia de adhesión de recubrimientos.

ISO 14918:1998 - Proyección térmica. Documentación de inspección y pruebas de aceptación.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Recubrimiento por pulverización térmica : Recubrimiento formado depositando material fundido o semifundido sobre la superficie de un sustrato a través de un proceso de pulverización térmica.

Resistencia de adhesión : La tensión de tracción máxima entre el recubrimiento y el sustrato o revestimiento, expresada en MPa.

Porosidad : Porcentaje del volumen de poros del recubrimiento respecto del volumen total, expresado en %.

Dureza : Capacidad de un recubrimiento para resistir la deformación plástica local, generalmente expresada en dureza Vickers (HV).

Espesor : La distancia vertical desde la superficie del sustrato hasta la parte superior del revestimiento, medida en μm .

4. Métodos de prueba

4.1 Espesor del recubrimiento

Método : Medir utilizando un microscopio óptico o un medidor de espesor magnético/ultrasónico.

Preparación de la muestra : cortar a lo largo de la sección transversal del revestimiento, esmerilar y pulir; el aumento del microscopio es de 50 a 200 veces.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Puntos de medición : al menos 5 puntos aleatorios, calcule el valor promedio.

Tolerancia : Desviación de espesor $\pm 10\%$ o $\pm 20 \mu\text{m}$ (el que sea mayor).

4.2 Fuerza de unión

Método : Se realizaron ensayos de tracción de acuerdo con la norma ISO 14916, con las muestras recubiertas unidas al dispositivo de ensayo mediante un adhesivo.

Preparación de la muestra : muestra cilíndrica con un diámetro de 25 mm y un espesor de $\geq 5 \text{ mm}$, y un espesor de recubrimiento de $\geq 0,1 \text{ mm}$.

Condiciones de prueba : velocidad de carga 1-5 MPa/s, registrar la fuerza de tracción máxima.

Informe : Valor de resistencia de unión, unidad: MPa, la prueba se repite 3 veces y se toma el valor promedio.

4.3 Dureza

Método : Se realizó una prueba de dureza Vickers según la norma ISO 6507-1.

Condiciones de prueba : carga 9,807 N (HV 0,1) o 49,03 N (HV 0,5), tiempo de retención del penetrador 10-15 s.

Puntos de medición : Al menos 5 puntos sobre la superficie del recubrimiento, evitando bordes y defectos.

Informe : Valor de dureza HV, desviación $\pm 5\%$.

4.4 Porosidad

Métodos : Las secciones transversales se analizaron mediante microscopía óptica o microscopía electrónica de barrido (SEM).

Preparación de la muestra : rectificado y pulido de la sección transversal del revestimiento, aumento del microscopio de 100 a 500 veces.

Medición : seleccione aleatoriamente 5 campos de visión y calcule el porcentaje de área de poro.

Tolerancia : Desviación del resultado de la medición $\pm 0,5\%$.

4.5 Rugosidad de la superficie

Método : Medido utilizando un perfilador de superficie de aguja según ISO 4287.

Parámetros : Ra (rugosidad media aritmética), Rz (altura de diez puntos), longitud de muestreo 2,5 mm.

Puntos de medición : al menos 3 líneas paralelas, calcular el valor medio.

Tolerancia : Desviación $Ra \pm 0,5 \mu\text{m}$.

4.6 Análisis de microestructura

Métodos : La composición de la fase de recubrimiento y los defectos se analizaron mediante SEM o difracción de rayos X (XRD).

Preparación de muestras : Recubrimiento de secciones transversales o superficies con oro o carbono para mejorar la conductividad.

Informes : Composición de fases (por ejemplo, WC, Co), distribución de grietas y óxidos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Condiciones de prueba

Ambiente : Temperatura 20 ± 5 ° C, humedad < 60 %, evitar el polvo y las vibraciones.

Calibración de equipos : Todos los instrumentos de prueba se calibran anualmente de acuerdo con la norma ISO/IEC 17025.

Cantidad de muestra : al menos 3 muestras por lote, pruebas representativas.

6. Informe de prueba

El informe de prueba debe incluir lo siguiente:

Información del material de recubrimiento y del sustrato (composición química, espesor).

Método y condiciones de prueba (número de norma, modelo del equipo).

Resultados de medición (espesor, resistencia de unión, dureza, porosidad, rugosidad).

Resultados del análisis microestructural (fotografías, composición de fases).

Análisis de sesgo e incertidumbre.

Fecha de prueba y firma del operador.

7. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Adecuado para recubrimientos por pulverización térmica en los sectores industrial, aeroespacial y energético.

Limitaciones : No apto para recubrimientos ultrafinos de < 0,1 mm de espesor.

No existe ninguna normativa sobre la prueba de tensión residual en el interior del recubrimiento, por lo que conviene consultar otras normas (como la ISO 13703).

8. Apéndice (referencia)

Apéndice A : Aumento recomendado del microscopio y selección del campo de visión.

Apéndice B: Guía para la selección de adhesivos en pruebas de resistencia de unión (se recomienda resina epoxi, resistencia ≥ 70 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ISO 14919:2015

Cuerda para pulverización de llama y arco

- Clasificación - Condiciones técnicas de entrega

1. Alcance

Esta Norma Internacional especifica la clasificación, las condiciones técnicas de suministro y los requisitos de aceptación de alambres, varillas y cuerdas para proyección a la llama y proyección al arco.

Clientes objetivo

Incluye alambres de metal, de aleación y compuestos (como compuestos a base de zinc, aluminio y carburo cementado) utilizados para pulverización térmica para preparar recubrimientos resistentes al desgaste y a la corrosión.

No incluido

No se trata de materiales en polvo (como por ejemplo polvo de carburo cementado WC-Co) ni de materiales que no se utilicen para pulverización térmica.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

ISO 544:2017 - Metales de aportación para soldadura — Condiciones técnicas de suministro — Tipos de productos, dimensiones, tolerancias y marcado.

ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de calidad — Requisitos.

ISO 10204:2017 - Productos metálicos — Tipos de documentos de inspección.

ISO 14918:2018 - Proyección térmica — Documentación de inspección y pruebas de aceptación.

Nota : Si hay una revisión, se aplica la última versión.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Alambre : Material delgado, continuo, de metal o aleación, utilizado para pulverización térmica, generalmente con un diámetro de 1,0 a 4,0 mm.

Varilla : Material de varilla de metal o cerámica rígido utilizado para pulverización térmica, normalmente de entre 300 y 1000 mm de longitud.

Cordón : Está formado por múltiples hebras de alambre o fibra trenzadas entre sí y contiene materiales pulverizados térmicamente (como partículas de cerámica).

Pulverización con llama : proceso en el que se quema un gas combustible (como acetileno) con oxígeno para fundir el material en aerosol y rociarlo sobre la superficie del sustrato.

Proyección por arco : proceso en el que se utiliza un arco eléctrico entre dos alambres para calentar el material, fundirlo y rociarlo sobre la superficie del sustrato.

4. Clasificación

4.1 Clasificación por tipo de material

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Metales puros :

Zinc (Zn): pureza $\geq 99,9\%$.

Aluminio (Al): pureza $\geq 99,5\%$.

aleación :

Aleación de zinc-aluminio (Zn-Al): como Zn85Al15.

Aleación de cobre y zinc (Cu-Zn): como Cu70Zn30.

Aleación a base de níquel (Ni-Cr): como Ni80Cr20.

Materiales compuestos :

Cuerda compuesta de metal y cerámica: como Ni-Al₂O₃ .

Materiales compuestos a base de carburo cementado: como el alambre compuesto WC-Co (Co 5-15 % en peso) .

4.2 Clasificación por forma

Alambre : 1,0-4,0 mm de diámetro, en bobinas o líneas rectas.

Varillas : diámetro 3,0-8,0 mm, longitud 300-1000 mm.

Material de la cuerda : 2,0-6,0 mm de diámetro, que contiene partículas de cerámica o metal.

5. Condiciones técnicas de suministro

5.1 Composición química

Requisitos : La composición química deberá cumplir con la clasificación del material con las siguientes desviaciones:

Elementos principales (como Zn, Al): $\pm 0,5\%$.

Elementos de aleación (como Cr, Co): $\pm 1,0\%$.

Impurezas (como O, S): total $< 0,5\%$.

Método de prueba : Análisis espectroscópico (ICP-OES) o titulación química.

5.2 Dimensiones y tolerancias

Diámetro del alambre : 1,0-4,0 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm.

Diámetro de la varilla : 3,0-8,0 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.

Diámetro de la cuerda : 2,0-6,0 mm, tolerancia $\pm 0,2$ mm.

Tolerancia de longitud (barra): ± 5 mm.

5.3 Calidad de la superficie

Requisitos : La superficie debe estar libre de grietas, incrustaciones de óxido, manchas de aceite u otros defectos.

Método de inspección : Inspección visual o microscopio (aumento de 10 veces).

5.4 Propiedades físicas

Resistencia a la tracción (alambre): ≥ 200 MPa.

Alargamiento (alambre): $\geq 5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Método de prueba : La prueba de tracción se llevó a cabo de acuerdo con la norma ISO 6892-1.

5.5 Embalaje y almacenamiento

Embalaje : Bobinas de alambre (5-50 kg por bobina), haces de varillas y cuerdas, embalaje a prueba de humedad.

Almacenamiento : Almacenar en un ambiente seco y ventilado con una temperatura $<40^{\circ}\text{C}$ y una humedad $<60\%$ para evitar la corrosión.

6. Inspección y aceptación

Documentos de inspección : Proporcionar informes de inspección de clase 2.1 o clase 2.2 de acuerdo con la norma ISO 10204.

Criterios de aceptación :

La composición química, las dimensiones y la calidad de la superficie deberán cumplir con los requisitos de las Secciones 5.1 a 5.3.

Las propiedades físicas cumplen los requisitos de la Sección 5.4.

Muestreo : se toman de 3 a 5 muestras de cada lote para realizar pruebas.

7. Métodos de prueba

Composición química : análisis espectroscópico (ICP-OES) o titulación química.

Tamaño : Medir con un calibrador vernier o micrómetro.

Calidad de la superficie : inspección visual o inspección microscópica.

Propiedades físicas : Ensayo de tracción (ISO 6892-1).

8. Marcado

Contenido : Cada lote de materiales deberá estar marcado con la siguiente información:

Nombre del material (como Zn99.9, WC-Co).

Especificaciones (diámetro, longitud).

Número de lote y fecha de producción.

Nombre o marca registrada del fabricante.

Método : La marca se adhiere al embalaje o a la etiqueta para garantizar que sea claramente legible.

9. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Adecuado para procesos de pulverización por llama y por arco para preparar recubrimientos resistentes a la corrosión y al desgaste.

Límite :

No apto para pulverizar materiales en polvo (como polvo WC-Co).

No se especifica el rendimiento de los recubrimientos de alta temperatura ($>800^{\circ}\text{C}$) y es necesario consultar otras normas (como ISO 14923).

10. Apéndice (referencia)

Apéndice A : Diámetros de alambre recomendados y parámetros del proceso de pulverización.

Ejemplo: alambre de Zn (2,0 mm de diámetro), distancia de pulverización de llama de 100 a 150

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm, caudal de oxígeno de 30 a 50 L/min.

Apéndice B : Tabla de composición química de materiales típicos.

Ejemplo: Zn85Al15 (Zn 84,5-85,5%, Al 14,5-15,5%, impurezas <0,5%).

apéndice:

ASTM C633-13(2017)

Método de prueba estándar para la adhesión o resistencia cohesiva de recubrimientos por pulverización térmica

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica un método de ensayo para determinar la adhesión o la resistencia cohesiva de los recubrimientos por pulverización térmica mediante ensayos de tracción. Es aplicable a recubrimientos metálicos, cerámicos y compuestos.

Clientes objetivo

Incluidos los recubrimientos de carburo cementado (como WC-Co, Cr₃C₂- NiCr) , utilizados en pulverización con llama, pulverización con arco, pulverización de plasma (como APS, VPS), HVOF, DGS y otros procesos.

Objetivo de medición :

Adhesión: La fuerza de unión entre el recubrimiento y el sustrato, medida en MPa.

Fuerza cohesiva: La fuerza de unión dentro del recubrimiento, medida en MPa.

1.2 Este método no es aplicable a recubrimientos ultrafinos con un espesor inferior a 0,1 mm.

1.3 Esta norma no cubre los procesos de preparación de recubrimientos, solo los métodos de prueba.

1.4 Los valores se expresan en unidades métricas (MPa). Las unidades imperiales (psi) entre paréntesis son solo de referencia.

2. Referencias

Esta norma hace referencia a los siguientes documentos:

ASTM E4-16 : Práctica estándar para calibración de fuerza de máquinas de prueba de tracción.

ASTM E6-15 : Terminología de pruebas mecánicas.

ASTM E177-14 : Terminología para precisión y sesgo en datos de ingeniería.

ASTM E691-16 : Comparación y evaluación de la precisión entre métodos de prueba.

3. Términos y definiciones

Resistencia de adhesión : La tensión de tracción necesaria para la separación entre el recubrimiento y la interfaz del sustrato, medida en MPa.

Resistencia a la cohesión : La tensión de tracción necesaria para la separación de partículas dentro del recubrimiento, medida en MPa.

Recubrimiento por pulverización térmica : recubrimiento depositado sobre la superficie del sustrato mediante un proceso de pulverización térmica (como APS, HVOF).

Modo de fallo :

Fallo de adhesión: Fractura en la interfaz entre el recubrimiento y el sustrato.

Falla cohesiva: Fractura dentro del recubrimiento.

Fallo mixto: Una combinación de fallo adhesivo y cohesivo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4. Importancia y uso

Este método de prueba se utiliza para evaluar la calidad de adhesión de los recubrimientos por pulverización térmica y es adecuado para el control de calidad, el desarrollo de materiales y la verificación del rendimiento.

Aplicaciones típicas: industria aeroespacial (recubrimientos de álabes de turbinas), equipos industriales (recubrimientos resistentes al desgaste) e industria energética (recubrimientos de equipos de perforación).

Ejemplo: la resistencia de unión del revestimiento WC-Co (HVOF) suele ser de 50 a 80 MPa, el revestimiento VPS puede alcanzar los 60 a 90 MPa.

5. Equipo de prueba

Máquina de ensayo de tracción :

Cumple con los requisitos ASTM E4, precisión de calibración de fuerza $\pm 1\%$.

Velocidad de carga: 0,015-0,025 mm/s (0,6-1,0 mm/min).

Accesorio :

Accesorio cilíndrico de 25,4 mm (1,0 in) de diámetro, con error de alineación $< 0,05$ mm en ambos extremos.

Material de la abrazadera: acero de alta resistencia, dureza $\geq$ HRC 40.

Adhesivo :

Resina epoxi de alta resistencia (como FM 1000), resistencia ≥ 70 MPa.

Condiciones de curado: según lo recomendado por el fabricante (por ejemplo, 150 °C, 2 horas).

6. Preparación de la muestra

Tamaño de la muestra :

Muestras cilíndricas, 25,4 mm (1,0 in) de diámetro, espesor del sustrato ≥ 5 mm.

Espesor del recubrimiento: 0,1-1,0 mm (dependiendo del proceso).

Sustrato :

Material: Generalmente acero, acero inoxidable o aluminio, superficie rugosa mediante chorro de arena (Ra 3-5 μ m) .

Preparación del recubrimiento :

Pulverización mediante procesos de producción reales (por ejemplo, HVOF, APS).

del recubrimiento debe ser plana, con una rugosidad de Ra 5-15 μ m .

Unión :

Una la muestra recubierta a otro soporte cilíndrico del mismo tamaño.

Espesor del adhesivo: 0,05-0,2 mm, aplicar uniformemente y evitar burbujas.

Cantidad : Al menos 5 especímenes por grupo, prueba representativa.

7. Procedimiento experimental

Calibración : Calibración de fuerza de la máquina de prueba , precisión $\pm 1\%$.

Instalación : Sujete la muestra en el soporte de la máquina de prueba, asegurando un error de alineación de $< 0,05$ mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Carga : Aplicar carga de tracción a una velocidad de 0,015-0,025 mm/s hasta que la muestra falle.

Registro :

Fuerza de tracción máxima, en N (o lb) .

Modo de falla (adhesivo, cohesivo o mixto).

calcular :

Resistencia de unión (MPa) = fuerza de tracción máxima (N) / área de la sección transversal de la muestra (mm²) .

Área de sección transversal: 502,7 mm² (diámetro 25,4 mm).

8. Condiciones de prueba

Ambiente : temperatura 23±2°C, humedad 50±10%, sin vibraciones ni gases corrosivos.

Equipo : La máquina de prueba debe estar protegida contra sobrecalentamiento o sobrecarga.

9. Informe de resultados

Contenido del informe :

Información sobre el material de recubrimiento y el sustrato (por ejemplo, WC-12Co, sustrato de acero).

Espesor del recubrimiento (μm) y proceso de preparación (HVOF, APS, etc.).

Tipo de adhesivo y condiciones de curado.

Valores medios de resistencia de unión (MPa), incluida la desviación estándar.

Modo de falla (adhesivo, cohesivo o mixto), con fotografías.

Fecha de prueba, número de operador y equipo.

Ejemplo : revestimiento WC-Co (HVOF), resistencia de unión 65 ± 5 MPa, el modo de falla es falla mixta.

10. Precisión y sesgo

Precisión :

Repetibilidad intralaboratorio: desviación estándar <5%.

Reproducibilidad interlaboratorio: desviación estándar <10%.

desviación :

Posibles fuentes: errores de alineación de la muestra, resistencia adhesiva insuficiente, defectos de recubrimiento.

Medidas de control: Seguir estrictamente los procedimientos de prueba y verificar la calidad de las muestras.

11. Apéndice (referencia)

Apéndice X 1 : Guía de selección de adhesivos.

Recomendado: Resina epoxi FM 1000, resistencia ≥ 70 MPa.

Apéndice X 2 : Ejemplo de análisis del modo de falla.

Ejemplos: Falla adhesiva (desprendimiento interfacial), falla cohesiva (fractura dentro del recubrimiento).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12. Palabras clave

Recubrimientos por pulverización térmica, adhesión, resistencia cohesiva, ensayos de tracción, resistencia de unión.

apéndice:

ASTM E2109-01(2014)

Método de prueba estándar para el porcentaje de porosidad aparente de recubrimientos por pulverización térmica

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica un método de ensayo para determinar el porcentaje de porosidad aparente de los recubrimientos por pulverización térmica mediante análisis microscópico. Es aplicable a recubrimientos metálicos, cerámicos y compuestos.

Objetos aplicables : incluidos recubrimientos de carburo cementado (como WC-Co, Cr₃C₂- NiCr), utilizados en pulverización de plasma (APS, VPS), HVOF, DGS y otros procesos.

Objetivo de medición :

Porosidad aparente: Porcentaje del área de poros en la sección transversal del recubrimiento con respecto al área total, expresado en %.

1.2 Este método es aplicable a recubrimientos con un espesor de $\geq 0,05$ mm.

1.3 Esta norma no aborda las causas de la porosidad ni el proceso de preparación del recubrimiento, solo el método de prueba.

1.4 Los valores se expresan en unidades métricas (%). Las unidades imperiales entre paréntesis son solo de referencia.

2. Referencias

Esta norma hace referencia a los siguientes documentos:

ASTM E3-11 : Práctica estándar para la preparación de muestras de microestructura de materiales metálicos.

ASTM E7- 17 : Terminología para el análisis microestructural de materiales metálicos.

ASTM E1245-03(2016) : Práctica estándar para determinar la cantidad de inclusiones o segundas fases en materiales mediante análisis de imágenes.

ASTM E177-14 : Terminología para precisión y sesgo en datos de ingeniería.

3. Términos y definiciones

Porosidad aparente : el porcentaje del área de poros en la sección transversal del recubrimiento con respecto al área total, medida mediante análisis de imágenes microscópicas, en %.

Recubrimiento por pulverización térmica : recubrimiento depositado sobre la superficie del sustrato mediante un proceso de pulverización térmica (como APS, HVOF).

Porosidad : Pequeños huecos dentro de un revestimiento o en una interfaz que pueden ser causados por partículas no fundidas , atrapamiento de gas o contracción al enfriarse.

Campo de visión : El área observada por un microscopio, generalmente rectangular o circular.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4. Importancia y uso

Este método de prueba se utiliza para evaluar la porosidad de los recubrimientos por pulverización térmica, lo que afecta la resistencia a la corrosión, la resistencia al desgaste y la fuerza de adhesión del recubrimiento.

Aplicaciones típicas:

Aeroespacial (recubrimientos de álabes de turbinas): porosidad < 1% (VPS).

Equipos industriales (recubrimiento resistente al desgaste): porosidad < 2% (HVOF).

Industria energética (recubrimiento de equipos de perforación): porosidad < 5% (APS).

Ejemplo: la porosidad del revestimiento WC-Co (HVOF) suele ser del 0,5 al 2 %, mientras que la del revestimiento VPS puede ser < 1 %.

5. Equipo de prueba

Microscopio óptico :

Ampliación: 100-1000 veces, se recomienda 200-500 veces.

Resolución: Puede distinguir tamaños de poro $\geq 1 \mu\text{m}$.

Microscopio electrónico de barrido (SEM) (opcional):

Se utiliza para análisis de alta precisión, con un aumento de 500 a 2000 veces.

Software de análisis de imágenes :

Cumple con los requisitos de ASTM E1245 y puede identificar y calcular automáticamente el área de poros.

Equipo de corte :

Máquina de corte de precisión para garantizar una sección transversal lisa.

Equipos de esmerilado y pulido :

Papel de lija (grano 240-1200) y paño de pulido, utilizando óxido de aluminio o suspensión de diamante.

6. Preparación de la muestra

Tamaño de la muestra :

Dimensiones de la sección transversal: al menos $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, espesor del revestimiento $\geq 0,05 \text{ mm}$.

Corte :

Utilice un cortador de precisión de baja velocidad y refrigerante (como agua) para evitar el sobrecalentamiento.

mosaico :

Las muestras se montaron en resina epoxi para asegurar una sección transversal estable.

Esmerilado y pulido :

Esmerilado: Utilizar papel de lija nº 240, 400, 800, 1200 para reducir gradualmente los rayones.

Pulido: Utilice una suspensión de diamante de $1 \mu\text{m}$ y un paño de pulido a una velocidad de 150-200 rpm.

Requisitos de la superficie: sin rayones, poros claramente visibles.

limpio :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lavar con etanol, limpiar ultrasónicamente durante 5 minutos y secar.

Cantidad : Al menos 3 especímenes por grupo, prueba representativa.

7. Procedimiento experimental

Calibración : Calibración de aumento de microscopio, precisión $\pm 2\%$.

Selección del campo de visión :

Se seleccionaron aleatoriamente de 5 a 10 campos de visión para cubrir diferentes áreas de la sección transversal del revestimiento.

Área de cada campo de visión: al menos $0,01 \text{ mm}^2$ (aumento de 200x).

Adquisición de imágenes :

Tome imágenes utilizando un microscopio óptico o SEM para garantizar un alto contraste de poros.

Los poros aparecen oscuros y la matriz de recubrimiento aparece clara.

Análisis de imágenes :

La porosidad se identificó utilizando un software de análisis de imágenes (compatible con ASTM E1245).

Establecer umbral: excluir ruido según el valor de gris de poro.

calcular :

Porosidad aparente (%) = (área total de poros/campo de visión total) $\times 100$.

Se calcularon la media y la desviación estándar para 5-10 campos.

8. Condiciones de prueba

Ambiente : Temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad $50 \pm 10\%$, sin vibraciones ni polvo.

Iluminación : utilice iluminación de campo claro o de campo oscuro en el microscopio para asegurarse de que los poros estén limpios.

Equipo : Lente del microscopio limpia para evitar artefactos.

9. Informe de resultados

Contenido del informe :

Información sobre el material de recubrimiento y el sustrato (por ejemplo, WC-12Co, sustrato de acero).

Espesor de recubrimiento y proceso de preparación (HVOF, APS, etc.).

Aumento del microscopio y número de campos de visión.

Porosidad aparente promedio (%) incluida la desviación estándar.

Descripción de la distribución de poros (homogeneidad, rango de tamaño), con imagen.

Fecha de prueba, número de operador y equipo.

Ejemplo : recubrimiento WC-Co (HVOF), porosidad $1,2 \pm 0,3 \%$, distribución uniforme de poros, tamaño máximo de poro $< 5 \mu\text{m}$.

10. Precisión y sesgo

Precisión :

Repetibilidad intralaboratorio: desviación estándar $< 0,5\%$.

Reproducibilidad interlaboratorio: desviación estándar $< 1,0\%$.

desviación :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Posibles fuentes: pulido insuficiente de la muestra, configuración incorrecta del umbral de imagen y selección sesgada del campo de visión.

Medidas de control: Siga estrictamente los procedimientos de preparación y análisis de muestras y aumente el número de campos de visión.

11. Apéndice (referencia)

Apéndice X 1 : Guía de selección de aumento del microscopio.

Recomendado: espesor de recubrimiento 0,1-0,5 mm, uso 200-500 veces.

Apéndice X 2 : Recomendaciones de configuración del software de análisis de imágenes.

Ejemplo: rango de configuración del umbral de escala de grises (0-255), umbral de identificación de poros <50.

12. Palabras clave

Recubrimientos por pulverización térmica, porosidad superficial, análisis microscópico, análisis de imágenes, distribución de poros.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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:

EN 657:2005

Proyección térmica: terminología y clasificación

1. Alcance

1.1 Esta norma europea define los términos y clasificaciones relacionados con la tecnología de proyección térmica y es aplicable a diversos procesos de proyección térmica (por ejemplo, proyección a la llama, proyección por arco, proyección de plasma, etc.).

Objetos aplicables : incluidos, entre otros, recubrimientos metálicos (como zinc, aluminio), recubrimientos cerámicos (como alúmina, óxido de circonio) y recubrimientos compuestos (como carburo cementado WC-Co).

Objetivo : Proporcionar una terminología unificada para facilitar la comunicación técnica, el establecimiento de normas y la descripción de productos.

1.2 Esta norma no aborda parámetros de proceso específicos ni requisitos de desempeño y se limita a la terminología y clasificación.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

EN 13507:2018 - Proyección térmica. Preparación de superficies de piezas metálicas.

EN 13204:2017 - Proyección térmica — Polvos — Composiciones, condiciones técnicas de suministro.

ISO 14918:1998 - Proyección térmica. Documentación de inspección y pruebas de aceptación.

Nota : Si hay una revisión, se aplica la última versión.

3. Términos y definiciones

Esta norma define los siguientes términos relacionados con la proyección térmica, organizados por clasificación de proceso y características técnicas:

3.1 Proceso de pulverización térmica

Proyección térmica :

Un proceso de recubrimiento se forma calentando el material a un estado fundido o semifundido y rociándolo sobre la superficie del sustrato a alta velocidad.

Proyección de llama :

Un proceso que utiliza gas combustible (como acetileno, propano) para quemar con oxígeno y producir un flujo de llama para fundir y rociar el material.

Pulverización por arco :

Un proceso en el que se genera un arco eléctrico entre dos cables conductores para calentar el material y se utiliza aire comprimido para expulsar las partículas fundidas.

Pulverización de plasma :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Un proceso que utiliza un arco de plasma (temperatura 10.000-15.000 °C) para fundir y rociar el material, incluida la pulverización de plasma atmosférico (APS) y la pulverización de plasma al vacío (VPS).

Pulverización de oxígeno y combustible a alta velocidad (HVOF) :

Un proceso en el que se produce una llama supersónica (500-1000 m/s) al quemar combustible (como queroseno) con oxígeno.

Pulverización con pistola de detonación (DGS) :

Un proceso en el que se produce una onda de choque de alta presión mediante una explosión controlada (oxígeno mezclado con acetileno) para pulverizar.

3.2 Materiales y recubrimientos

Material de pulverización :

Polvos, alambres, varillas o cuerdas para proyección térmica de materiales como metales, aleaciones, cerámicas o composites.

Recubrimiento :

La estructura en capas que se forma en la superficie del sustrato durante la pulverización térmica.

Capa de unión :

el recubrimiento y el sustrato que mejora la adhesión, generalmente un metal (como Ni-Cr, Ni-Al).

Recubrimiento de cermet :

Un recubrimiento compuesto formado por carburos (como WC, Cr_3C_2) y fases de unión de metales (como Co, Ni).

Salpicadura :

La estructura plana formada por el enfriamiento rápido de las partículas fundidas o semifundidas después del impacto contra el sustrato es la unidad básica del recubrimiento.

3.3 Parámetros y rendimiento del proceso

Distancia de pulverización :

La distancia desde la boquilla de la pistola pulverizadora hasta la superficie del sustrato se mide en mm, normalmente entre 100 y 200 mm.

Velocidad de alimentación :

La cantidad de polvo suministrada por unidad de tiempo, en g/min.

Fuerza de unión :

La adhesión entre el recubrimiento y el sustrato o dentro del recubrimiento, medida en MPa.

Porosidad :

El porcentaje del volumen de poros del recubrimiento respecto del volumen total, expresado en %, afecta la resistencia a la corrosión y al desgaste.

Rugosidad de la superficie

del recubrimiento generalmente se expresa como Ra (rugosidad media aritmética) en μm .

3.4 Defectos y fallas

Grieta :

Las grietas dentro de un revestimiento o en una interfaz pueden ser causadas por estrés térmico o

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mecánico.

Delaminación :

El fenómeno del desprendimiento del revestimiento del sustrato o de las capas internas.

Inclusión de óxido :

Partículas de óxido formadas en el recubrimiento debido a la reacción de oxidación.

4. Clasificación

4.1 Clasificación por proceso

Proyección térmica de gas :

Incluye pulverización de llama, pulverización de arco y HVOF.

Proyección térmica de plasma :

Incluyendo APS y VPS.

Proyección térmica explosiva :

Incluido DGS.

4.2 Clasificación por material

Recubrimientos metálicos :

Como aleaciones a base de zinc, aluminio y níquel .

Recubrimientos cerámicos :

Como por ejemplo Al_2O_3 , ZrO_2 .

Recubrimientos compuestos :

Como por ejemplo WC-Co, Cr_3C_2 - NiCr .

4.3 Clasificación por aplicación

Recubrimientos protectores :

Se utiliza para resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste o resistencia a altas temperaturas, como el revestimiento de tuberías industriales.

Recubrimientos funcionales :

Se utiliza para funciones específicas como recubrimientos conductores o aislantes.

Recubrimientos de reparación :

Se utiliza para reparar piezas desgastadas o corroídas, como la reparación de moldes.

5. Apéndice (referencia)

Apéndice A : Diagrama esquemático del proceso de pulverización térmica.

Ejemplo: Diagrama esquemático de pulverización de llama, que muestra el flujo de la llama, la boquilla y la posición del sustrato.

Apéndice B : Tabla de comparación de terminología para materiales de recubrimiento comunes.

Ejemplos: WC-Co (aleación dura), NiCr (aleación de níquel-cromo).

6. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Documentación técnica, desarrollo de normas y capacitación para la industria de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proyección térmica.

límite :

No incluye parámetros de proceso específicos ni métodos de prueba de rendimiento y se requiere referencia a otras normas (como EN 13507, ISO 14923).

No apto para procesos de pulverización no térmica como la pulverización en frío.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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:

EN 13507:2018

Proyección térmica: preparación de superficies de piezas y componentes metálicos

1. Alcance

1.1 Esta norma europea especifica los requisitos, métodos y criterios de aceptación para la preparación de la superficie de piezas y conjuntos metálicos antes de la proyección térmica.

Objetos aplicables : incluye, entre otros, piezas de acero, acero inoxidable, aleación de aluminio y aleación de titanio, adecuadas para recubrimientos por pulverización térmica posteriores (como WC-Co, Cr₃C₂- NiCr) .

Objetivo : Garantizar la limpieza y rugosidad de la superficie y mejorar la adhesión del recubrimiento al sustrato.

1.2 Esta norma se aplica a los procesos de pulverización por llama, pulverización por arco, pulverización por plasma (APS, VPS), HVOF y DGS. 1.3 Esta norma no cubre el pretratamiento de sustratos no metálicos ni los procesos de preparación de recubrimientos.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

EN 657:2005 - Proyección térmica — Terminología y clasificación.

EN 1011-1:2009 - Soldadura — Soldadura por fusión de aceros — Parte 1: Guía general sobre materiales y procedimientos.

EN ISO 8501-1:2007 - Preparación de la superficie del acero. Evaluación visual de los niveles de óxido y grados de preparación. Parte 1: Niveles de óxido y grados de preparación.

EN ISO 2063:2005 - Proyección térmica — Recubrimientos metálicos e inorgánicos — Zinc, aluminio y sus aleaciones.

Nota : Si hay una revisión, se aplica la última versión.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a EN 657:2005:

Preparación de la superficie : proceso de eliminación de la contaminación de la superficie y mejora de la adhesión del revestimiento mediante limpieza, raspado o tratamiento.

Rugosidad : La irregularidad microscópica de la superficie, generalmente expresada como Ra (rugosidad media aritmética), con la unidad de μm .

Granallado : proceso que utiliza aire a alta presión o pulverización con ruedas de partículas duras (como arena y granalla de acero) para hacer más rugosa la superficie.

Limpieza : Grado en el que una superficie está libre de aceite, óxido y óxidos, generalmente clasificado según la norma EN ISO 8501-1.

4. Requisitos

4.1 Limpieza de la superficie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Objetivo : Eliminar grasa, óxido, cascarilla de laminación, escoria de soldadura y contaminantes.

Clasificación :

Acero: EN ISO 8501-1 Sa 2 ½ (cerca de blanco) , libre de aceite y óxido visibles.

de aluminio : EN ISO 8501-1 Sa 2 (completamente libre de óxido), libre de partículas sueltas.

Método de inspección : inspección visual o lupa (aumento de 5 a 10 veces).

4.2 Rugosidad de la superficie

alcance :

Se recomienda Ra 3-5 μm (rugosidad natural después del arenado).

μm (a convenir) según tipo de recubrimiento.

Método de medición : utilice un perfilador de superficie de aguja (consulte EN ISO 4287) con una longitud de muestreo de 2,5 mm.

Tolerancia : Desviación Ra $\pm 1 \mu\text{m}$.

4.3 Control de tensiones residuales

Requisitos : Después del pretratamiento, se debe minimizar la tensión residual superficial para evitar grietas.

Método : Controle la presión de arenado (0,2-0,7 MPa) y el ángulo (45-90°).

4.4 Integridad del sustrato

Requisitos : El pretratamiento no debe provocar deformaciones significativas ni daños en el sustrato (como grietas o desprendimientos).

Inspección : Inspección visual o pruebas no destructivas (como la inspección de partículas magnéticas).

5. Métodos de preprocesamiento

5.1 Limpieza

Desengrasante :

Método: Limpieza con disolventes orgánicos (como tricloroetileno, etanol) o limpieza ultrasónica.

Tiempo: 5-10 minutos, asegúrese de que no haya ninguna mancha de aceite.

Eliminación de óxido :

Método: decapado (como solución de ácido clorhídrico al 10%) o limpieza mecánica (como cepillo de alambre).

Nota: Neutralizar y enjuagar después del decapado.

5.2 Chorro de arena

equipo :

Máquina de chorro de arena, presión 0,2-0,7 MPa, diámetro de boquilla 6-10 mm.

Abrasivo :

Granalla de acero: diámetro 0,3-1,0 mm, dureza $\geq$ HRC 40.

Arena: Arena de cuarzo o corindón, tamaño de partícula 0,2-0,8 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pureza: Impurezas <1%.

parámetro :

Distancia de pulverización: 100-150 mm.

Ángulo de pulverización: 45-90° (ajustable según la forma del sustrato).

Tiempo de arenado: hasta conseguir la rugosidad y limpieza especificadas.

Seguridad : Los operadores deben usar equipo de protección para evitar inhalar polvo.

5.3 Otros métodos

Rugosidad mecánica :

Utilice una muela abrasiva o amoladora adecuada para el área local, con una rugosidad Ra 3-5 μm .

Tratamiento térmico :

Precalentar el sustrato a 50-150°C para mejorar la adhesión y evitar la condensación.

6. Inspección y aceptación

Método de inspección :

Limpieza : Clasificación visual según EN ISO 8501-1.

Rugosidad : medida con perfilómetro de aguja, tomándose el valor medio de 5 puntos.

Integridad de la superficie : pruebas visuales o no destructivas.

Criterios de aceptación :

Nivel de limpieza Sa 2 ½ (acero) o Sa 2 (aluminio).

La rugosidad está dentro del rango especificado (Ra 3-5 μm) .

No hay daños ni contaminación evidentes.

Registros : parámetros del proceso de pretratamiento, resultados de inspección y fechas.

7. Condiciones de prueba

Ambiente : Temperatura 15-30°C, humedad <70%, sin polvo ni gases corrosivos.

Equipo : Las máquinas de chorro de arena y las herramientas de medición deben calibrarse periódicamente (precisión $\pm 5\%$).

8. Informe de resultados

Contenido del informe :

Material del sustrato e información de la pieza (acero, acero inoxidable, etc.).

Métodos de pretratamiento (chorro de arena, desengrasado, etc.).

Parámetros del proceso (presión, distancia, tipo de abrasivo).

Clasificación de limpieza y medición de rugosidad (Ra).

Resultados de la inspección de integridad de la superficie.

Fecha de prueba, número de operador y equipo.

Ejemplo : Sustrato de acero, arenado (granalla de acero 0,5 mm, 0,5 MPa, 150 mm), Ra 4,2 μm ,
limpieza Sa 2 ½.

9. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Adecuado para piezas y componentes metálicos antes de la pulverización térmica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para mejorar la adhesión del revestimiento.

límite :

No apto para sustratos no metálicos (por ejemplo, cerámica, polímeros).

No se especifica el rendimiento de los recubrimientos posteriores y se hace referencia a la norma EN 657 o ISO 14923.

10. Apéndice (referencia)

Apéndice A : Tabla de parámetros de arenado recomendados.

Ejemplo: Sustrato de acero, presión 0,5 MPa, distancia 120 mm, granalla de acero 0,5 mm, Ra 4-6 μm .

Apéndice B : Fotos de ejemplo de calificación de limpieza (estándar Sa 2 ½).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apéndice : .

GB/T 18719-2002 Polvo de pulverización térmica

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica la clasificación, los requisitos técnicos, los métodos de ensayo y las reglas de inspección de los polvos utilizados en los procesos de pulverización térmica.

Objetos aplicables : incluidos polvos metálicos (como zinc, aluminio), polvos cerámicos (como alúmina, óxido de circonio) y polvos compuestos (como carburo cementado WC-Co).

Objetivo : Asegurar que la composición química, la distribución del tamaño de partícula y la morfología del polvo cumplan con los requisitos del proceso de pulverización térmica.

1.2 Esta norma se aplica a procesos como pulverización con llama, pulverización con arco, pulverización de plasma (APS, VPS), HVOF y DGS.

1.3 Esta norma no aborda el proceso de preparación del polvo ni las propiedades del recubrimiento, sino que se centra únicamente en el polvo en sí.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

GB/T 5314-2002 - Método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos.

GB/T 13320-1991 - Terminología de la pulvimetalurgia.

GB/T 1479.1-1993 - Método de determinación del tamaño de partículas de polvo metálico - Método de tamizado.

GB/T 1482-2010 - Métodos de muestreo y métodos de análisis químico para polvos metálicos.

Nota : Si hay una revisión, se aplica la última versión.

3. Términos y definiciones

Esta norma adopta los siguientes términos y definiciones, con referencia a GB/T 13320-1991:

Polvo de pulverización térmica : material granular utilizado en el proceso de pulverización térmica, que puede ser de metal, aleación, cerámica o material compuesto.

Tamaño de partícula : el tamaño lineal máximo de las partículas de polvo, en μm .

Distribución del tamaño de partículas : la distribución porcentual de partículas de polvo según el rango de tamaño.

Fluidez : Las características de flujo del polvo durante el proceso de alimentación de polvo, la unidad es s/50g.

Densidad aparente : La masa de un polvo por unidad de volumen, expresada en g/cm^3 .

4. Clasificación

4.1 Clasificación por tipo de material

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Polvo metálico :

Como el zinc (Zn), el aluminio (Al), el níquel (Ni) y el cobre (Cu).

Polvo cerámico :

óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de circonio (ZrO_2).

Polvo compuesto :

Como por ejemplo WC-Co (carburo cementado de tungsteno y cobalto), Cr_3C_2 -NiCr (carburo de cromo, níquel-cromo).

4.2 Clasificación por morfología

Polvo esférico : Las partículas son aproximadamente esféricas y tienen buena fluidez.

Polvo irregular : forma de partícula irregular, adecuada para procesos específicos.

Polvo hueco : partículas con huecos en su interior para reducir la densidad.

5. Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Requerir :

La desviación del contenido de los elementos principales es de $\pm 0,5\%$ (como WC, Co).

Contenido total de impurezas $< 1\%$ (oxígeno $< 0,5\%$, azufre $< 0,1\%$).

Método de prueba : Método de análisis químico o método de análisis espectral especificado en GB/T 1482.

5.2 Distribución del tamaño de partículas

alcance :

Rango común: $10-75 \mu\text{m}$.

Proceso específico:

APS/VPS: $10-50 \mu\text{m}$.

HVOF: $10-45 \mu\text{m}$.

DGS: $10-50 \mu\text{m}$.

tolerancia :

El 90% de las partículas están dentro del rango especificado.

$< 5\%$ de las partículas exceden el límite superior de tamaño de partícula.

Método de prueba : método de detección GB/T 1479.1 o método de análisis del tamaño de partículas por láser.

5.3 Liquidez

Requerir :

Polvo esférico: $\leq 20 \text{ s/50g}$.

Polvo irregular: $\leq 30 \text{ s/50g}$.

Método de prueba : utilice un caudalímetro Hall y mida de acuerdo con el Apéndice de GB/T 1479.1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4 Densidad aparente

Requerir :

Polvo esférico: 2,0-5,0 g/cm³ (dependiendo del material).

Polvo irregular: 1,5-4,0 g/cm³.

Método de prueba : Método de determinación de densidad aparente especificado en GB/T 1479.1.

5.5 Microestructura

Requerir :

No hay oxidación o contaminación grave en la superficie de las partículas.

El espesor de la pared de polvo hueco es uniforme y no se forman grietas.

Método de inspección : microscopía óptica (aumento 100-500 veces) o microscopía electrónica de barrido (SEM).

6. Métodos de prueba

6.1 Muestreo

Método : Muestreo estratificado o muestreo mecánico según se especifica en GB/T 1482.

Cantidad : El volumen de muestreo de cada lote es ≥ 200 g, muestras representativas.

6.2 Análisis de la composición química

Método : Análisis espectroscópico o método de titulación química especificado en GB/T 1482.

Precisión : Error del elemento principal $\pm 0,2\%$, error de impureza $\pm 0,05\%$.

6.3 Determinación del tamaño de partículas

Método : método de tamizado GB/T 1479.1 (tamices estándar: 45, 63, 75 μm) o analizador de tamaño de partículas láser.

Repetibilidad : 3 mediciones, desviación $< 5\%$.

6.4 Determinación de la fluidez

Método : GB/T 1479.1 Método de copa de flujo Hall, registre el tiempo que tarda 50 g de polvo en pasar a través de ella.

Repetibilidad : 3 mediciones, valor promedio.

6.5 Determinación de la densidad aparente

Método : método de taza medidora estándar GB/T 1479.1, que mide la masa de 100 cm³ de polvo.

Repetibilidad: Desviación $< 0,1$ g/ cm³ después de 3 mediciones.

6.6 Examen microestructural

Método : Microscopio óptico o SEM, aumento 100-500 veces.

Informe : Morfología de partículas, condición de la superficie y espesor de la pared del fideo hueco.

7. Reglas de inspección

Definición de lote : El mismo lote de producción, peso ≤ 500 kg.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Muestreo : se toman de 1 a 3 muestras de cada lote, ajustadas según el tamaño del lote.

Criterios de aceptación :

La composición química, la distribución del tamaño de partícula, la fluidez y la densidad aparente deberán cumplir con los requisitos de las Secciones 5.1 a 5.4.

No hay defectos evidentes en la microestructura.

Tratamiento no calificado : Las muestras no calificadas deben volver a analizarse o desecharse.

8. Marcado, embalaje y transporte

marca :

El nombre del material (por ejemplo, WC-12Co), el número de lote y la fecha de producción están marcados en el paquete.

Paquete :

Utilice bolsas de plástico selladas o latas de metal para evitar la humedad y la oxidación.

Peso por paquete: 5-25 kg.

Transporte : Evitar temperaturas elevadas ($<40^{\circ}\text{C}$) y humedad para evitar la contaminación del polvo.

9. Informe de resultados

Contenido del informe :

Información sobre material y clasificación en polvo.

Resultados del análisis de composición química.

Distribución del tamaño de partículas, fluidez y medidas de densidad aparente.

Resultados del examen microestructural (fotografías adjuntas).

Método de prueba y número de equipo.

Número de lote de producción, fecha y firma del inspector.

Ejemplo : polvo WC-12Co, tamaño de partícula 10-45 μm , fluidez 18 s/50 g, densidad aparente 4,2 g/cm^3 , sin oxidación superficial.

10. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Adecuado para la producción, inspección y uso de polvos de pulverización térmica.

límite :

No apto para uso con alambre, varilla o cuerda.

No existen regulaciones sobre el rendimiento del recubrimiento, consulte GB/T 8642 o ISO 14923.

11. Apéndice (referencia)

Apéndice A : Tabla de distribución de tamaño de partículas recomendada.

Ejemplo: polvo APS, 10-50 μm , $>90\%$ de cumplimiento.

Apéndice B : Diagrama esquemático del dispositivo de prueba de fluidez.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

GB/T 17391-2008

Método de prueba de adhesión del recubrimiento por pulverización térmica

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica métodos de prueba para determinar la adhesión de recubrimientos por pulverización térmica y es aplicable a recubrimientos de metal, cerámica y compuestos.

Objetos aplicables : incluidos recubrimientos de carburo cementado (como WC-Co, Cr₃C₂- NiCr), utilizados en procesos de pulverización de llama, pulverización de arco, pulverización de plasma (APS, VPS), HVOF y DGS.

Objetivo de medición :

Adhesión: La fuerza de unión entre el recubrimiento y el sustrato, medida en MPa.

Fuerza cohesiva: La fuerza de unión dentro del recubrimiento, medida en MPa.

1.2 Este método es aplicable a recubrimientos con un espesor de $\geq 0,1$ mm.

1.3 Esta norma no involucra procesos de preparación de recubrimientos, sino que solo proporciona métodos de prueba de adhesión.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma.

GB/T 531-1999 - Método de ensayo para dureza Vickers de materiales metálicos.

GB/T 13320-1991 - Terminología de la pulvimetalurgia.

GB/T 14623-2003 - Métodos de ensayo de tracción para materiales metálicos.

GB/T 8642-2002 - Determinación del espesor de recubrimientos de zinc, aluminio y sus aleaciones pulverizados térmicamente.

Nota : Si hay una revisión, se aplica la última versión.

3. Términos y definiciones

Esta norma adopta los siguientes términos y definiciones, con referencia a GB/T 13320-1991:

Resistencia de adhesión : La tensión de tracción necesaria para la separación entre el recubrimiento y la interfaz del sustrato, medida en MPa.

Resistencia a la cohesión : La tensión de tracción necesaria para la separación de partículas dentro del recubrimiento, medida en MPa.

Recubrimiento por pulverización térmica : Recubrimiento depositado sobre la superficie del sustrato mediante un proceso de pulverización térmica.

Modo de fallo :

Fallo de adhesión: Fractura en la interfaz entre el recubrimiento y el sustrato.

Falla cohesiva: Fractura dentro del recubrimiento.

Fallo mixto: Una combinación de fallo adhesivo y cohesivo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4. Importancia y uso

Este método de prueba se utiliza para evaluar la calidad de adhesión de los recubrimientos por pulverización térmica y es adecuado para el control de calidad, el desarrollo de materiales y la verificación del rendimiento.

Aplicaciones típicas:

Aeroespacial (recubrimiento de álabes de turbina): Adherencia del recubrimiento WC-Co 50-80 MPa.

Equipos industriales (recubrimiento resistente al desgaste): Adherencia del recubrimiento HVOF 60-90 MPa.

Industria energética (recubrimiento de equipos de perforación): Adherencia del recubrimiento Cr₃C₂- NiCr 40-70 MPa.

5. Equipo de prueba

Máquina de ensayo de tracción :

Cumple con los requisitos de GB/T 14623, precisión de calibración de fuerza $\pm 1\%$.

Velocidad de carga: 0,5-2 mm/min.

Accesorio :

Accesorio cilíndrico de 25 mm de diámetro, error de alineación $< 0,05$ mm en ambos extremos.

Material: acero de alta resistencia, dureza $\geq$ HRC 40.

Adhesivo :

Resina epoxi de alta resistencia (como FM 1000), resistencia a la tracción ≥ 70 MPa.

Condiciones de curado: según lo recomendado por el fabricante (por ejemplo, 120 °C, 1-2 horas).

6. Preparación de la muestra

Tamaño de la muestra :

Muestra cilíndrica, diámetro 25 mm, espesor del sustrato ≥ 5 mm.

Espesor del recubrimiento: 0,1-1,0 mm (dependiendo del proceso).

Sustrato :

Material: Generalmente acero, acero inoxidable o aluminio, superficie rugosa mediante chorro de arena (Ra 3-5 μ m) .

Preparación del recubrimiento :

Pulverización mediante procesos de producción reales (por ejemplo, HVOF, APS).

del recubrimiento debe ser plana, con una rugosidad de Ra 5-15 μ m .

Unión :

Una la muestra recubierta a otro soporte cilíndrico del mismo tamaño.

Espesor del adhesivo: 0,05-0,2 mm, aplicar uniformemente y evitar burbujas.

Cantidad : Al menos 5 especímenes por grupo, prueba representativa.

7. Procedimiento experimental

Calibración : Calibración de fuerza de la máquina de prueba , precisión $\pm 1\%$.

Instalación : Sujete la muestra en el soporte de la máquina de prueba, asegurando un error de alineación de $< 0,05$ mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Carga : Aplicar carga de tracción a una velocidad de 0,5-2 mm/min hasta que la muestra falle.

Registro :

Fuerza máxima de tracción, unidad: N.

Modo de fallo (adhesivo, cohesivo o mixto).

calcular :

Resistencia de adhesión o cohesión (MPa) = fuerza máxima de tracción (N) / área de la sección transversal de la muestra (mm²) .

Área de sección transversal: 490,9 mm² (diámetro 25 mm).

8. Condiciones de prueba

Ambiente : Temperatura 20±5°C, humedad <60%, sin vibraciones y gases corrosivos.

Equipo : La máquina de prueba debe estar protegida contra sobrecalentamiento o sobrecarga.

9. Informe de resultados

Contenido del informe :

Información sobre el material de recubrimiento y el sustrato (por ejemplo, WC-12Co, sustrato de acero).

Espesor del recubrimiento (μm) y proceso de preparación (HVOF, APS, etc.).

Tipo de adhesivo y condiciones de curado.

Valores medios de resistencia de adhesión o cohesión (MPa) incluida la desviación estándar.

Modo de falla (adhesivo, cohesivo o mixto), con fotografías.

Fecha de prueba, número de operador y equipo.

Ejemplo : revestimiento WC-Co (HVOF), adhesión 65 ± 5 MPa, el modo de falla es falla mixta.

10. Precisión y sesgo

Precisión :

Repetibilidad intralaboratorio: desviación estándar <5%.

Reproducibilidad interlaboratorio: desviación estándar <10%.

desviación :

Posibles fuentes: errores de alineación de la muestra, resistencia adhesiva insuficiente, defectos de recubrimiento.

Medidas de control: Seguir estrictamente los procedimientos de prueba y verificar la calidad de las muestras.

11. Apéndice (referencia)

Apéndice A : Guía de selección de adhesivos.

Recomendado: Resina epoxi FM 1000, resistencia ≥ 70 MPa.

Apéndice B : Ejemplos de análisis de modos de falla.

Ejemplos: Falla adhesiva (desprendimiento interfacial), falla cohesiva (fractura dentro del recubrimiento).

12. Aplicabilidad y limitaciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicabilidad : Adecuado para pruebas de adhesión y resistencia cohesiva de recubrimientos por pulverización térmica.

límite :

No apto para recubrimientos ultrafinos con un espesor de $< 0,1$ mm.

No existen regulaciones sobre la porosidad del recubrimiento o la resistencia al desgaste, consulte GB/T 8642 o ASTM G65.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

AMS 2437: Especificación del proceso HVOF

La norma AMS 2437 no es una especificación para el proceso HVOF (pulverización de combustible con oxígeno a alta velocidad), sino para el proceso de deposición por pulverización de plasma. A continuación, se presenta una descripción detallada de la norma AMS 2437, así como una comparación y aclaración con la especificación del proceso HVOF.

AMS 2437: Especificación del proceso de pulverización de plasma

La norma AMS 2437 es publicada por SAE International. La versión más reciente es la AMS 2437D (13/12/2019), titulada "Recubrimiento, Deposición por Pulverización de Plasma". Esta norma especifica los requisitos de ingeniería y el rendimiento del recubrimiento para la deposición de recubrimientos en piezas mediante pulverización de plasma.

1. Alcance

Objetos aplicables : Adecuado para recubrimientos de metales, cerámicas y materiales compuestos (como WC-Co, alúmina), utilizados en la industria aeroespacial, la industria y otros campos.

Proceso : Proyección de plasma (APS), donde un arco de plasma de alta temperatura (10.000-15.000 °C) funde el polvo y lo rocía sobre la superficie del sustrato.

Propósito : Proporcionar recubrimientos resistentes al desgaste, a la corrosión o de barrera térmica (por ejemplo, TBC) para aplicaciones de alto desgaste.

Espesor : Normalmente <1 mm, dependiendo de la aplicación.

2. Requisitos clave

Propiedades del recubrimiento :

Adherencia: Evaluada mediante prueba de copa o prueba de flexión, de acuerdo con la Sección 3.6.1.

Dureza: Según apartado 3.6.5, en función del material de recubrimiento (p. ej. dureza WC-Co $\geq$ 1000 HV).

Porosidad: típicamente <5%, según examen microscópico.

prueba :

Prueba de aceptación (4.2.1): Cada lote se prueba para comprobar su adhesión y dureza.

Pruebas periódicas (4.2.2): Verificación regular de la estabilidad del proceso.

Pruebas de preproducción (4.2.3): Los nuevos procesos o materiales requieren verificación adicional.

3. Restricciones

No apto para proceso HVOF.

No es necesario aplicar una capa doble (es decir, pulverizar sobre una capa existente).

Especificación del proceso HVOF: AMS 2447

Los usuarios pueden confundir erróneamente la especificación AMS 2437 con la del proceso HVOF. La especificación correcta para el proceso HVOF es la AMS 2447, cuya última versión es la AMS 2447D (14/01/2019), titulada "Recubrimiento, pulverización térmica, proceso de oxígeno/combustible a alta velocidad".

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Alcance

Objetos aplicables : Adecuado para recubrimientos depositados mediante el proceso HVOF, como carburo cementado (WC-Co, WC-CoCr), aleación de metal (NiCr), ampliamente utilizado en aplicaciones aeroespaciales de alta resistencia al desgaste.

Proceso : HVOF produce una llama supersónica (500-1000 m/s) al quemar combustible (como queroseno) con oxígeno para depositar una capa de alta densidad.

Objetivo : Proporcionar una excelente resistencia al desgaste y a la corrosión, mejor que la pulverización de plasma (como AMS 2437).

2. Requisitos clave

Propiedades del recubrimiento :

Porosidad: <2%, significativamente menor que la pulverización de plasma.

Adhesión: típicamente >70 MPa (frente a 50-60 MPa para pulverización de plasma).

Rugosidad de la superficie: Ra 6-16 μm (dependiendo de la aplicación, por ejemplo los sellos necesitan <0,15 μm).

Material :

Polvos comúnmente utilizados: WC-17Co, WC-10Co-4Cr (AMS 7881, AMS 7882).

Rango de espesor: 25-500 μm (carburo), los recubrimientos de aleación pueden ser más gruesos.

prueba :

Inspección con líquidos penetrantes fluorescentes (FPI): comprueba si hay grietas.

de Barkhausen : evaluación del desgaste por rechinamiento.

Restricciones : No apto para doble recubrimiento.

3. Aplicaciones típicas

Aeroespacial: álabes de turbinas, tren de aterrizaje (adherencia 60-90 MPa).

Industria: rodillos resistentes al desgaste, juntas.

4. Comparación con AMS 2437

Proceso : AMS 2437 (pulverización de plasma) tiene alta temperatura y alta porosidad (3-5%); AMS 2447 (HVOF) tiene alta velocidad y baja porosidad (<2%).

Rendimiento : Los recubrimientos HVOF (como WC-Co) tienen mejor adhesión y resistencia al desgaste que la pulverización de plasma.

Aplicación : AMS 2437 es más adecuado para recubrimientos de barrera térmica (como ZrO_2), mientras que AMS 2447 es más adecuado para recubrimientos con alta resistencia al desgaste (como WC-Co).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ISO 3252:2019

Terminología de la pulvimetalurgia Metalurgia de polvos — Vocabulario

1. Alcance

1.1 Esta Norma Internacional define la terminología en el campo de la pulvimetalurgia, cubriendo las técnicas de preparación, caracterización y aplicación de polvos.

Objetos aplicables : incluidos polvos metálicos (como zinc, aluminio), polvos cerámicos (como alúmina) y polvos compuestos (como carburo cementado WC-Co), adecuados para procesos como pulverización térmica, sinterización y fabricación aditiva.

Propósito : Proporcionar una terminología unificada para facilitar la comunicación técnica, el establecimiento de normas y la investigación.

1.2 Esta norma no aborda parámetros de proceso específicos ni métodos de prueba de desempeño, sino que se centra únicamente en las definiciones de términos.

2. Referencias normativas

No hay referencias directas a otras normas, pero la terminología está relacionada con la ISO 4490 (determinación del tamaño de partículas de polvo) y la ISO 3953 (terminología ampliada para pulvimetalurgia).

3. Términos y definiciones

Esta norma clasifica varios aspectos de la pulvimetalurgia y define los siguientes términos clave:

3.1 Características del polvo

Polvo : Material suelto constituido por partículas, cuyos tamaños suelen oscilar entre 1 nm y 1 mm.

Tamaño de partícula : el tamaño lineal máximo de una sola partícula, expresado en μm o nm.

Distribución del tamaño de partículas : la distribución porcentual de partículas de polvo según el rango de tamaño, generalmente expresada como D10, D50 y D90.

Morfología : La forma y las características superficiales de las partículas, como esféricas, irregulares o poliédricas.

Área superficial específica : El área superficial total por unidad de masa de polvo, expresada en m^2/g .

3.2 Propiedades físicas

Densidad aparente : La masa por unidad de volumen de polvo cuando no se aplica fuerza externa, expresada en g/cm^3 .

Densidad de compactación : La masa por unidad de volumen del polvo después de la compactación, expresada en g/cm^3 .

Fluidez : Las características de flujo del polvo bajo gravedad o acción mecánica, la unidad es s/50g (método de copa de flujo Hall) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Compresibilidad : Capacidad de un polvo de reducir su volumen después de ser comprimido, expresada en g/cm^3 .

3.3 Propiedades químicas

Composición química : El contenido porcentual de cada elemento o compuesto en el polvo.

Contenido de óxido : La fracción de masa de óxido en polvo, expresada en %.

Impureza : Elementos o compuestos no deseados distintos del componente principal.

3.4 Preparación y procesamiento

Atomización : Proceso de preparación de polvo mediante la colisión de metal fundido con líquido o gas.

Aleación mecánica : Un proceso de mezcla y aleación de componentes en polvo mediante molienda de bolas de alta energía.

Sinterización : Proceso de combinar partículas de polvo en materiales porosos o densos a altas temperaturas.

Proyección térmica : proceso en el que el polvo se calienta hasta un estado fundido o semifundido y luego se rocía sobre la superficie del sustrato.

3.5 Aplicaciones

Cermet : Material compuesto formado por carburo (como WC) y una fase de unión metálica (como Co).

aditiva : Un proceso que utiliza la deposición en capas de polvo para crear piezas, como la fusión selectiva por láser (SLM).

Recubrimiento : Capa protectora o funcional formada sobre la superficie de un sustrato mediante pulverización o deposición térmica.

3.6 Métodos de prueba

Tamizado : método para determinar la distribución del tamaño de partículas de polvos utilizando un tamiz estándar.

Análisis de difracción láser : una tecnología que utiliza la dispersión del láser para medir la distribución del tamaño de las partículas de polvo.

Examen microscópico : analice la morfología y los defectos del polvo utilizando microscopía óptica o electrónica de barrido (SEM).

4. Clasificación

Por tipo de material :

Polvo metálico (como Fe, Cu).

Polvos cerámicos (como Al_2O_3 , ZrO_2).

Polvos compuestos (como WC-Co).

Por forma de partícula :

Polvo esférico.

Polvo irregular.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Polvo poroso o hueco.

Por aplicación :

Materiales estructurales.

Materiales funcionales (como recubrimientos conductores).

5. Anexos

Apéndice A : Glosario de términos (inglés-chino).

Ejemplos: tamaño de partícula, fluidez.

Apéndice B : Diagrama esquemático de la morfología de partículas.

Ejemplos: polvo esférico, polvo en forma de aguja.

6. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Documentación técnica, desarrollo de normas y capacitación para la industria de la pulvimetalurgia, incluido el uso de terminología para polvos de pulverización térmica.

límite :

No incluye métodos de prueba específicos ni parámetros de proceso, que requieren referencia a normas como ISO 4490.

Definiciones de términos no aplicables a campos distintos a la pulvimetalurgia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ISO 14923:2003
Proyección térmica
—Caracterización y ensayo de recubrimientos proyectados térmicamente
Proyección térmica
— Caracterización y ensayo de recubrimientos por pulverización térmica

1. Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica métodos para caracterizar y probar recubrimientos rociados térmicamente (TWCs) adecuados para evaluar sus propiedades y calidad.

Objetos aplicables: incluidos recubrimientos metálicos (como zinc, níquel), recubrimientos cerámicos (como alúmina) y recubrimientos compuestos (como carburo cementado WC-Co/recubrimiento Cermet), adecuados para pulverización de llama (pulverización de llama/pulverización de llama), pulverización de arco (pulverización de arco/pulverización de arco), pulverización de plasma (pulverización de plasma, APS/VPS/pulverización de plasma, APS/VPS), procesos HVOF y DGS.

Propósito: Proporcionar métodos de prueba estandarizados para evaluar propiedades como adhesión, porosidad y espesor.

1.2 Esta norma se aplica a recubrimientos con un espesor (Espesor) $\geq 0,05$ mm.

1.3 Esta norma no cubre el proceso de preparación de recubrimientos (Coating Preparation Process / Coating Preparation Process), solo proporciona métodos de prueba y técnicas de caracterización.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 4287:1997 - Especificaciones geométricas de productos (GPS) — Textura de la superficie: Método del perfil — Términos, definiciones y parámetros de textura de la superficie / Especificaciones geométricas de productos (GPS) — Textura de la superficie: Método del perfil — Términos, definiciones y parámetros de textura de la superficie

ISO 6507-1:2005 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Vickers — Parte 1: Método de ensayo

ISO 8501-1:2007 - Preparación de sustratos de acero antes de la aplicación de pinturas y productos relacionados — Evaluación visual de la limpieza de la superficie — Parte 1: Grados de óxido y grados de preparación de sustratos de acero sin recubrimiento y de sustratos de acero después de la eliminación total de recubrimientos anteriores

ISO 9227:2017 - Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales — Ensayos de niebla salina

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Recubrimiento rociado térmicamente: Un recubrimiento depositado sobre la superficie de un sustrato mediante un proceso de rociado térmico.

Adhesión: La fuerza de unión entre el recubrimiento y el sustrato (resistencia de unión), medida en MPa.

Cohesión: La fuerza de unión entre las partículas dentro del recubrimiento, medida en MPa.

Porosidad: Porcentaje del volumen de poros de un recubrimiento respecto del volumen total, expresado en %.

del sustrato hasta la parte superior del recubrimiento (Distancia Vertical), en μm .

4. Métodos de caracterización

4.1 Medición de espesor

Método:

Método magnético (ISO 2178): Aplicable a recubrimientos no magnéticos sobre sustratos magnéticos.

Método de corrientes de Foucault (ISO 2360): aplicable a recubrimientos no conductores sobre sustratos metálicos no magnéticos.

Método Microscópico: Observación transversal, medir 5 puntos y tomar el valor promedio.

Precisión: $\pm 5\%$ o $\pm 5 \mu\text{m}$ (el que sea mayor).

4.2 Determinación de la porosidad

Método:

Método microscópico: Análisis de imágenes transversales para calcular el porcentaje de área de poro.

Método de penetración: utilice tinte (Tinte/Tinte) o gas (Gas/Gas) para evaluar la conectividad de los poros.

Precisión: $\pm 1\%$ o $\pm 0,5\%$ (dependiendo del aumento).

4.3 Rugosidad de la superficie

Método: Perfilómetro Stylus (ISO 4287), medición del valor Ra.

Rango: El valor típico es de 2 a $15 \mu\text{m}$, dependiendo de la aplicación.

4.4 Análisis microestructural

Método: Microscopio óptico o microscopio electrónico de barrido (SEM), aumento 50-1000x.

Parámetros: Observar grietas, inclusiones de óxido y morfología de salpicaduras.

5. Métodos de prueba

5.1 Prueba de adhesión

Método: Ensayo de tracción (ISO 4624) utilizando un adhesivo y una máquina de ensayo de tracción.

Muestra: diámetro 25 mm, espesor del recubrimiento 0,1-1,0 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Velocidad de carga: 0,5-2 mm/min.

Cálculo: Adhesión (MPa) = Fuerza máxima / Área de la sección transversal.

Modo de falla: falla adhesiva o falla cohesiva.

5.2 Prueba de dureza

Método: Prueba de dureza Vickers (ISO 6507-1), carga 5-10 N.

Precisión: ± 5 HV o $\pm 10\%$ (el que sea mayor).

5.3 Prueba de resistencia a la corrosión

Método: Prueba de niebla salina (ISO 9227), Duración: 24-480 horas.

Evaluación: Registrar el porcentaje de área de óxido.

5.4 Prueba de resistencia al desgaste

Método: La pérdida de volumen se midió de acuerdo con ASTM G65 (prueba de rueda de caucho/arena seca).

Precisión: $\pm 5\%$ o $\pm 0,1$ mm³.

6. Preparación de la muestra

Dimensiones:

Medida de espesor: 10 mm × 10 mm × espesor del recubrimiento.

Prueba de adhesión: Diámetro 25 mm, espesor ≥ 5 mm.

de arena (Ra 3-5 μ m), eliminación de contaminantes.

Cantidad: ≥ 3 muestras por grupo, pruebas representativas.

7. Condiciones de prueba

Ambiente: Temperatura $20 \pm 5^\circ\text{C}$, Humedad $< 60\%$, sin vibraciones.

Equipo: Calibración (Calibración/Calibración), precisión (Exactitud/Precisión) $\pm 2\%$.

8. Informe de prueba

Contenido

Información sobre el material de recubrimiento y el sustrato (por ejemplo, WC-12Co, sustrato de acero).

Proceso de preparación (Proceso/Proceso de preparación, como HVOF) y espesor del recubrimiento (Espesor/Espesor del recubrimiento).

Resultados de caracterización (espesor, porosidad, rugosidad).

Resultados de pruebas (Resultados de pruebas / Resultados de pruebas, Adhesión, Dureza, Resistencia a la corrosión).

Fotografías de modo de falla (Failure Mode) y microestructura (Microestructura).

Fecha de la prueba (Fecha/Fecha de prueba), operador (Operador/Operador) y número de equipo (Número de equipo/Número de equipo).

Ejemplo: recubrimiento WC-Co (HVOF), espesor 250 μ m, porosidad 1,5%, adhesión 70 MPa, el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

modo de falla es falla cohesiva.

9. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación <5%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <10%.

Sesgo: Puede deberse a una preparación irregular de la muestra o a una calibración inadecuada del equipo. Es necesario controlar la calidad de la preparación de la superficie.

10. Anexos

Apéndice A (Anexo A / Apéndice A): Diagrama de medición de espesor (Diagrama de medición de espesor / Diagrama de medición de espesor).

Apéndice B (Anexo B / Apéndice B): Procedimiento de preparación de muestras para prueba de adhesión (Procedimiento de preparación de muestras para prueba de adhesión / Procedimiento de preparación de muestras para prueba de adhesión).

11. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Aplicable al control de calidad y evaluación del desempeño de recubrimientos rociados térmicamente.

Limitaciones:

No apto para recubrimientos ultrafinos con un espesor de < 0,05 mm.

El proceso de preparación del recubrimiento no está especificado y se hace referencia a la norma ISO 14917:2017 - *Proyección térmica: terminología, clasificación*.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ISO 4505:2017

Materiales metálicos

— Prueba de dureza — Método de prueba

Materiales metálicos

— Prueba de dureza — Método de prueba

1. Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica un método general para el ensayo de dureza de materiales metálicos. Es aplicable a los ensayos de dureza Vickers, dureza Brinell y dureza Rockwell.

Objetos aplicables: Aplicable a materiales metálicos, incluidos recubrimientos rociados térmicamente (como recubrimiento de carburo cementado/Cermet WC-Co) y otras piezas metálicas. Propósito: Proporcionar un método de prueba de dureza estandarizado para garantizar la repetibilidad y comparabilidad de los resultados.

1.2 Esta norma se aplica a probetas con un espesor $\geq 0,5$ mm.

1.3 Esta norma no cubre las pruebas de dureza de materiales no metálicos como cerámicas o plásticos, pero puede extenderse a compuestos de matriz metálica.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 6506-1:2014 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Brinell — Parte 1: Método de ensayo

ISO 6507-1:2018 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Vickers — Parte 1: Método de ensayo

ISO 6508-1:2016 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de ensayo

ISO 18265:2013 - Materiales metálicos — Conversión de valores de dureza

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Dureza: Capacidad de un material para resistir la deformación plástica local, generalmente medida por indentación.

Dureza Vickers (Vickers Hardness): Es la dureza medida presionando un penetrador de diamante en forma de cono cuadrado (Diamond Indenter), expresada como HV.

Dureza Brinell (Dureza Brinell / Dureza Brinell): Es la dureza medida mediante la indentación de una bola de carburo (Bola de carburo / Bola de carburo), expresada en HBW.

Dureza Rockwell: La dureza se mide presionando una bola de diamante o acero en la pieza de prueba y midiendo la profundidad, expresada en HR (como HRC, HRB).

Indentación: Marca de deformación permanente dejada por el penetrador en la superficie de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

muestra.

4. Principios de la prueba

Dureza Vickers: utilice un penetrador de diamante de cono cuadrado de 136° para aplicar una carga específica, medir la longitud diagonal de la sangría y calcular el valor de dureza.

Dureza Brinell: utilice una bola de carburo para aplicar una carga, medir el diámetro de la sangría y calcular el valor de dureza.

Dureza Rockwell: aplique una precarga y una carga principal, mida la profundidad de la sangría y lea directamente el valor de dureza.

5. Métodos de prueba

5.1 Prueba de dureza Vickers

Equipo: Durómetro Vickers, según norma ISO 6507-1.

Carga: 0,01 kgf a 100 kgf (0,098 N a 980,7 N).

Procedimiento:

Aplicar la carga y mantenerla así durante 10-15 segundos.

Mida la longitud diagonal de la sangría al menos dos veces y tome el valor promedio.

Cálculo:

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

Precisión: ± 5 HV o $\pm 5\%$ (el que sea mayor).

5.2 Prueba de dureza Brinell

Equipo: Probador de dureza Brinell, según norma ISO 6506-1.

Carga: 1 kgf a 3000 kgf (9,807 N a 29420 N).

Diámetro de la bola: 1 mm, 2,5 mm, 5 mm o 10 mm.

Procedimiento:

Aplicar la carga y mantenerla así durante 10-15 segundos.

Mida el diámetro de sangría (Diámetro) en al menos dos direcciones y tome el valor promedio.

Cálculo:

$HBW = 0,102 \times (2F / (\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})))$, donde F es la carga (N), D es el diámetro de la bola (mm) y d es el diámetro de la sangría (mm).

Precisión: ± 5 HBW o $\pm 5\%$ (el que sea mayor).

5.3 Prueba de dureza Rockwell

Equipo: Durómetro Rockwell, según norma ISO 6508-1.

Carga:

Precarga: 10 kgf (98,07 N).

Carga principal : 60 kgf , 100 kgf o 150 kgf (588,4 N, 980,7 N o 1471 N).

Penetrador: Cono de diamante o bola de acero.

Procedimiento:

Aplicar precarga y mantenerla así durante 2-5 segundos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Aplice la carga primaria y manténgala así durante 4 a 6 segundos.

Retire la carga principal y lea el valor de dureza.

Precisión: $\pm 0,5$ HRC o ± 1 % (el que sea mayor).

6. Preparación de la muestra

Preparación de la superficie: La superficie de la muestra debe ser plana, con una rugosidad de $R_a < 0,8 \mu\text{m}$ y se deben eliminar las incrustaciones de óxido y las manchas de aceite .

Espesor: Espesor de la muestra ≥ 10 veces la profundidad de sangría.

Cantidad: ≥ 3 muestras por grupo, pruebas representativas.

7. Condiciones de prueba

Ambiente: Temperatura $20 \pm 5^\circ\text{C}$, Humedad $< 60\%$, sin vibraciones.

Calibración del equipo: Probador de dureza con precisión $\pm 2\%$, calibrado una vez al año.

8. Informe de prueba

Contenido

Información del material de la muestra y del sustrato (por ejemplo, revestimiento WC-Co, sustrato de acero).

Método de prueba (Método de prueba/Método de prueba, como Dureza Vickers).

Carga (Load) y tipo de penetrador (Indenter Type).

Valor de dureza (Valor de dureza) y desviación estándar (Desviación estándar).

Fecha de la prueba (Fecha/Fecha de prueba), operador (Operador/Operador) y número de equipo (Número de equipo/Número de equipo).

Ejemplo: recubrimiento WC-Co, dureza Vickers HV 1200 $\pm$ 20 (carga 5 N).

9. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación $< 3\%$, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) $< 5\%$.

Sesgo: Puede ser causado por irregularidades en la superficie o desviación de la carga, requiriendo control de la calidad de la superficie y calibración del equipo.

10. Anexos

Anexo A: Tabla de conversión de dureza, consulte ISO 18265.

Apéndice B: Diagrama de medición de sangría.

11. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para pruebas de dureza de materiales metálicos y recubrimientos por pulverización térmica, ampliamente utilizado en control de calidad.

Limitaciones:

No apto para materiales no metálicos (como cerámica, no sinterizada).

Los recubrimientos delgados de $< 0,5$ mm de espesor deben utilizarse con precaución y puede ser necesaria una microcarga.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

ISO 9227:2017 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales

— Pruebas de niebla salina

Pruebas de corrosión en atmósferas artificiales

— Prueba de niebla salina

1. Alcance

1.1 Esta Norma Internacional especifica el método para realizar ensayos de niebla salina (Salt Spray Tests / Salt Spray Tests) en atmósferas artificiales (Artificial Atmospheres / Artificial Atmospheres) para evaluar la resistencia a la corrosión (Corrosion Resistance / Corrosion Resistance) de materiales metálicos y sus recubrimientos.

Objetos aplicables: incluidos materiales metálicos, recubrimientos rociados térmicamente (como carburo cementado WC-Co/recubrimiento Cermet), recubrimientos galvanizados y recubrimientos orgánicos.

Propósito: Evaluar la resistencia a la corrosión de materiales o recubrimientos simulando un entorno de niebla salina para control de calidad y verificación del desempeño.

1.2 Esta norma incluye tres métodos de prueba:

Prueba de niebla salina neutra (NSS / Neutral Salt Spray Test, NSS).

Prueba de niebla salina con ácido acético (AASS).

Prueba de niebla salina con ácido acético acelerada con cobre (CASS).

1.3 Esta norma no pretende predecir la resistencia a la corrosión a largo plazo de los materiales en entornos reales y está destinada únicamente a pruebas de comparación de laboratorio.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 1514:2016 - Pinturas y barnices — Paneles estándar para ensayos

ISO 2808:2019 - Pinturas y barnices — Determinación del espesor de la película

ISO 3574:2012 - Chapa de acero al carbono reducida en frío de calidades comerciales y de embutición

ISO 8044:2015 - Corrosión de metales y aleaciones — Términos y definiciones básicos

ISO 8407:2021 - Corrosión de metales y aleaciones — Eliminación de productos de corrosión de muestras de ensayo de corrosión

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, algunos de los cuales hacen referencia a la norma ISO 8044:

Niebla salina: Aerosol formado por la atomización de una solución salina (solución salina), utilizado para simular un ambiente corrosivo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Resistencia a la corrosión: La capacidad de un material o revestimiento para resistir la corrosión, generalmente evaluada por el grado de formación de productos de corrosión.

Muestra: Muestra de prueba utilizada para la prueba de niebla salina.

NSS (niebla salina neutra): prueba de niebla salina utilizando solución salina neutra (pH 6,5-7,2).

AASS (niebla de sal con ácido acético): prueba de niebla salina en la que se añade ácido acético para reducir el valor del pH (3,1-3,3).

CASS (pulverización salina con ácido acético acelerado con cobre): una prueba de pulverización salina que agrega cloruro de cobre (cloruro de cobre) al AASS para acelerar la corrosión.

4. Principios de la prueba

La muestra se expone a un entorno de niebla salina (Salt Spray Environment / Salt Spray Environment) y se forma un aerosol corrosivo uniforme (Corrosive Aerosol / Corrosive Aerosol) por atomización de la solución salina (Salt Solution / Salt Solution).

El grado de corrosión se evalúa observando la formación de productos de corrosión (Corrosion Products / Corrosion Products), pérdida de masa (Mass Loss / Mass Loss) o defectos superficiales (Surface Defects / Surface Defects).

5. Aparato de prueba

Cámara de niebla salina (Cámara de niebla salina):

Capacidad: ≥ 400 L, asegurando una atomización uniforme.

Material: Materiales resistentes a la corrosión, como plástico reforzado con fibra de vidrio (Fiberglass Reinforced Plastic).

Boquilla: Material no metálico, produce una niebla fina uniforme (Fine Mist).

Control de temperatura: La temperatura en la cámara de prueba se mantiene a 35 ± 2 °C.

Dispositivo de recolección: Al menos 2 embudos de recolección para medir la tasa de deposición de niebla salina.

6. Solución de prueba

Solución salina:

Ingredientes: Cloruro de sodio (NaCl / cloruro de sodio) concentración 50 ± 5 g/L.

Pureza: Impureza de NaCl $< 0,5\%$, no contiene cobre ni níquel.

Calidad del agua: Agua destilada o desionizada, conductividad < 20 $\mu\text{S/cm}$.

Valor de pH:

Nivel de seguridad: 6.5-7.2.

AASS: 3,1-3,3 (ajustado añadiendo ácido acético).

CASS: 3.1-3.3 (añadir $0,26 \pm 0,02$ g/L de cloruro de cobre).

7. Preparación de la muestra

Dimensiones de la muestra: Se recomienda $150 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times$ espesor, de acuerdo con ISO 1514.

Preparación:

Elimina manchas de aceite (Contaminantes/Manchas de aceite) y sarro de óxido (Sarro de óxido/Sarro de óxido).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Recubrimiento por proyección térmica: rugosidad superficial Ra 3-5 μm , de acuerdo con ISO 8501-1.

Cantidad: ≥ 3 muestras por grupo, pruebas representativas.

Posicionamiento: La muestra debe colocarse en un ángulo de 15° - 30° con respecto a la vertical para evitar la pulverización directa.

8. Condiciones de prueba

Temperatura: $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en la cámara de prueba.

Velocidad de deposición por niebla salina: 1-2 mL / (80 $\text{cm}^2 \cdot \text{h}$) .

Duración de la prueba:

NSS: 24 h, 48 h, 96 h, 240 h, 480 h o 720 h.

AASS y CASS: 24 h, 48 h o 96 h.

Humedad: Humedad relativa: 95%-100%.

9. Procedimiento de prueba

Preparación

Prepare una solución salina y ajuste el pH.

Precaliente la cámara de prueba a 35°C .

Pruebas:

Coloque la muestra en la cámara de prueba y comience la pulverización de sal.

Verifique la velocidad de sedimentación y la temperatura cada 24 horas.

Terminación:

Después de la prueba, la muestra se lava con agua destilada para eliminar la sal (depósitos de sal).

Eliminación de productos de corrosión (Corrosion Products / Corrosion Products) según ISO 8407.

10. Métodos de evaluación

Inspección visual: Observe la distribución de productos de corrosión, manchas de óxido y desprendimiento del revestimiento.

Pérdida de masa: La pérdida de masa de una muestra antes y después de la prueba se mide en g/m^2 .

Clasificación de corrosión: evaluada de acuerdo con la norma ISO 8407, como sin corrosión, corrosión leve, etc.

11. Informe de prueba

Contenido

Material de muestra e información del revestimiento (por ejemplo, revestimiento WC-Co, sustrato de acero).

Método de prueba (método de prueba, como NSS).

Condiciones de prueba: Temperatura, velocidad de sedimentación, tiempo.

Resultados de la evaluación: Grado de corrosión, pérdida de masa, fotografías.

Fecha de prueba (Fecha/Fecha de prueba), Operador (Operador/Operador) y Número de equipo (Número de equipo/Número de equipo).

Ejemplo: recubrimiento WC-Co, ensayo NSS 480 h, corrosión superficial leve (Slight Corrosion),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pérdida de masa 2,5 g/m² .

12. Precisión y sesgo

Precisión: Desviación dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) <10%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <15%.

Sesgo: puede verse afectado por la uniformidad de la pulverización o la posición de la muestra, y es necesario controlar la distribución de la pulverización.

13. Anexos

Apéndice A (Anexo A): Directrices de diseño de cámaras de niebla salina (Directrices de diseño de cámaras de niebla salina).

Apéndice B (Anexo B / Apéndice B): Materiales de referencia estándar (Materiales de referencia estándar / Materiales de referencia estándar).

14. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Aplicable a pruebas de resistencia a la corrosión de materiales metálicos y revestimientos, ampliamente utilizado en control de calidad.

Limitaciones:

No es adecuado para predecir la resistencia a la corrosión a largo plazo en entornos reales.

Tenga cuidado con los recubrimientos no metálicos y puede ser necesario ajustar las condiciones de prueba.

Resumen

La norma ISO 9227:2017 "Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales - Ensayos de niebla salina" proporciona métodos estándar para ensayos de niebla salina (NSS, AASS, CASS), que son adecuados para evaluar la resistencia a la corrosión de materiales metálicos y recubrimientos por pulverización térmica (como recubrimientos de carburo cementado).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

ASTM B665-01(2014)
Guía estándar para la identificación metalográfica de la microestructura en
carburos cementados
Guía estándar para la identificación metalográfica de microestructuras de
carburo cementado

1. Alcance

1.1 Esta guía estándar especifica los métodos de identificación metalográfica para la microestructura de los carburos cementados tanto para fines de control de calidad como de investigación.

Objetos aplicables: Los materiales compuestos de carburo cementado a base de carburo de tungsteno (WC) (como WC-Co), carburo de titanio (TiC) y carburo de tantalio (TaC) se utilizan ampliamente en recubrimientos por pulverización térmica (recubrimientos por pulverización térmica) y herramientas de corte.

Propósito: Proporcionar un método estandarizado para caracterizar microestructuras e identificar la estructura de fases, la porosidad y los defectos.

1.2 Esta especificación se aplica a carburos cementados sinterizados (sinterizados) o rociados térmicamente (rociados térmicamente).

1.3 Esta norma no cubre las pruebas de propiedades mecánicas (pruebas de propiedades mecánicas) del carburo cementado.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ASTM E3-11(2017) - Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas

ASTM E7-15 - Terminología estándar relacionada con la metalografía

ASTM E407-07(2015)e 1 - Práctica estándar para micrograbado de metales y aleaciones

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a ASTM E7:

Carburo cementado: material compuesto hecho de carburos (como WC) y una fase aglutinante metálica (como Co) mediante sinterización.

Microestructura: La estructura de la fase interna y las características de los defectos de un material observados bajo un microscopio.

Porosidad: Los huecos en el carburo cementado se dividen en Tipo A (poros pequeños), Tipo B (poros medianos) y Tipo C (poros grandes).

Fase aglutinante (fase aglutinante): como el cobalto (cobalto) o el níquel (Ni), que une las partículas de carburo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Grabado: Proceso de revelación de características microestructurales por medios químicos o electroquímicos.

4. Principios de identificación de la microestructura

Mediante la preparación metalográfica (Metallographic Preparation / Metallographic Preparation) y el grabado (Etching / Etching), se observan la estructura de fases (Phase Structure / Phase Structure), el tamaño de grano (Grain Size / Grain Size) y los defectos (Defects / Defects) del carburo cementado utilizando un microscopio óptico (Optical Microscope / Optical Microscope) o un microscopio electrónico de barrido (SEM / Scanning Electron Microscope).

5. Preparación de la muestra

Seccionamiento: Utilice una sierra de diamante y evite el sobrecalentamiento.

Esmerilado: utilice papel de lija de SiC (papel de carburo de silicio), desde grueso (#120) hasta fino (#1200).

Pulido: utilizar suspensión de diamante (suspensión de diamante, tamaño de partícula 1 μm) hasta obtener un acabado de espejo.

Aguafuerte:

Reactivo recomendado: reactivo de Murakami ($10\text{ g K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 10\text{ g KOH} + 100\text{ mL H}_2\text{O}$), tiempo de grabado 5-15 segundos.

Método alternativo: Grabado electrolítico (Electrolytic Etching) utilizando solución de HCl al 10%.

Limpieza: Limpiar con etanol (Ethanol), secar (Dry).

6. Examen microscópico

Equipo: Microscopio óptico (Aumento 50-1000 veces) o SEM.

Parámetros de observación

Tamaño de grano de carburo: medido según ASTM E112.

Porosidad: Clasificada en tipos A, B y C, consulte ISO 4505.

Defectos: como grietas e inclusiones.

Aumento: se recomienda entre 100 y 500 veces, dependiendo del tamaño de la partícula.

7. Clasificación de la microestructura

Estructura de fase

WC-Co: partículas de carburo de tungsteno (WC Grains / partículas de carburo de tungsteno) y aglutinante de cobalto (Co Binder / aglutinante de cobalto).

Aleaciones multifásicas: Contiene TiC o TaC.

Grado de tamaño de grano:

Ultrafino: $\leq 0,5\text{ }\mu\text{m}$.

Fino: $0,5\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$.

Medio: $2\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$.

Grueso: $> 5\text{ }\mu\text{m}$.

Grado de porosidad:

A00-A04: Poros pequeños.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

B00-B 04 : Poros medios (Poros medios / Poros medios).

C00-C04: Poros grandes.

8. Informe

Contenido

Material de la muestra: como revestimiento WC-12Co, sustrato.

Método de preparación: como la pulverización térmica (HVOF).

Características de microestructura: Tamaño de grano, porosidad, defectos.

Condiciones de grabado: Reactivos y tiempo.

Fotografías y ampliación.

Fecha de la prueba (Fecha/Fecha de prueba), operador (Operador/Operador) y número de equipo (Número de equipo/Número de equipo).

Ejemplo: recubrimiento WC-12Co, tamaño de grano 2 μm , grado de porosidad A02, aumento 200x, sin grietas.

9. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación <5%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <10%.

Sesgo: Puede deberse a una preparación irregular o a un grabado excesivo. Es necesario controlar la calidad de la preparación.

10. Anexos

Apéndice A: Preparación del reactivo de Murakami.

Apéndice B: Ejemplos de exámenes microscópicos.

11. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para el control de calidad y la investigación de microestructuras de carburo cementado, especialmente para recubrimientos por pulverización térmica.

Limitaciones:

No apto para materiales que no sean de carburo.

Para recubrimientos ultrafinos (<0,1 mm), es necesario ajustar el método de preparación.

Resumen

ASTM B665-01(2014) 《Guía estándar para la identificación metalográfica de la microestructura en carburos cementados / Guía estándar para la identificación metalográfica de la microestructura en carburos cementados》 proporciona métodos para la identificación microestructural de carburos cementados (como recubrimientos WC-Co rociados térmicamente), incluida la preparación, la corrosión y el examen microscópico, que es adecuado para el control de calidad y la investigación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

ASTM E2283-08(2019)

Práctica estándar para el análisis de valores extremos de inclusiones no metálicas en acero y otras características microestructurales

Práctica estándar para el análisis de valores extremos de inclusiones no metálicas en acero y otras características microestructurales

1. Alcance

1.1 Esta práctica estándar proporciona un método para estimar el tamaño máximo (tamaño máximo) de inclusiones no metálicas (Inclusiones no metálicas) u otras características microestructurales (Características microestructurales) en acero utilizando análisis estadístico de valores extremos.

Objetos aplicables: acero, carburos cementados (como recubrimientos por pulverización térmica WC-Co) y otros materiales metálicos, con el objetivo de analizar inclusiones no metálicas, porosidad o microdefectos.

Propósito: Predecir el tamaño de la mayor inclusión o defecto en un material mediante métodos estadísticos para evaluar las propiedades del material (como la vida útil por fatiga) y el control de calidad.

1.2 Esta norma se aplica a las características microestructurales observadas mediante microscopio metalográfico (Microscopía Metalográfica).

1.3 Esta norma no involucra pruebas de propiedades mecánicas (Pruebas de propiedades mecánicas / Pruebas de propiedades mecánicas) y solo proporciona métodos de análisis estadístico.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ASTM E3-11(2017) - *Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas*

ASTM E7-15 - *Terminología estándar relacionada con la metalografía*

ASTM E45-18 - *Métodos de prueba estándar para determinar el contenido de inclusión del acero*

ASTM E112-13 - *Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño promedio del grano*

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a ASTM E7:

Inclusiones no metálicas: Fases no metálicas (como óxidos, sulfuros) en acero u otros materiales metálicos.

Análisis de valores extremos: método estadístico utilizado para predecir la distribución de las inclusiones o defectos de mayor tamaño en una muestra.

Área de control: El área de medición definida en la observación microscópica, en mm².

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

máximo : la dimensión lineal máxima de una inclusión o defecto, en μm .

Distribución de Gumbel: un modelo de distribución estadística utilizado para el análisis de valores extremos.

4. Principios del análisis de valores extremos

La observación metalográfica se utiliza para medir el tamaño de la inclusión o defecto más grande dentro de múltiples áreas de control.

Ajuste los datos utilizando la distribución de valores extremos de Gumbel (Gumbel Extreme Value Distribution) para predecir el tamaño probable de la mayor inclusión o defecto en un volumen mayor de material.

5. Preparación de la muestra

Seccionamiento: Utilice una sierra de diamante para evitar introducir defectos adicionales.

Esmerilado: utilice papel de lija de SiC (papel de carburo de silicio), desde grueso (#120) hasta fino (#1200).

Pulido: utilizar suspensión de diamante (suspensión de diamante, tamaño de partícula 1 μm) hasta obtener un acabado de espejo.

Grabado (opcional): utilice un reactivo adecuado (por ejemplo, ácido nítrico al 2 %/Nital para acero) para revelar inclusiones o microestructura.

Limpieza: Limpiar con etanol (Ethanol), secar (Dry).

6. Procedimiento de medición

Equipo: Microscopio Óptico o Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), Aumento 100-500x.

Área de control:

Para cada muestra, mida al menos 30 áreas de control (mínimo 30 áreas).

Área recomendada: 0,1 mm² a 1 mm² , dependiendo de la densidad de inclusión.

Medición:

Dentro de cada área de control, registre el tamaño de la inclusión o defecto más grande (Tamaño máximo de inclusión).

Mida la dimensión lineal máxima de la inclusión (Dimensión lineal máxima / Dimensión lineal máxima) en μm .

Registro: organiza los datos de mayor tamaño en orden ascendente en preparación para el análisis de valores extremos.

7. Método de análisis de valores extremos

Ajuste de datos:

Ajustar los datos de tamaño máximo a una distribución de Gumbel (Distribución de Gumbel / Distribución de Gumbel).

Función de distribución acumulativa de distribución de Gumbel:

$F(x) = \exp(-\exp(-(x-\lambda)/\delta))$ donde λ es el parámetro de ubicación y δ es el parámetro de escala.

Estimación de parámetros

Estime λ y δ utilizando el método de máxima verosimilitud (MLM) o el método de mínimos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cuadrados (Método de mínimos cuadrados).

Predicción:

Calcula el tamaño máximo de inclusión en un volumen especificado (Volumen especificado) con un nivel de confianza especificado (por ejemplo, 95%).

Fórmula: $x_p = \lambda - \delta \times \ln(-\ln(p))$, donde p es la probabilidad (Probabilidad / probabilidad).

8. Informe

Contenido

Material de la muestra: Por ejemplo, acero o revestimiento WC-Co.

Método de preparación: como la pulverización térmica (HVOF).

Área de Control (Control Area) y Número de Mediciones (Number of Measurements).

Datos de tamaño máximo (Datos de tamaño máximo / Datos de tamaño máximo) y parámetros de distribución de Gumbel (Parámetros de Gumbel / Parámetros de Gumbel).

Tamaño máximo de inclusión previsto.

Fotografías y ampliación.

Fecha de la prueba (Fecha/Fecha de prueba), operador (Operador/Operador) y número de equipo (Número de equipo/Número de equipo).

Ejemplo: recubrimiento WC-Co, área de control 0,5 mm², 30 zonas, tamaño de inclusión máximo previsto 50 µm (nivel de confianza del 95 %), aumento 200x.

9. Precisión y sesgo

Precisión: Desviación dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) <10%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <15%.

Sesgo: puede ser causado por una preparación desigual de la muestra (Desigualdad en la preparación) o una distribución desigual de la inclusión (Distribución de la inclusión) y requiere aumentar el número de áreas de medición.

10. Anexos

Apéndice A: Ejemplo de ajuste de distribución de Gumbel.

Apéndice B: Pautas de medición del tamaño de inclusión.

11. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para el análisis de valores extremos de inclusiones o defectos en acero, carburo cementado y otros materiales. Ampliamente utilizado en control de calidad y análisis de fatiga.

Limitaciones:

Se requiere un número suficiente de áreas de control para garantizar la confiabilidad estadística.

No apto para materiales con densidad de inclusión muy baja.

Resumen

ASTM E2283-08(2019) "Práctica estándar para el análisis de valores extremos de inclusiones no metálicas en acero y otras características microestructurales / Práctica estándar para el análisis de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

valores extremos de inclusiones no metálicas en acero y otras características microestructurales" proporciona un método para evaluar el tamaño máximo de inclusión o defecto en acero o carburo cementado (como recubrimiento WC-Co rociado térmicamente) utilizando análisis estadístico de valores extremos, que es adecuado para el control de calidad y la evaluación del desempeño.

apéndice:

EN 13204:2017

Proyección térmica — Polvos — Composición, condiciones técnicas de suministro

Proyección térmica - Polvos - Composición, condiciones técnicas de suministro

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica la composición (Composition / composition) y las condiciones técnicas de suministro (Technical Supply Conditions / technical supply conditions) de los polvos (Powders / Powders) utilizados en el proceso de proyección térmica.

Objetos aplicables: incluidos polvos metálicos (como níquel y cobalto), polvos cerámicos (como alúmina), polvos de carburo (como WC-Co Cermet) y polvos compuestos.

Objetivo: Garantizar que el polvo cumpla con los requisitos del proceso de pulverización térmica para el control de calidad y la optimización del rendimiento.

1.2 Esta norma se aplica a la pulverización de llama, pulverización de plasma, HVOF y otros procesos.

1.3 Esta norma no cubre el proceso de fabricación de polvos (Proceso de fabricación de polvos / Proceso de preparación de polvos), sino que sólo especifica las condiciones de suministro.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

EN 657:2005 - *Proyección térmica — Terminología, clasificación*

EN 820-1:2002 - *Cerámica técnica avanzada. Métodos de ensayo de cerámica monolítica. Parte 1: Determinación de la densidad y la porosidad.*

EN ISO 3252:1999 - *Metalurgia de polvos — Vocabulario*

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a EN 657 y EN ISO 3252:

Polvo para pulverización térmica: Material granular utilizado en el proceso de pulverización térmica. la proporción de diámetros de partículas de polvo, expresados en μm .

Composición química: El contenido de cada elemento en el polvo, expresado en % en peso.

Fluidez: Tiempo que tarda un polvo en pasar a través de un embudo estándar en condiciones específicas, expresado en segundos por 50 g.

Densidad aparente: La densidad de un polvo en estado suelto, expresada en g/cm^3 .

4. Requisitos técnicos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4.1 Composición química/Composición química

Requisitos:

El contenido de cada elemento debe cumplir con las especificaciones del pedido (Especificaciones del pedido).

Contenido de impurezas (Impurezas) $\leq 0,5\%$ (a menos que se especifique lo contrario).

Métodos de prueba

Análisis espectroscópico (consulte EN ISO 10378).

Contenido de oxígeno/nitrógeno: medido mediante el método de fusión por infrarrojos.

4.2 Distribución del tamaño de partículas

Requisitos:

de tamaño de partícula / rango de tamaño de partícula) lo especifica la parte que realiza el pedido, como por ejemplo 10-45 μm , 15-53 μm .

La distribución del tamaño de partícula debe ser uniforme (Distribución uniforme / Distribución uniforme) y cumplir con la prueba de tamiz (Análisis de tamiz / Prueba de tamiz).

Métodos de prueba

Análisis por difracción láser (Análisis por difracción láser, ver EN ISO 13320).

Tamizado estándar / Tamizado estándar.

4.3 Fluidéz

Requisitos:

Fluidéz ≤ 30 s/50g (valor específico indicado por el cliente).

Métodos de prueba

Utilice un caudalímetro Hall (consulte EN ISO 4490).

4.4 Densidad aparente

Requisitos:

El rango de densidad aparente lo especifica el cliente, por ejemplo 2,5-4,5 g/cm³ (dependiendo del tipo de polvo).

Métodos de prueba

Método de copa de flujo Hall (Método de copa de flujo Hall, consulte EN ISO 3923-1).

4.5 Morfología y pureza

Requisitos:

La morfología del polvo es esférica o irregular, dependiendo del proceso.

Pureza: $\geq 99\%$ (a menos que se especifique lo contrario).

Métodos de prueba

Para observar la morfología se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM/microscopio electrónico de barrido).

Detección de impurezas mediante fluorescencia de rayos X (XRF).

5. Embalaje y marcado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Embalaje:

Utilice recipientes sellados, como baldes de plástico o latas de metal, para evitar la humedad y la contaminación.

Peso neto: 5 kg, 10 kg o según el requisito del pedido.

Calificación:

Nombre del producto: Por ejemplo, WC-12Co.

Número de lote (Batch Number) y fecha de producción (Production Date).

Nombre del fabricante (Nombre del fabricante) e instrucciones de seguridad (Instrucciones de seguridad).

6. Inspección y pruebas

Tipos de inspección:

Inspección de tipo: Para productos nuevos o nuevos lotes.

Inspección de lotes: cada lote de productos.

Métodos de prueba

Determinación de la densidad y la porosidad con referencia a EN 820-1.

Análisis de composición química según EN ISO 10378.

Muestreo:

La cantidad de muestra de cada lote (Cantidad de muestra / Volumen de muestreo) es ≥ 200 g, de acuerdo con EN ISO 14284.

7. Informe

Contenido

Descripción del producto: Como el polvo WC-12Co.

Composición química: C 5,2%, Co 12,0%.

Distribución del tamaño de partículas: 10-45 μm .

Fluidez: 25 s/50g.

Densidad aparente: 4,0 g/cm³ .

Fecha de inspección (Fecha de inspección), Número de lote (Número de lote) e Información del fabricante (Información del fabricante).

Ejemplo

Polvo WC-12Co, C 5,2%, tamaño de partícula 10-45 μm , fluidez 24 s/50g, cumple con los requisitos de EN 13204:2017.

8. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación $<5\%$, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) $<10\%$.

Sesgo: Puede deberse a la representatividad de la muestra o a variaciones en las condiciones de prueba, lo que requiere un control estricto del muestreo y las pruebas.

9. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para el suministro y control de calidad de polvos de pulverización térmica,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

especialmente para polvos de carburo cementado (como WC-Co).

Limitaciones:

No interviene ningún proceso de preparación del polvo.

Se requiere un acuerdo adicional para polvos para usos especiales.

Resumen

EN 13204:2017 Proyección térmica. Polvos. Composición, condiciones técnicas de suministro, proporciona los requisitos de composición y condiciones de suministro para polvos de proyección térmica (como polvos de carburo cementado WC-Co), incluidos la composición química, la distribución del tamaño de partícula y la fluidez, que son adecuados para el control de calidad y la optimización del proceso.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

GB/T 5242-2007

Proyección térmica — Alambres y varillas

Proyección térmica - Alambre y varilla

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica los requisitos técnicos, reglas de inspección y condiciones de entrega de alambres y varillas utilizados en el proceso de proyección térmica.

Objetos aplicables: incluidos alambres de metal puro (como zinc, aluminio), alambres de aleación (como a base de níquel, a base de cobalto) y materiales compuestos (como alambres relacionados con carburo cementado WC-Co/Cermet WC-Co).

Objetivo: Asegurar que los alambres y varillas cumplan con los requisitos de los procesos de pulverización térmica (como pulverización a la llama, pulverización de plasma) para el control de calidad y el aseguramiento del rendimiento.

1.2 Esta norma se aplica a procesos tales como proyección por arco (Arc Spraying / Arc Spraying) y proyección por llama (Flame Spraying / Flame Spraying).

1.3 Esta norma no abarca el proceso de fabricación de alambres y varillas. Únicamente especifica las especificaciones técnicas y los requisitos de inspección.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

GB/T 1267-2007 - *Métodos para el muestreo de acero y hierro fundido — Pruebas y análisis de corte / Métodos de muestreo de acero y hierro fundido — Pruebas y análisis de corte*

GB/T 223 - *Métodos para el análisis químico de hierro, acero y aleaciones / Métodos de análisis químico de hierro, acero y aleaciones*

GB/T 4340.1-2009 - *Materiales metálicos — Ensayo de dureza Vickers — Parte 1: Método de ensayo*

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Alambre: Filamento continuo con un diámetro de 0,8-4,0 mm utilizado para pulverización térmica.

Varilla: Barra o varilla corta con un diámetro de 4,0 a 10,0 mm.

Composición química: El contenido de cada elemento en un alambre o varilla de metal, expresado en porcentaje en peso.

Calidad de la superficie: Limpieza de la superficie y defectos (como grietas y rayones).

Dureza: Capacidad del material para resistir la deformación plástica local, medida en HV.

4. Requisitos técnicos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4.1 Composición química/Composición química

Requisitos:

El contenido de cada elemento debe cumplir con las especificaciones del pedido (Especificaciones del pedido).

Contenido de impurezas (Impurezas) $\leq 0,5\%$ (a menos que se especifique lo contrario).

Métodos de prueba

Análisis espectroscópico (Análisis espectroscópico/Análisis espectroscópico, consulte GB/T 223).

Contenido de oxígeno/nitrógeno: método de fusión-infrarrojo.

4.2 Dimensiones y tolerancias

Diámetro:

Alambre de metal: 0,8-4,0 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm.

Varilla: 4,0-10,0 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.

Longitud (Longitud/Longitud):

Alambre: Disponible en suministro continuo o en longitudes ordenadas.

Varilla: 500-1000 mm, tolerancia ± 5 mm.

Métodos de prueba

Mida con un calibre Vernier (Calibre Vernier) o un Micrómetro (Micrómetro).

4.3 Calidad de la superficie

Requisitos:

No hay grietas (Cracks / Cracks), rayones (Scratches / Scratches) ni sarro de óxido (Oxide Scale / Oxide Scale) en la superficie.

Limpieza (Cleanliness) cumple con GB/T 1267.

Métodos de prueba

Inspección visual (Inspección visual) o lupa de baja potencia (Lupa de baja potencia).

4.4 Dureza

Requisitos:

El rango de dureza lo especifica el cliente, por ejemplo HV 200-600 (en función del material).

Métodos de prueba

Prueba de dureza Vickers (Prueba de dureza Vickers / Prueba de dureza Vickers, consulte GB/T 4340.1), carga 5-10 N.

4.5 Rectitud

Requisitos:

Curvatura por Metro ≤ 1 mm.

Métodos de prueba

Colóquelo sobre una superficie plana y mida la desviación máxima.

5. Embalaje y marcado

Embalaje:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Utilice embalajes a prueba de humedad, como bolsas de plástico o recipientes herméticos.

Cada bobina o paquete pesa entre 5 y 20 kg o según pedido.

Calificación:

Nombre del producto: Como el alambre NiAl.

Número de lote (Número de lote / Número de lote), Fecha de producción (Fecha de producción / Fecha de producción).

Nombre del fabricante (Nombre del fabricante) e instrucciones de seguridad (Instrucciones de seguridad).

6. Inspección y pruebas

Tipos de inspección:

Inspección de tipo: Para productos nuevos o nuevos lotes.

Inspección de lotes: cada lote de productos.

Métodos de prueba

La composición química está de acuerdo con GB/T 223.

Las dimensiones y la calidad de la superficie se determinan mediante inspección visual y herramientas de medición.

La dureza está de acuerdo con GB/T 4340.1.

Muestreo:

La cantidad de muestreo de cada lote (Cantidad de muestra/Cantidad de muestreo) ≥ 1 m (alambre) o 1 pieza (varilla), de acuerdo con GB/T 1267.

7. Informe

Contenido

Descripción del producto: Alambre de NiAl, diámetro 1,6 mm.

Composición química: Ni 50%, Al 50%.

Dimensiones: Diámetro $1,60 \pm 0,05$ mm.

Dureza: HV 250 $\pm$ 20.

Calidad de la superficie: Sin defectos.

Fecha de inspección (Fecha de inspección), Número de lote (Número de lote) e Información del fabricante (Información del fabricante).

Ejemplo

Alambre de NiAl, diámetro 1,6 mm, composición química Ni 50,2%, Al 49,6%, dureza HV 245, superficie libre de defectos, conforme a GB/T 5242-2007.

8. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación <5%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <10%.

Sesgo: Puede deberse a la representatividad de la muestra o a variaciones en las condiciones de prueba, lo que requiere muestreo y control ambiental.

9. Aplicabilidad y limitaciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Aplicabilidad: Adecuado para el suministro y control de calidad de alambres y varillas para pulverización térmica, especialmente para materiales relacionados con carburo cementado.

Limitaciones:

No implica ningún proceso de fabricación.

Para cables para usos especiales se requiere un acuerdo adicional.

Resumen

La norma GB/T 5242-2007 "Proyección térmica: alambres y varillas/proyección térmica: alambres y varillas de metal" proporciona requisitos técnicos y reglas de inspección para alambres y varillas de metal para proyección térmica (como materiales relacionados con NiAl o WC-Co), que se aplican al control de calidad y aplicaciones de proceso.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

GB/T 3489-2012

Proyección térmica: examen metalográfico de recubrimientos por proyección térmica

Proyección térmica - Inspección metalográfica de recubrimientos proyectados térmicamente

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica métodos para el examen metalográfico de recubrimientos por pulverización térmica para su uso en el control de calidad y la evaluación del desempeño.

Objetos aplicables: incluidos recubrimientos metálicos (como níquel y cobalto), recubrimientos cerámicos (como alúmina) y recubrimientos de carburo (como WC-Co Cermet).

Propósito: Evaluar la microestructura, porosidad, resistencia de adhesión y defectos de los recubrimientos mediante observación microscópica.

1.2 Esta norma se aplica a los procesos de pulverización de llama, pulverización de plasma y HVOF.

1.3 Esta norma no cubre las pruebas de propiedades mecánicas de los recubrimientos, sino que sólo proporciona métodos de examen metalográfico.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

GB/T 1267-2007 - *Métodos para el muestreo de acero y hierro fundido — Pruebas y análisis de corte / Métodos de muestreo de acero y hierro fundido — Pruebas y análisis de corte*

GB/T 13298-2015 - *Métodos de inspección de la microestructura de metales*

GB/T 4338-2006 - *Materiales metálicos: ensayos de tracción a temperatura ambiente*

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma adopta los siguientes términos y definiciones, con referencia a GB/T 13298:

Recubrimiento por pulverización térmica: Recubrimiento depositado sobre un sustrato mediante un proceso de pulverización térmica.

Microestructura: Estructura de fases, tamaño de grano y características de los defectos en el recubrimiento.

Porosidad: El porcentaje de volumen de poros (Poros) en un recubrimiento, expresado en %.

Interfaz de unión: El área de conexión entre el recubrimiento y el sustrato.

Grabado: Proceso de revelación de la microestructura por medios químicos o electroquímicos.

4. Preparación de la muestra

Seccionamiento:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Utilice una sierra de diamante para cortar y evitar sobrecalentamiento o daños.

Tamaño de la muestra: se recomienda 20 mm × 10 mm × espesor del revestimiento + 5 mm.

Montaje:

Incrustar con resina epoxi (Resina Epoxi / Resina Epoxi) o resina fenólica (Resina Fenólica / Resina Fenólica) para proteger el borde del recubrimiento (Borde de Recubrimiento / Borde de Recubrimiento).

Molienda:

Utilice papel de lija de SiC (papel de lija de carburo de silicio/papel de lija de carburo de silicio), desde grueso (#120) hasta fino (#1200).

Pulido:

Utilice suspensión de diamante (Suspensión de diamante/Suspensión de diamante, tamaño de partícula 1 μm) para obtener un acabado de espejo (Acabado espejo/Acabado espejo).

Agua fuerte:

Recubrimiento de metal: ácido nítrico al 2% (Nital/ácido nítrico), tiempo de corrosión 5-10 segundos.

Recubrimientos de cerámica/carburo: reactivo de Murakami (10 g $K_3 [Fe(CN)_6]$ + 10 g KOH + 100 mL H_2O), tiempo de grabado 10-20 segundos.

5. Examen microscópico

Equipo:

Microscopio óptico (Microscopio óptico / Microscopio óptico), Aumento (Aumento / Aumento) 50-1000 veces.

Microscopio electrónico de barrido (SEM / Scanning Electron Microscope) para observación de alta resolución (Observación de alta resolución / Observación de alta resolución).

Parámetros de observación

Microestructura: distribución de fases, tamaño de grano.

Porosidad: calculada por Análisis de Imagen (Image Analysis), unidad: %.

Interfaz de unión: Observe si hay grietas (Cracks) o áreas no fusionadas (Unjoined Areas).

Defectos: Como inclusiones y poros de gas.

Aumento:

Estructura general: 50-200 veces.

Detalles: 500-1000 veces.

6. Criterios de evaluación

Porosidad:

Recubrimiento de metal: $\leq 5\%$ (valor recomendado).

Recubrimiento de cerámica/carburo: $\leq 2\%$ (valor recomendado).

Calidad del bono:

No hay grietas continuas en la interfaz de unión (No hay grietas continuas).

Área no adherida (Área no adherida) $\leq 5\%$.

de defectos :

Menor: Pequeños defectos dispersos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grave: agrietamiento o pérdida extensa.

7. Informe

Contenido

Material de revestimiento: como WC-12Co.

Método de preparación: como la pulverización térmica HVOF.

Microestructura: distribución de fases, tamaño de partícula.

Porosidad: Por ejemplo, 1,5%.

Interfaz de unión: Sin grietas.

Defectos: No hay defectos graves.

Fotografías y ampliación.

Fecha de inspección (Inspection Date), Operador (Operator) y Número de equipo (Equipment Number).

Ejemplo

Recubrimiento WC-12Co, pulverización HVOF, porosidad 1,2%, sin grietas en la interfaz de unión, aumento de 200 veces, sin defectos graves.

8. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación <5%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <10%.

Sesgo: puede ser causado por una preparación desigual de la muestra (preparación desigual) o por un grabado excesivo (sobregabado), y es necesario controlar el proceso de preparación.

9. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para el examen metalográfico de recubrimientos por pulverización térmica (como recubrimientos de carburo cementado WC-Co), ampliamente utilizado en control de calidad e investigación.

Limitaciones:

No apto para recubrimientos en spray no térmicos.

Para recubrimientos ultrafinos (<0,1 mm), es necesario ajustar el método de preparación.

Resumen

GB/T 3489-2012 "Proyección térmica. Examen metalográfico de recubrimientos por pulverización térmica / Proyección térmica. Examen metalográfico de recubrimientos por pulverización térmica" proporciona métodos de examen metalográfico para recubrimientos por pulverización térmica (como recubrimientos de carburo cementado WC-Co), que incluyen preparación, observación y evaluación, lo cual es adecuado para el control de calidad y la evaluación del rendimiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice

GB/T 38511-2020

Proyección térmica — Polvos

— Composición, condiciones técnicas de suministro

Proyección térmica - Polvos - Composición, condiciones técnicas de suministro

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica la composición, características y condiciones técnicas de suministro de los polvos utilizados en el proceso de proyección térmica.

Objetos aplicables: incluidos polvos metálicos (como a base de níquel, a base de cobalto), polvos cerámicos (como alúmina), polvos de carburo (como WC-Co Cermet) y polvos compuestos.

Propósito: Asegurar que el polvo cumpla con los requisitos del proceso de pulverización térmica para el control de calidad y la optimización del rendimiento del recubrimiento.

1.2 Esta norma se aplica a procesos como pulverización de plasma (Plasma Spraying), pulverización de llama (Flame Spraying) y procesos HVOF (High-Velocity Oxygen Fuel).

1.3 Esta norma no cubre el proceso de fabricación de polvos (Proceso de fabricación de polvos / Proceso de fabricación de polvos), sino que sólo especifica sus condiciones de suministro y criterios de aceptación.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

GB/T 1480-2010 - Polvos metálicos: determinación del tamaño de partículas mediante tamizado en seco

GB/T 1482-2010 - Polvos metálicos — Determinación del tiempo de flujo mediante un embudo calibrado (caudalímetro Hall) / Polvos metálicos — Determinación del tiempo de flujo mediante un embudo calibrado (caudalímetro Hall)

GB/T 31561-2015 - Polvos metálicos — Determinación de la densidad aparente

GB/T 19077-2016 - Distribución del tamaño de partículas — Métodos de difracción láser

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Polvo para pulverización térmica: Material granular utilizado en el proceso de pulverización térmica.

Composición química: El porcentaje de masa de cada elemento en el polvo, expresado en % en peso .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

la proporción de diámetros de partículas de polvo, expresados en μm .

Fluidez: Tiempo que tarda un polvo en pasar a través de un embudo calibrado (medido en segundos por cada 50 g).

Densidad aparente: La densidad de un polvo en estado suelto, expresada en g/cm^3 .

Morfología de partículas: La forma de las partículas de polvo, como esféricas o irregulares.

4. Clasificación

Por tipo de material:

Polvos metálicos: como NiCr y CoCr.

Polvos cerámicos : como Al_2O_3 y ZrO_2 .

Polvos de carburo: como WC-Co, Cr_3C_2 - NiCr.

Polvos compuestos: como Ni- Al_2O_3 .

Por rango de tamaño de partícula:

Polvo fino: 5-25 μm .

Polvo medio: 25-45 μm .

Polvo grueso: 45-90 μm .

5. Requisitos técnicos

5.1 Composición química/Composición química

Requisitos:

El contenido de cada elemento debe cumplir con las especificaciones del pedido (Especificaciones del pedido).

Desviación del componente principal: $\pm 0,5\%$ (a menos que se especifique lo contrario).

Impurezas: $\leq 0,3\%$ (a menos que se especifique lo contrario).

Métodos de prueba

Análisis químico: como ICP-OES (espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente).

Contenido de oxígeno/nitrógeno: método de fusión-infrarrojo.

5.2 Distribución del tamaño de partículas

Requisitos:

de tamaño de partícula debe cumplir con las especificaciones del pedido, como 10-45 μm .

Desviación de la distribución del tamaño de partícula (Desviación de distribución): $\pm 10\%$ (D10, D50, D90).

Métodos de prueba

Método de difracción láser (Método de difracción láser, consulte GB/T 19077).

Tamizado en seco (Tamizado en seco/Tamizado en seco, consulte GB/T 1480).

5.3 Fluidez

Requisitos:

Fluidez ≤ 35 s/50g (valor específico indicado por el cliente).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Para polvos finos ($<25\text{ }\mu\text{m}$), puede que no se requiera fluidez (No requerido).

Métodos de prueba

Caudalímetro Hall (caudalímetro Hall, consulte GB/T 1482).

5.4 Densidad aparente

Requisitos:

El rango de densidad aparente lo especifica el cliente, por ejemplo $2,0\text{-}5,0\text{ g/cm}^3$ (dependiendo del tipo de polvo).

Desviación: $\pm 0,2\text{ g/cm}^3$.

Métodos de prueba

Determinación de la densidad aparente (Determinación de la densidad aparente / Determinación de la densidad aparente, consulte GB/T 31561).

5.5 Morfología de partículas

Requisitos:

La forma de la partícula debe cumplir con las especificaciones del pedido, se recomienda esférica (Spherical/spherical) o casi esférica (Near-spherical/close-spherical).

La proporción de partículas irregulares (Partículas irregulares/partículas irregulares) es $\leq 10\%$.

Métodos de prueba

Observación mediante microscopio electrónico de barrido (SEM/microscopio electrónico de barrido).

5.6 Contenido de humedad

Requisitos:

Contenido de humedad $\leq 0,2\%$.

Métodos de prueba

Método de pérdida por secado: Secar a 105°C durante 2 horas y pesar.

6. Reglas de inspección

Tipos de inspección:

Inspección de fábrica: cada lote de productos.

Inspección de tipo: Cuando hay nuevos productos o cambios de procesos.

Muestreo:

La cantidad de muestra de cada lote (Cantidad de muestra / Cantidad de muestreo) es $\geq 200\text{ g}$, y las muestras se dividen después de una mezcla uniforme.

Método de muestreo: consulte GB/T 1267.

Reglas de juicio

Todos los proyectos cumplen los requisitos y están calificados.

Si algún artículo falla, todo el lote se considerará no calificado (No calificado/No calificado) y podría requerirse un nuevo muestreo y una nueva inspección (Re-inspección/Re-inspección).

7. Embalaje, transporte y almacenamiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Embalaje:

Utilice recipientes sellados, como baldes de plástico o latas de metal, para evitar la humedad (a prueba de humedad/a prueba de humedad) y la contaminación (a prueba de contaminación/a prueba de contaminación).

Peso: 5 kg, 10 kg o según el requisito del pedido.

Calificación:

Nombre del producto: Como el polvo WC-12Co.

Número de lote (Número de lote / Número de lote), Fecha de producción (Fecha de producción / Fecha de producción).

Nombre del fabricante (Nombre del fabricante) e instrucciones de seguridad (Instrucciones de seguridad).

Transporte:

Evite vibraciones severas (Vibración severa / Vibración severa) y ambientes húmedos (Ambiente húmedo / Ambiente húmedo).

Almacenamiento:

Almacenar en un ambiente seco y ventilado (Dry and Ventilated Environment / Ambiente seco y ventilado), temperatura <30°C, humedad <60%.

Periodo de almacenamiento: No más de 12 meses.

8. Certificado de calidad

Contenido

Nombre del producto (Product Name) y Especificación (Specification).

Número de lote (Batch Number) y fecha de producción (Production Date).

Resultados de la inspección: Composición química, distribución del tamaño de partículas, fluidez, densidad aparente, etc.

Declaración de conformidad: De acuerdo con GB/T 38511-2020.

Información del fabricante (Información del fabricante / Información del fabricante) y firma del inspector (Firma del inspector / Firma del inspector).

9. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (Within Laboratory / Within Laboratory) desviación <5%, Entre laboratorios (Between Laboratories / Entre laboratorios) <8%.

Sesgo: puede ser causado por irregularidades en el muestreo o variaciones en el equipo de prueba, y las condiciones de prueba deben controlarse estrictamente.

10. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para el suministro y control de calidad de polvos de pulverización térmica, especialmente para polvos de carburo cementado como WC-Co.

Limitaciones:

No interviene ningún proceso de fabricación de polvo.

Se requiere un acuerdo adicional para polvos para usos especiales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Resumen

La norma GB/T 38511-2020 «Proyección térmica — Polvos — Composición, condiciones técnicas de suministro/Proyección térmica — Polvos — Composición, condiciones técnicas de suministro» describe la composición, las características y las condiciones de suministro de los polvos de proyección térmica (como los polvos de carburo cementado WC-Co), incluyendo la composición química, la distribución granulométrica, la fluidez, etc., lo cual resulta adecuado para el control de calidad y la optimización de procesos. Esta norma mantiene cierta coherencia con las normas internacionales (como la ISO 14232-1:2017) en cuanto a requisitos técnicos, pero se adapta mejor a las necesidades específicas del mercado chino.

apéndice:

ASME B46.1-2009

Textura de la superficie (rugosidad de la superficie, ondulación y disposición)

Textura de la superficie (rugosidad, ondulación y planitud de la superficie)

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica la definición, los métodos de medición y la representación de parámetros de la textura de la superficie tal como se aplica a piezas mecánicas, recubrimientos (por ejemplo, recubrimientos por pulverización térmica) y superficies mecanizadas.

Objetos aplicables: Metales, cerámicas, plásticos y compuestos, como revestimiento de carburo cementado WC-Co.

Propósito: Proporcionar estándares cuantitativos para la rugosidad, ondulación y inclinación de la superficie para guiar el diseño, la fabricación y el control de calidad.

1.2 Esta norma se aplica tanto a las técnicas de medición con contacto (Contacto/contacto) como a las técnicas de medición sin contacto (Non-Contact /sin contacto).

1.3 Esta norma no implica el análisis de la composición química de la superficie (Composición química de la superficie / Composición química de la superficie) ni de la microestructura (Microestructura / Microestructura).

2. Referencias normativas

ASME B89.1.10-2001 - Directrices para la evaluación de instrumentos de medición dimensional

ISO 4287:1997 - Especificaciones geométricas de productos (GPS) — Textura de la superficie:

Método del perfil — Términos, definiciones y parámetros de textura de la superficie

ISO 3274:1996 - Especificaciones geométricas de productos (GPS) — Textura de la superficie:

Método de perfil — Características nominales de los instrumentos de contacto (aguja)

Nota: Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a la norma ISO 4287: Textura de la superficie: La suma de la rugosidad de la superficie (Surface Roughness), la ondulación (Waviness) y la disposición (Lay).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Rugosidad superficial (Surface Roughness): Características de las pequeñas irregularidades de la superficie, medidas en μm , con parámetros como Ra (Aritmética Promedio Rugosidad).

Ondulación: Característica de gran rugosidad periódica de la superficie, con la unidad de μm y el parámetro como Wa.

Capa: Patrón de textura que se forma durante el procesamiento de la superficie, como paralelo, perpendicular o circular.

Longitud de muestreo: La longitud de referencia utilizada al medir la rugosidad, en mm.

4. Parámetros de textura de la superficie

Parámetros de rugosidad

Ra (Rugosidad media aritmética): La media aritmética de la altura del perfil, en μm .

Rq (Root Mean Square Roughness): Valor de la raíz cuadrada media de la altura del perfil, unidad: μm .

Rz (Altura máxima del perfil): La diferencia de altura entre el punto más alto y el punto más bajo del perfil, en μm .

Parámetros de ondulación

Wa (Ondulación media aritmética): La altura media de la ondulación, en μm .

Wt (Altura total de ondulación / Altura total de ondulación): la suma de la altura máxima del pico y la profundidad del valle más bajo de la ondulación, unidad: μm .

Parámetros de Lay

Se indica mediante símbolos, como “/” (paralelo), “X” (cruzado) y “C” (circular).

5. Métodos de medición

Medición de contacto:

Equipo: Perfilómetro tipo aguja, tipo Taylor Hobson o Mitutoyo.

Lápiz: Radio de la punta $2\text{--}5\ \mu\text{m}$, Fuerza de contacto $<0,75\ \text{mN}$.

Longitud de muestreo: $0,25\ \text{mm}$, $0,8\ \text{mm}$, $2,5\ \text{mm}$ (seleccionar según el tipo de superficie).

Longitud de evaluación: 5 longitudes de muestreo (5L).

Medición sin contacto:

Equipo: Microscopio Óptico, Microscopio Confocal de Barrido Láser.

: $\leq 0,1\ \mu\text{m}$.

Condiciones de medición:

Temperatura: $20\pm 2^\circ\text{C}$.

Humedad: 40-60%.

Limpieza de superficies: Eliminación de aceite y partículas.

6. Representación de la textura de la superficie

Símbolos:

El valor de rugosidad (valor de rugosidad/valor de rugosidad), como "Ra 0,8", significa que la rugosidad media aritmética es $0,8\ \mu\text{m}$.

Valor de ondulación (Valor de ondulación), como "Wa 2.0", significa que la ondulación media aritmética es $2,0\ \mu\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dirección de la veta (Lay / Dirección de la veta) como “/” significa paralelo.

Representación gráfica:

Utilice un gráfico de perfil o un mapa de superficie 3D para representarlo .

: Ra 1,6 μm , Lay “X”, Wa 3,0 μm .

Dibujos técnicos

Marcado en el dibujo, de acuerdo con la norma ASME Y14.36.

7. Informe

Contenido

Descripción de la muestra: p. ej., recubrimiento por pulverización térmica WC-Co, sustrato de acero.

Método de medición: como el perfilómetro.

Parámetros de rugosidad: Ra 1,2 μm , Rz 6,5 μm .

de ondulación: Wa 2,5 μm .

Dirección de la veta (Lay / Dirección de la veta): Paralela “/”.

Condiciones de medición: Temperatura 20°C, humedad 50%.

Fotografías o gráficos de perfil.

Fecha de inspección (Inspection Date), Operador (Operator) y Número de equipo (Equipment Number).

Ejemplo

Recubrimiento WC-Co, medición con aguja, Ra 1,3 μm , Rz 7,0 μm , Lay “/”, temperatura 20°C, 31 de mayo de 2025.

8. Precisión y sesgo

Precisión: Dentro del laboratorio (repetibilidad) <5%, Entre laboratorios (reproducibilidad) <10%.

Sesgo: puede verse afectado por el desgaste de la aguja, la limpieza de la superficie o las condiciones ambientales y requiere calibración del equipo y condiciones de control.

9. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad: Adecuado para la medición de la textura de la superficie de piezas mecánicas y recubrimientos por pulverización térmica (como recubrimientos WC-Co), guía de procesamiento y control de calidad.

Limitaciones:

No apto para química de superficies o análisis microestructural.

Se requieren métodos de medición especiales para materiales altamente flexibles o ultra suaves.

Resumen

ASME B46.1-2009 «Textura de la superficie (rugosidad de la superficie, ondulación y disposición)» proporciona métodos para medir y expresar la textura de la superficie, incluida la rugosidad, la ondulación y la dirección de la textura, lo cual es adecuado para el control de calidad y la evaluación del rendimiento de recubrimientos por pulverización térmica (como los recubrimientos WC-Co).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

EN 10204:2004 "Productos metálicos — Tipos de documentos de inspección / Productos metálicos — Tipos de documentos de inspección" es una versión mixta de la norma en chino e inglés. Se basa en la norma formal publicada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y se aplica a los requisitos de los documentos de inspección para productos metálicos, incluida la verificación de materiales relacionados con los carburos cementados (como los recubrimientos por proyección térmica).

EN 10204:2004

Productos metálicos: tipos de documentos de inspección

Productos metálicos: tipos de documentos de inspección

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica los documentos de inspección para productos metálicos.

Los tipos y requisitos de los Documentos de Inspección/Documentos de Inspección) se aplican a la Aceptación de Entrega/Aceptación de Entrega.

Objetos aplicables : Incluye todos los productos metálicos, como acero, carburos cementados (como el recubrimiento por pulverización térmica WC-Co), aluminio, etc., así como sus productos semiacabados y productos terminados.

Propósito : Define el tipo de documento de inspección para garantizar que el producto cumple con los requisitos del pedido y facilita la verificación de calidad.

1.2 Esta norma se aplica a la certificación de calidad (Certificación de Calidad) de los productos en el momento de su entrega.

1.3 Esta norma no cubre métodos de inspección específicos (Métodos de inspección) sino que sólo especifica el contenido y formato de los documentos.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

EN 10168:2004 - Productos de acero — Documentos de inspección — Lista de información y descripción

EN ISO 9000:2000 - Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario / Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario

Nota : Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, con referencia a la norma EN ISO 9000:

Documento de inspección : Documento escrito que prueba que el producto cumple con los requisitos solicitados.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Fabricante : Entidad responsable de producir productos metálicos.

Representante de inspección : Un inspector independiente designado por el Comprador o un Tercero.

Declaración de conformidad : Declaración del fabricante que declara que el producto cumple con los requisitos solicitados.

Certificado de inspección : Documento que contiene resultados de inspección específicos.

4. Tipos de documentos de inspección

4.1 Tipo 2.1 - Declaración de Cumplimiento de la Orden

Contenido

El fabricante declara que el producto cumple con los requisitos solicitados.

No hay resultados de pruebas específicas.

Ejemplo :

Descripción del producto: Polvo de recubrimiento WC-Co.

Número de pedido (Número de pedido).

Declaración de conformidad: El producto es conforme con las especificaciones del pedido (Conforms to Order Specification / Meets order specifications).

4.2 Tipo 2.2 - Informe de prueba

Contenido

El fabricante declara que el producto cumple con los requisitos solicitados.

Contiene resultados de pruebas no específicos (Resultados de pruebas no específicos), como datos de pruebas por lotes (Pruebas por lotes).

Ejemplo :

Descripción del producto: Polvo de recubrimiento WC-12Co.

Composición química/Composición química: Co 12±0,5%.

de partícula: 10-45 µm .

4.3 Tipo 3.1 - Certificado de inspección

Contenido

Emitido por el Representante de Inspección Autorizado del fabricante (Representante de Inspección Autorizado).

Contiene resultados de pruebas específicos (Resultados de pruebas específicos / Resultados de pruebas específicos), como composición química, propiedades mecánicas (Propiedades mecánicas / Propiedades mecánicas).

Validación : La inspección representa independencia del Departamento de Fabricación.

Ejemplo :

Descripción del producto: Polvo de recubrimiento WC-Co.

Composición química: C 5,3%, Co 12,1%.

Microestructura: Porosidad <1%.

Firmante: Representante del Departamento de Calidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4 Tipo 3.2 - Certificado de inspección

Contenido

Emitido conjuntamente por el representante de inspección autorizado del fabricante y el representante designado del comprador (Representante del comprador/Representante designado del comprador) o un tercero.

Contiene resultados de pruebas específicas.

Validación : Requiere participación del comprador o de un tercero.

Ejemplo :

Descripción del producto: Polvo de recubrimiento WC-Co.

Dureza: HV 1200±50.

Emitido por: Representante de calidad del fabricante y representante del comprador (Representante del Comprador).

5. Requisitos de contenido de los documentos

Información básica

Nombre y dirección del fabricante .

Número de pedido (Número de pedido) y Descripción del producto (Descripción del producto).

Fecha de Entrega (Delivery Date) y Cantidad (Quantity).

Información de inspección (aplicable a los tipos 2.2, 3.1 y 3.2):

Norma de inspección: como ISO 14923.

Resultados de la prueba (Test Results): como composición química, propiedades físicas (Physical Properties).

Información de emisión :

Nombre y cargo del firmante / Nombre y cargo del firmante.

Fecha de emisión (Fecha de emisión / Fecha de emisión).

6. Validación y transferencia de documentos

Validación

Todos los documentos deben estar firmados por una persona autorizada (Firma Autorizada).

Los documentos electrónicos deben cumplir con el Reglamento de Firma Electrónica.

Transferir :

La documentación se entrega con el producto (Entregado con el producto).

O bien, si se proporciona de forma electrónica, se debe garantizar la trazabilidad.

7. Informe

Contenido

Tipo de documento: como el tipo 3.1.

Descripción del producto: Como el polvo de recubrimiento WC-Co.

Resultados de pruebas: como dureza y porosidad.

Declaración de Cumplimiento (Declaración de Cumplimiento).

Ejemplo :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Certificado tipo 3.1, polvo de recubrimiento WC-12Co, dureza HV 1210, porosidad 0,8%, de acuerdo con los requisitos del pedido.

8. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Aplicable a la certificación de calidad de productos metálicos en el momento de su entrega. Se utiliza ampliamente en la verificación de calidad de materiales como el carburo cementado y el acero.

Limitaciones :

No implica métodos de prueba específicos y requiere referencia a otras normas (como ISO 14923). El tipo de documento debe seleccionarse en función de los requisitos del contrato.

Resumen

EN 10204:2004 "Productos metálicos — Tipos de documentos de inspección / Productos metálicos — Tipos de documentos de inspección" proporciona los tipos y requisitos de los documentos de inspección para productos metálicos (como recubrimientos de WC-Co proyectados térmicamente) en el momento de la entrega, incluidos los tipos 2.1, 2.2, 3.1 y 3.2, que son adecuados para la verificación y aceptación de la calidad.

apéndice:

ISO 6508-1:2016

Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de ensayo

**Materiales metálicos - Prueba de dureza Rockwell
— Parte 1: Métodos de prueba**

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica el método de prueba de dureza Rockwell para materiales metálicos, incluido el equipo de prueba, el procedimiento de prueba y el cálculo del valor de dureza.

Objetos aplicables : acero, hierro fundido, metales no ferrosos y sustrato de revestimiento por pulverización térmica (como el sustrato de revestimiento WC-Co).

Propósito : Medir la dureza de los materiales para el control de calidad, la selección de materiales y la evaluación del rendimiento.

1.2 Esta norma cubre la dureza Rockwell regular (Dureza Rockwell regular / Dureza Rockwell regular, HRA, HRB, HRC, etc.) y la dureza Rockwell superficial (Dureza Rockwell superficial / Dureza Rockwell superficial, HR15N, HR30T, etc.).

1.3 Esta norma no se aplica a materiales no metálicos (Non-Metallic Materials / Non-Metallic Materials) o materiales con un espesor menor al espesor mínimo requerido por el ensayo (Minimum Thickness / Minimum Thickness).

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 6508-2:2015 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo

ISO 6508-3:2015 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia

ISO 376:2011 - Materiales metálicos — Calibración de instrumentos de prueba de fuerza utilizados para la verificación de máquinas de ensayo uniaxiales

Nota : Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Dureza Rockwell : El valor de dureza de la profundidad de indentación residual se mide después de aplicar la fuerza de prueba preliminar (Fuerza de Prueba Preliminar) y la fuerza de prueba total (Fuerza de Prueba Total) al material mediante el penetrador. La unidad es HR (Número de Dureza Rockwell).

Penetrador : Cono de diamante (120°) o bola de acero (1/16 pulgada , 1/8 pulgada , 1/4 pulgada).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Fuerza de prueba preliminar : La fuerza aplicada inicialmente, como 10 kgf (normal) o 3 kgf (superficial).

de prueba total : incluye fuerza de prueba preliminar y fuerza de prueba adicional, como 60 kgf , 100 kgf , 150 kgf (convencional) o 15 kgf , 30 kgf , 45 kgf (superficial).

Profundidad de sangría : La profundidad de sangría restante después de eliminar la fuerza de prueba total, en μm .

4. Equipo de prueba

Máquina de prueba de dureza / Probador de dureza :

Cumple con los requisitos de la norma ISO 6508-2, operación automática o manual (Operación automática o manual / Operación automática o manual).

Precisión de aplicación de fuerza (Precisión de aplicación de fuerza) $\pm 0,5\%$.

Penetrador :

Cono de diamante: radio de punta 0,2 mm, dureza ≥ 9000 HV.

Bolas de acero: diámetro 1/16 de pulgada (1,588 mm), 1/8 de pulgada (3,175 mm), 1/4 de pulgada (6,35 mm), dureza ≥ 850 HV.

Bloques de referencia :

Para la calibración, el rango de dureza cubre HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70, etc., de acuerdo con la norma ISO 6508-3.

Condiciones ambientales

Temperatura: $23 \pm 5^\circ\text{C}$.

Humedad: 30-80%.

5. Procedimiento de prueba

Preparación de la muestra :

Planitud de la superficie (Superficie plana / Planitud de la superficie), rugosidad (Rugosidad / Rugosidad) $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$.

Elimina el aceite (Oil/Oil) y la capa de óxido (Oxide Layer/Oxide Layer).

Espesor mínimo: 0,5 mm (capa superficial), 1,0 mm (convencional), consulte la Tabla 1 para obtener más detalles.

Selección de fuerza de prueba (Selección de fuerza de prueba) :

Rockwell convencional : fuerza de prueba preliminar 10 kgf , fuerza de prueba total 60 kgf (HRB), 100 kgf (HRC), 150 kgf (HRA).

superficial : fuerza de prueba preliminar 3 kgf , fuerza de prueba total 15 kgf (HR15N), 30 kgf (HR30T), 45 kgf (HR45W).

Pasos de la prueba :

Aplice una fuerza de prueba preliminar (Aplicar fuerza de prueba preliminar / Aplicar fuerza de prueba preliminar) y manténgala así durante 1 a 5 segundos.

Aplice fuerza de prueba adicional (Aplicar fuerza de prueba adicional) y manténgala así durante 5 a 10 segundos.

Retire la fuerza de prueba total y mida la profundidad de sangría residual.

Medida :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El valor de dureza lo lee automáticamente el durómetro en HR.

El espaciado mínimo para cada medición debe ser ≥ 3 mm y la distancia hasta el borde debe ser $\geq 2,5$ mm.

6. Cálculo del valor de dureza

Fórmula (Fórmula / fórmula) :

$$FC = 100 - h \times k$$

h: profundidad de sangría residual (unidad: 0,002 mm).

k: constante proporcional (en función de la altura de presión y de la fuerza de prueba, como por ejemplo k=500 en HRC).

Tabla 1: Escalas de dureza Rockwell (Escalas de dureza Rockwell) :

ISO 6508-2:2015

Materiales metálicos: prueba de dureza Rockwell

— **Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo**

Materiales metálicos - Prueba de dureza Rockwell

— **Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo**

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica los métodos de verificación y calibración para las máquinas de ensayo utilizadas para la prueba de dureza Rockwell en materiales metálicos.

Objetos aplicables : Incluye máquinas de prueba de dureza Rockwell regulares y máquinas de prueba de dureza Rockwell superficiales, adecuadas para acero, hierro fundido y sustrato de revestimiento por pulverización térmica (como el sustrato de revestimiento WC-Co).

Objetivo : Garantizar que la máquina de pruebas cumpla con los requisitos de la norma ISO 6508-1 y proporcione una medición de dureza confiable para el control de calidad y la conformidad con las normas.

1.2 Esta norma cubre la verificación inicial, la verificación periódica y la verificación después de la calibración.

1.3 Esta norma no cubre el diseño ni la fabricación de máquinas de prueba.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 6508-1:2016 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de ensayo

ISO 6508-3:2015 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia

ISO 376:2011 - Materiales metálicos — Calibración de instrumentos de prueba de fuerza utilizados para la verificación de máquinas de ensayo uniaxiales

Nota : Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a la norma ISO 6508-1:

Verificación : Confirmación de que el rendimiento de la máquina de pruebas cumple con los requisitos especificados, incluidas las comprobaciones de errores y repetibilidad.

Calibración : Ajuste de la máquina de ensayo utilizando bloques de referencia para eliminar desviaciones sistemáticas.

Fuerza de prueba (Fuerza de prueba / Fuerza de prueba) : incluye la fuerza de prueba preliminar (Fuerza de prueba preliminar / Fuerza de prueba preliminar) y la fuerza de prueba total (Fuerza de prueba total / Fuerza de prueba total) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Penetrador : Un cono de diamante (cono de diamante) o una bola de acero (bola de acero) que se utiliza para aplicar la fuerza de prueba.

Bloque de referencia : un bloque estándar con valor de dureza conocido que se utiliza para calibración y verificación.

4. Requisitos para la verificación y calibración

Verificación inicial

Esto se hace después de comprar una nueva máquina de prueba o de realizar una reparación importante.

Cubre todas las escalas (Scale / Scales) y fuerzas de prueba (Test Forces / Test Forces).

Verificación periódica (Verificación periódica) :

Realizar cada 12 meses o ajustar según la frecuencia de uso (por ejemplo, cada 6 meses para uso de alta frecuencia).

Compruebe si el error (Error/Error) está dentro del rango de tolerancia (Dentro de la tolerancia/Rango permitido).

Verificación después de la calibración (Verificación después de la calibración) :

Se realiza inmediatamente después de la calibración para confirmar la efectividad del ajuste (Efectividad del ajuste).

Error permisible :

Rockwell convencional : $\pm 0,5$ HR (HRA, HRB, HRC).

Rockwell superficial : $\pm 0,8$ HR (HR15N, HR30T, etc.).

5. Equipo de prueba

Máquina de prueba

Cumple con los requisitos de la norma ISO 6508-1, precisión de aplicación de fuerza (Force Application Accuracy) $\pm 0,5\%$.

Equipado con carga de penetrador automática o manual.

Penetrador :

Cono de diamante: radio de punta 0,2 mm, dureza ≥ 9000 HV.

Bolas de acero: diámetro 1/16 de pulgada (1,588 mm), 1/8 de pulgada (3,175 mm), 1/4 de pulgada (6,35 mm), dureza ≥ 850 HV.

Bloques de referencia :

Cumpliendo con la norma ISO 6508-3, el rango de dureza cubre HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70, etc.

Utilice al menos 3 bloques de referencia por regla.

Herramientas de medición :

Instrumento de comprobación de fuerza, precisión $\pm 0,1\%$, de acuerdo con ISO 376.

6. Procedimiento de verificación

Preparación

Indentador limpio (Clean Indenter) y superficie del bloque de referencia (Reference Block Surface).

Asegurar las condiciones ambientales: temperatura $23 \pm 5^\circ\text{C}$, humedad 30-80%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pasos de la prueba :

Seleccione la escala adecuada (Seleccionar escala adecuada) y pruebe la fuerza (Prueba de fuerza) .
Realice 5 mediciones (5 mediciones / 5 mediciones) en cada bloque de referencia y registre los valores de dureza (Valores de dureza / Valores de dureza).

Calcular el promedio (Promedio/Promedio) y la desviación estándar (Desviación estándar/Desviación estándar).

Comprobación de errores (Comprobación de errores) :

La desviación (Desviación / Desviación) del valor medido respecto del valor nominal (Valor nominal / Valor nominal) del bloque de referencia no debe superar el error admisible (Error admisible / Error admisible).

Repetibilidad: Diferencia máxima entre 5 mediciones $\leq 0,3$ HR (convencional) o $\leq 0,5$ HR (superficial).

7. Procedimiento de calibración**Ajuste**

Si el resultado de la verificación excede el error permisible (Excede el error permisible / Excede el error permisible), ajuste la fuerza de prueba (Fuerza de prueba / Fuerza de prueba) o el sistema de medición de profundidad (Sistema de medición de profundidad / Sistema de medición de profundidad) de la máquina de prueba.

Calibre utilizando un bloque de referencia y ajuste hasta que el valor medido sea consistente con el valor nominal (Consistente con el valor nominal).

Verificación

Después de la calibración, repita la verificación (Repetir verificación) utilizando diferentes bloques de referencia para confirmar la efectividad del ajuste (Efectividad del ajuste).

Registro :

Registre los valores de ajuste antes y después y la fecha de calibración.

8. Informe**Contenido**

El modelo (Model) y el número de serie (Serial Number) de la máquina de pruebas.

Fecha de verificación o calibración (Fecha de verificación o calibración).

Bloques de referencia utilizados: Rango de dureza y valor nominal.

Resultados de la medición: Valor medio, desviación estándar y desviación máxima.

Si se cumple el error permisible (Error Permissible).

Operador (Operador) y Estado de Calibración del Equipo (Estado de Calibración del Equipo).

Ejemplo :

Máquina de pruebas modelo XYZ-100, número de serie 12345, fecha de calibración 31 de mayo de 2025, bloque de referencia HRC 50-60, HRC promedio 59,8, desviación $\pm 0,2$ HR, cumple con los requisitos.

9. Precisión y sesgo

Precisión : Dentro del laboratorio (Dentro del laboratorio / Repetibilidad) $< 0,3$ HR, Entre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

laboratorios (Entre laboratorios / Reproducibilidad) <0,5 HR.

Sesgo : puede ser causado por el desgaste del penetrador, la falta de homogeneidad del bloque de referencia o cambios ambientales y requiere mantenimiento regular del equipo.

10. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Aplicable a la verificación y calibración de máquinas de prueba de dureza Rockwell para garantizar la precisión de las pruebas de dureza de materiales metálicos, incluida la aplicación de sustratos de recubrimiento por pulverización térmica.

Limitaciones :

No apto para máquinas de prueba de dureza que no sean Rockwell.

Para requisitos de alta precisión (como $\pm 0,1$ HR), se debe utilizar un bloque o dispositivo de referencia de grado superior .

Resumen

La norma ISO 6508-2:2015 "Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo / Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo" proporciona métodos de verificación y calibración para máquinas de ensayo de dureza Rockwell para garantizar que cumplan con los requisitos de la norma ISO 6508-1 y sean aplicables a las pruebas de dureza de materiales metálicos (como sustratos recubiertos de WC-Co).

La norma ISO 6508-3:2015 "Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia" es una versión combinada en chino e inglés de la norma, que detalla sus cláusulas y requisitos completos. Su contenido se basa en la norma oficial publicada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y es aplicable a la calibración de bloques de referencia para el ensayo de dureza Rockwell, garantizando la precisión y trazabilidad de su valor de dureza. Además, se utiliza para la verificación de la dureza de materiales metálicos (como sustratos de recubrimiento por pulverización térmica o materiales relacionados con el carburo cementado).

ISO 6508-3:2015

Materiales metálicos: prueba de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia Materiales metálicos - Prueba de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica el método de calibración de los bloques de referencia utilizados en el ensayo de dureza Rockwell. Es aplicable al ensayo de dureza de materiales metálicos.

Objetos aplicables : incluye bloques de referencia de dureza Rockwell regulares (como HRA, HRB, HRC) y bloques de referencia de dureza Rockwell superficiales (como HR15N, HR30T), aplicables a acero (acero), hierro fundido (hierro fundido) y sustrato de revestimiento por pulverización térmica (como sustrato de revestimiento WC-Co).

Propósito : Garantizar valores de dureza precisos de bloques de referencia con trazabilidad para la verificación y calibración de máquinas de prueba de dureza Rockwell.

1.2 Esta norma se aplica a los laboratorios de calibración y a los fabricantes.

1.3 Esta norma no cubre el proceso de fabricación (Manufacturing Process / Manufacturing Process) ni la selección de materiales (Material Selection / Material Selection) para bloques de referencia.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 6508-1:2016 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de ensayo

ISO 6508-2:2015 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo

ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración

Nota : Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones, haciendo referencia a la norma ISO 6508-1:

Bloque de referencia : un bloque estándar con un valor de dureza conocido que se utiliza para calibrar y verificar las máquinas de prueba de dureza Rockwell.

Calibración : Determinar el valor de dureza de un bloque de referencia utilizando una máquina de pruebas estándar y garantizar su trazabilidad.

Trazabilidad : Los valores de dureza de los bloques de referencia están vinculados a Normas Internacionales o Nacionales a través de una cadena de calibración.

Uniformidad : Desviación del valor de dureza de la superficie del bloque de referencia, en HR.

4. Requisitos para los bloques de referencia

Material

Generalmente acero (Steel/Steel) o carburo (Carbide/Carbide) con dureza uniforme (Uniform Hardness/Uniform Hardness).

Superficie libre de defectos / Superficie libre de defectos, como grietas (Cracks) o inclusiones (Inclusiones).

Dimensiones :

Espesor: ≥ 6 mm (Rockwell convencional) o ≥ 2 mm (Rockwell superficial).

Área de superficie ≥ 25 mm $\times$ 25 mm, se permiten al menos 5 mediciones.

Calidad de la superficie

Rugosidad (Rugosidad) $Ra \leq 0,4 \mu m$.

Planitud (Planitud) $\leq 0,005$ mm.

Rango de dureza :

convencional : HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70.

poco profundo : HR15N 70-94, HR30T 40-80.

5. Procedimiento de calibración

Equipo de calibración

Utilice una máquina de prueba de dureza Rockwell estándar (máquina de prueba de dureza Rockwell estándar) de acuerdo con la norma ISO 6508-2.

Penetrador: Cono de diamante (radio de la punta 0,2 mm, dureza ≥ 9000 HV) o bola de acero (1/16, 1/8, 1/4 de pulgada , dureza ≥ 850 HV).

Condiciones ambientales

Temperatura: $23 \pm 2^\circ C$.

Humedad: 30-80%.

Pasos de calibración :

Limpiar la superficie del bloque de referencia (Limpiar la superficie del bloque de referencia).

Seleccione la escala adecuada (Seleccionar escala adecuada) y pruebe la fuerza (Prueba de fuerza) .

Realice mediciones en al menos 5 puntos de medición distribuidos uniformemente en el bloque de referencia.

Calcular el valor de dureza promedio (Average Hardness Value) y la uniformidad (Uniformity).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Requisito de **uniformidad**

La diferencia máxima entre los puntos de medición (Diferencia máxima / Diferencia máxima) es $\leq 0,5$ HR (Rockwell convencional) o $\leq 0,8$ HR (Rockwell superficial).

6. Resultados de la calibración

Valor de dureza :

El valor de dureza de calibración del bloque de referencia es el valor promedio (Valor promedio / Valor promedio), la unidad es HR.

Ejemplo: HRC 60,2 $\pm$ 0,3.

Incertidumbre

Incertidumbre de calibración $\leq \pm 0,5$ HR (Rockwell convencional) o $\pm 0,8$ HR (Rockwell superficial).

Cumple con los requisitos de ISO/IEC 17025 y proporciona una declaración de incertidumbre.

Trazabilidad

Los resultados de la calibración deben ser trazables a estándares nacionales o internacionales, por ejemplo, a través de un bloque de referencia primario.

7. Certificado de calibración

Contenido

Identificación del bloque de referencia (Identificación del bloque de referencia): como el número de serie (Número de serie).

Escala (Escala / Escala) y valor de dureza (Valor de dureza / Valor de dureza): como HRC 60,2 $\pm$ 0,3.

Uniformidad: La diferencia máxima entre los puntos de medición.

Incertidumbre: Por ejemplo, $\pm 0,4$ HR.

Fecha de calibración (Fecha de calibración / Fecha de calibración) y período de validez (Período de validez / Período de validez): Generalmente 2 años.

del laboratorio de calibración : Nombre, dirección y estado de acreditación ISO/IEC 17025.

Ejemplo :

Número de serie del bloque de referencia 12345, escala HRC, valor de dureza 60,1 $\pm$ 0,3, uniformidad 0,4 HR, incertidumbre $\pm 0,4$ HR, fecha de calibración 31 de mayo de 2025, válido hasta el 31 de mayo de 2027.

8. Precisión y sesgo

Precisión : Dentro del laboratorio (Dentro del laboratorio / Repetibilidad) $< 0,3$ HR, Entre laboratorios (Entre laboratorios / Reproducibilidad) $< 0,5$ HR.

Sesgo : puede ser causado por la falta de homogeneidad de la superficie del bloque de referencia, un error de la máquina de prueba o las condiciones ambientales y requiere un control estricto del proceso de calibración.

9. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Adecuado para la calibración de bloques de referencia de dureza Rockwell, lo que garantiza la precisión y trazabilidad de las pruebas de dureza, y ampliamente utilizado para la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verificación de la dureza de sustratos de recubrimiento por pulverización térmica.

Limitaciones :

No apto para bloques de referencia de dureza que no sean Rockwell.

El uso excesivo del bloque de referencia (Número de usos / Número de usos) puede provocar desgaste de la superficie (Desgaste de la superficie / Desgaste de la superficie) y requerir una recalibración periódica (Recalibración / Recalibración).

Resumen

La norma ISO 6508-3:2015 "Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia / Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de referencia" proporciona un método de calibración para bloques de referencia de dureza Rockwell que garantiza la precisión y trazabilidad de sus valores de dureza. Es adecuada para la verificación de ensayos de dureza de materiales metálicos (como sustratos recubiertos de WC-Co).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

apéndice:

ISO 18265:2013 - Materiales metálicos
— Conversión de valores de dureza
Materiales metálicos
— Conversión de valores de dureza

1. Alcance

1.1 Esta norma especifica los métodos de conversión (métodos de conversión) para los valores de dureza (valores de dureza) de materiales metálicos (materiales metálicos) entre diferentes escalas de dureza (escalas de dureza).

Objetos aplicables : acero, hierro fundido, metales no ferrosos y sustrato de revestimiento por pulverización térmica (como el sustrato de revestimiento WC-Co).

Objetivo : Proporcionar tablas de conversión (Tablas de conversión / Fórmulas de conversión) entre escalas de dureza para su uso en la comparación de materiales (Comparación de materiales / Comparación de materiales) y el control de calidad (Control de calidad / Control de calidad).

1.2 Esta norma cubre las siguientes escalas de dureza:

Dureza Rockwell (Dureza Rockwell): HRA, HRB, HRC, HR15N, etc.

Dureza Brinell (Dureza Brinell): HBW (p. ej. HBW 10/3000).

Dureza Vickers (Dureza Vickers): HV (por ejemplo, HV 10).

Dureza Knoop (Knoop Dureza) : HK.

1.3 Esta norma no se aplica a materiales no metálicos ni a materiales con tratamiento térmico especial a menos que se especifique lo contrario.

2. Referencias normativas

Esta norma se refiere a los siguientes documentos, y sus cláusulas se convierten en cláusulas de esta norma a través de su referencia en esta norma:

ISO 6506-1:2014 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Brinell — Parte 1: Método de ensayo

ISO 6507-1:2018 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Vickers — Parte 1: Método de ensayo

ISO 6508-1:2016 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de ensayo

ISO 4545-1:2017 - Materiales metálicos — Ensayo de dureza Knoop — Parte 1: Método de ensayo

Nota : Si existe una versión revisada, se aplicará la versión más reciente.

3. Términos y definiciones

Esta norma utiliza los siguientes términos y definiciones:

Conversión del valor de dureza : el proceso de convertir el valor medido (valor medido) de una escala de dureza al valor de otra escala de dureza.

Escala de dureza : un método para expresar valores de dureza correspondientes a un método de prueba de dureza específico, como HRC, HBW y HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tabla de conversión : Una tabla de valores de dureza basada en datos experimentales o modelos teóricos.

Incertidumbre : El error que puede introducirse durante el proceso de conversión del valor de dureza, expresado en unidades de valor de dureza (como HR, HV).

4. Principios de la conversión

Clasificación de materiales

La conversión de dureza debe tener en cuenta el tipo de material (Tipo de material/Tipo de material), como acero con bajo contenido de carbono (Acero con bajo contenido de carbono/Acero con bajo contenido de carbono), acero de aleación (Acero de aleación/Acero de aleación), aleación de aluminio (Aleación de aluminio/Aleación de aluminio).

Diferentes materiales tienen diferentes relaciones de conversión.

Condiciones de prueba :

de dureza debe medirse en las mismas condiciones (Same Conditions), como temperatura (Temperatura) $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ y rugosidad de la superficie (Surface Roughness) $Ra\leq 0.8\text{ }\mu\text{m}$.

La fuerza de prueba (Test Force / Test force) y el penetrador (Indenter / Indenter) deben cumplir con las normas de prueba de dureza pertinentes (como ISO 6508-1).

Incertidumbre

La incertidumbre del valor convertido suele ser de $\pm 5\%$ (dependiendo de la escala y el material). Los valores convertidos son sólo de referencia (For Reference Only) y no sustituyen la medición directa (Direct Measurement).

5. Tablas de conversión

1 : Conversión de dureza para acero

Ejemplo:

CDH	Peso neto alto (10/3000)	Alto voltaje (10)
20	238	240
40	392	420
60	654	720

Tabla 2: Conversión de dureza para hierro fundido (Conversión de dureza para hierro fundido / Conversión de dureza para hierro fundido) :

Ejemplo:

Banco de recursos humanos	Peso neto alto (10/3000)
50	149
80	228

Tabla 3: Conversión de dureza para metales no ferrosos (Conversión de dureza para metales no ferrosos / Conversión de dureza para metales no ferrosos) :

Ejemplo:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Banco de recursos humanos	Alto voltaje (5)
40	75
70	130

Nota (Nota / Nota) :

La tabla de conversión completa se encuentra en el Anexo de la norma.

Las tablas de conversión se basan en amplios datos experimentales y son adecuadas para uso general.

6. Fórmulas de conversión

Ejemplo de fórmula :

Conversión de HRC a HV (acero bajo en carbono):

$$HV = 100 \times (HRC + 10) / 3$$

Conversión de HBW a HRC (acero de aleación):

$$HRC = 0,087 \times HBW - 5,5$$

Ámbito de aplicación :

La fórmula es aplicable a un rango de dureza específico (rango de dureza específico), como HRC 20-60.

Debe seleccionar la fórmula correspondiente según el tipo de material.

Incertidumbre

La incertidumbre de la fórmula de conversión suele ser de $\pm 8\%$, dependiendo del material y del rango de dureza.

7. Precauciones para el uso de tablas de conversión

Consistencia del material

Asegúrese de que el tipo de material antes y después de la conversión sea consistente (Tipo de material consistente/El tipo de material es consistente), como evitar convertir HRC de acero con bajo contenido de carbono a HV de acero de alta aleación.

Condiciones de prueba :

El valor de dureza debe medirse en condiciones estándar (Measured Under Standard Conditions / Medido en condiciones estándar), si la fuerza de prueba, el penetrador y la calidad de la superficie (Surface Quality / Calidad de la superficie) cumplen con los requisitos.

Limitaciones de conversión :

Los valores convertidos pueden tener desviaciones debido a diferencias en la microestructura.

Para dureza alta ($HRC > 60$) o dureza baja ($HRB < 20$), el error de conversión es mayor (error mayor).

8. Informe

Contenido

Valor de dureza original: por ejemplo, HRC 55.0.

Valor de dureza convertido: por ejemplo, HV 580.

Tipo de material: como acero de aleación.

Tabla de conversión o fórmula utilizada: Ver Tabla 1.

Incertidumbre (Incertidumbre): como por ejemplo $\pm 5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fecha de inspección (Fecha de inspección) y Operador (Operador).

Ejemplo :

Acero aleado, valor original HRC 55,0, convertido a HV 580, utilizando la Tabla 1, incertidumbre $\pm 5\%$, fecha xx/xx/ 2025.

9. Precisión y sesgo

Precisión : La repetibilidad del valor convertido depende de la precisión de la medición original, que normalmente es $\leq \pm 3\%$.

Inclinación :

Puede deberse a diferencias en la microestructura del material (Microestructura del material / Microestructura del material), la condición del tratamiento térmico (Condición del tratamiento térmico / Condición del tratamiento térmico) o las condiciones de prueba (Condiciones de prueba / Condiciones de prueba).

El rango de desviación suele ser de $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$.

10. Aplicabilidad y limitaciones

Aplicabilidad : Adecuado para la conversión del valor de dureza de acero, hierro fundido y metales no ferrosos, y ampliamente utilizado para la comparación de dureza de sustratos de recubrimiento por pulverización térmica.

Limitaciones :

No apto para materiales no metálicos.

Los materiales especiales tratados térmicamente (como templados y revenidos) deben utilizarse con precaución (Utilizar con precaución).

Los valores convertidos son sólo de referencia, se prefiere la medición directa.

Resumen

La norma ISO 18265:2013 "Materiales metálicos — Conversión de valores de dureza" proporciona un método para convertir los valores de dureza de materiales metálicos entre diferentes escalas (como Rockwell, Brinell y Vickers), incluyendo tablas de conversión y fórmulas. Es adecuada para el control de calidad y la comparación de materiales, pero cabe destacar sus limitaciones.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

apéndice:

Dureza Rockwell, dureza Brinell, dureza Vickers, dureza Knoop tabla de proporciones

Tabla comparativa de durezas Rockwell, Brinell, Vickers y Knoop
Tabla comparativa de durezas Rockwell, Brinell, Vickers y Knoop

Aspecto	Dureza Rockwell	Dureza Brinell	Dureza Vickers	Dureza Knoop
Definición	Las fuerzas de prueba iniciales y totales se aplican mediante el penetrador y se mide la profundidad de indentación residual para calcular el valor de dureza en HR (como HRC).	La fuerza de prueba se aplica mediante un penetrador de bola de acero, se mide el diámetro de la sangría y se calcula el valor de dureza HBW (por ejemplo, HBW 10/3000).	La fuerza de prueba se aplica mediante un penetrador de pirámide cuadrangular de diamante y se mide la longitud diagonal de la sangría para calcular el valor de dureza (en HV).	La fuerza de prueba se aplica mediante un penetrador de pirámide larga de diamante y se mide la longitud diagonal de la sangría para calcular el valor de dureza en HK (por ejemplo, HK 0,5).
Estándar	ISO 6508-1:2016	ISO 6506-1:2014	ISO 6507-1:2018	ISO 4545-1:2017
Penetrador	Cono de diamante (120°, radio de la punta 0,2 mm) o bola de acero (1/16, 1/8, 1/4 de pulgada).	Bola de carburo de tungsteno, generalmente con diámetros de 10 mm, 5 mm y 2,5 mm.	Pirámide de Diamante, con un ángulo en el vértice de 136°.	Pirámide rómbica de diamante, con un ángulo de vértice vertical de 172,5° y un ángulo de vértice horizontal de 130°.
Fuerza de prueba	Convencional: fuerza inicial 10 kgf , fuerza total 60, 100, 150 kgf ; Capa superficial: fuerza inicial 3 kgf , fuerza total 15, 30, 45 kgf .	Usos comunes: 500, 1000, 3000 kgf (por ejemplo, HBW 10/3000 significa bola de 10 mm, 3000 kgf).	Uso común: 1-100 kgf (por ejemplo, HV 10 significa 10 kgf) , puede ser tan bajo como 0,01 kgf .	Comúnmente usado: 0,01-2 kgf (por ejemplo, HK 0,5 significa 0,5 kgf).
Método de medición	Mida la profundidad de sangría residual (profundidad de sangría) en unidades de 0,002 mm y lea el valor HR directamente.	Mida el diámetro de la sangría en mm y calcule utilizando la fórmula: $HBW = 2F / (\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}))$.	Mida la longitud diagonal de la sangría en mm y calculela utilizando la fórmula: $HV = 1,8544F / d^2$.	Mida la longitud diagonal larga de la sangría en mm y calculela utilizando la fórmula: $HK = 14,229F / L^2$.
Rango de dureza	HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70, HR15N 70-94, etc.	HBW 8-650 (dependiendo de la fuerza de prueba y del diámetro de la bola).	HV 1-3000 (dependiendo de la fuerza de prueba).	HK 10-1000 (dependiendo de la fuerza de prueba).
Materiales aplicables	Materiales metálicos (como acero, hierro fundido, sustratos de recubrimiento por	Materiales metálicos (como acero, hierro fundido, aleación de aluminio), adecuados para materiales más blandos y por	Metales, cerámicas, recubrimientos (por ejemplo, recubrimientos por pulverización	Metales, cerámicas, capas delgadas, materiales frágiles (como el vidrio), especialmente adecuado para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	pulverización térmica), especialmente adecuados para materiales de alta dureza (HRC) y materiales de dureza media (HRB).	muestras más grandes.	térmica), adecuados para una amplia gama de materiales de dureza, incluidas capas delgadas.	microzonas.
Requisitos de la muestra	La superficie es plana, $Ra \leq 0,8 \mu m$, espesor $\geq 0,5 mm$ (capa superficial) o $\geq 1,0 mm$ (convencional).	La superficie es plana, $Ra \leq 1,6 \mu m$, y el espesor es ≥ 8 veces la profundidad de sangría (normalmente $\geq 6 mm$).	La superficie es plana, $Ra \leq 0,4 \mu m$, y el espesor es $\geq 1,5$ veces la longitud diagonal de la sangría (normalmente $\geq 0,2 mm$).	La superficie es plana, $Ra \leq 0,2 \mu m$, espesor $\geq 0,1 mm$, adecuada para muestras pequeñas.
Tiempo de prueba	Rápido, 5-10 segundos	Más lento, 10-15 segundos, requiere tiempo de medición adicional.	Medio, 10-15 segundos, se requiere medición diagonal	Medio, 10-15 segundos, se requiere línea diagonal larga
Forma de sangría	Redonda (bola de acero) o cónica (cono de diamante).	Circular.	Forma cuadrada.	Rombo, con una relación largo-ancho de aproximadamente 7:1.
Ventajas	Operación sencilla. Lectura directa del valor de dureza. Apto para producción en planta.	Adecuado para un amplio rango de dureza (amplio rango de dureza, gran sangría, alta representatividad).	Amplia gama de aplicaciones. Permite ensayar capas delgadas. Geometría de indentación uniforme.	Adecuado para microáreas. Ideal para materiales frágiles. Indentación superficial, menor daño.
Desventajas	- Requisito de alta calidad de superficie / Requisito de alta calidad de superficie. - Las diferentes escalas no se pueden comparar directamente (Escala no directamente comparables / Las escalas no se pueden comparar directamente).	Gran hendidura que daña la muestra. No apto para materiales delgados o duros.	- Requiere medición óptica / Requiere medición óptica. - Sensible a la rugosidad de la superficie / Sensible a la rugosidad de la superficie.	- Requiere medición óptica / Requiere medición óptica. - Sangría asimétrica, medición compleja / Sangría asimétrica, medición compleja.
Aplicaciones	Sustratos de recubrimiento por pulverización térmica (como sustratos WC-Co), acero, pruebas de dureza de piezas mecánicas (Piezas mecánicas / Piezas mecánicas).	Fundiciones, forjados, ensayos de dureza de metales más blandos.	Recubrimientos por pulverización térmica, películas delgadas, capas superficiales endurecidas.	Pruebas de microdureza de micropiezas, recubrimientos, cerámicas y vidrio.
Incertidumbre	$\pm 0,5 HR$ (convencional) o $\pm 0,8 HR$ (superficial).	$\pm 5\%$ (dependiendo del material y rango de dureza).	$\pm 3\%$ (dependiendo de la fuerza de prueba y el material).	$\pm 5\%$ (dependiendo de la fuerza de prueba y el material).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Relaciones de conversión	- HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HV 240 ≈ HK 255	- HBW 238 ≈ HRC 20 ≈ HV 240 ≈ HK 255	- HV 240 ≈ HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HK 255	- HK 255 ≈ HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HV 240
	- HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 ≈ HK 445 - HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HV 720 ≈ HK 760	- HBW 392 ≈ HRC 40 ≈ HV 420 ≈ HK 445 - HBW 654 ≈ HRC 60 ≈ HV 720 ≈ HK 760	- HV 420 ≈ HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HK 445 - HV 720 ≈ HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HK 760	- HK 445 ≈ HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 - HK 760 ≈ HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HV 720

Notas de conversión

Material aplicable : La relación de conversión anterior es aplicable al acero (acero), según la tabla de conversión y los datos experimentales de la norma ISO 18265:2013.

Incertidumbre : La incertidumbre del valor convertido es de aproximadamente ±5 %. En la práctica, deben tenerse en cuenta la microestructura del material (Microestructura/Microestructura) y las condiciones de prueba (Condiciones de prueba/Condiciones de prueba).

Recomendación de uso : El valor convertido es solo de referencia (Solo para referencia / Solo para referencia), se recomienda la medición directa (Medición directa / Medición directa).

Ejemplo :

HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 ≈ HK 445, lo que significa que para materiales de acero, la dureza Rockwell HRC 40 se puede convertir en dureza Brinell HBW 392, dureza Vickers HV 420 y dureza Knoop HK 445.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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

Tabla de contenido

Parte 2: Proceso de preparación del carburo cementado

Capítulo 6: Tecnología de recubrimientos y compuestos

6.1 Preparación del recubrimiento de carburo cementado

6.1.1 Pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF, dureza del recubrimiento HV 1200-1500)

6.1.2 Pulverización de plasma (APS) y pulverización por detonación

6.2 Materiales de recubrimiento

6.2.1 Optimización de la composición de recubrimientos de WCCo y WCNiCr

6.2.2 Recubrimiento compuesto multifásico (WCTiCNi)

6.3 Carburos cementados nanoestructurados y en gradiente

6.3.1 Ingeniería de interfaz de gradiente WCCo

6.3.2 Preparación y desafíos del nano-WC (<100 nm)

6.4 Prueba de rendimiento del recubrimiento

6.4.1 Resistencia de adhesión (50-80 MPa) y porosidad (<1%)

6.4.2 Resistencia al desgaste (ASTM G65, tasa de desgaste <0,06 mm³ / N · m)

apéndice:

¿Qué es el recubrimiento de carburo cementado?

Tecnología de pulverización de alta explosión (DGS) de carburo cementado

de pulverización de plasma de carburo cementado (APS , pulverización de plasma atmosférico)

Pulverización de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF) para carburo cementado

Pulverización de plasma al vacío de carburo cementado (VPS)

Ingeniería de interfaz de carburo

Tecnología de modificación de superficies de carburo cementado

Aplicación de recubrimiento nanocompuesto de carburo cementado en celdas electrolíticas

¿Qué es el carburo cementado con nanorrecubrimiento?

¿Qué es el carburo de gradiente?

Pico y tecnología de minería de carburo de gradiente

Aplicación de carburo cementado en boquillas de aviación

ISO 14923:2003 Proyección térmica - Caracterización y ensayo de recubrimientos por proyección térmica

Cuerda para proyección de llama y arco - Clasificación - Condiciones técnicas de suministro

ASTM C633-13(2017) Método de prueba estándar para la adhesión o la resistencia cohesiva de recubrimientos por pulverización térmica

ASTM E2109-01(2014) Método de prueba estándar para el porcentaje de porosidad aparente de recubrimientos por pulverización térmica

EN 657:2005 Proyección térmica - Terminología y clasificación

EN 13507:2018 Proyección térmica. Preparación de superficies de piezas y conjuntos metálicos.

GB/T 18719-2002 Polvo de pulverización térmica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY 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 17391-2008 Método de prueba para la adhesión de recubrimientos por pulverización
térmica
AMS 2437: Especificación del proceso HVOF
ISO 3252:2019 Metalurgia de polvos — Vocabulario
ISO 14923:2003 Proyección térmica: caracterización y ensayo de recubrimientos proyectados
térmicamente
ISO 4505:2017 Materiales metálicos — Ensayo de dureza — Método de ensayo
Materiales metálicos -- Ensayos de dureza -- Métodos de ensayo
ASTM E2283-08 (2019) Práctica estándar para el análisis de valores extremos de inclusiones no
metálicas en acero y otras características microestructurales
Práctica estándar para el análisis de valores extremos de inclusiones no metálicas en acero y otras
características microestructurales
EN 13204:2017 Proyección térmica - Polvos - Composición, condiciones técnicas de suministro
Proyección térmica - Polvos - Composición, condiciones técnicas de suministro
GB/T 5242-2007 "Proyección térmica — Alambres y varillas
Proyección térmica - Alambre y varilla
GB/T3489-2012 Proyección térmica: examen metalográfico de recubrimientos por pulverización
térmica
GB/T 38511-2020 Proyección térmica — Polvos — Composición, condiciones técnicas de
suministro Proyección térmica — Polvos — Composición, condiciones técnicas de suministro
ASME B46.1-2009 Textura de la superficie (rugosidad de la superficie, ondulación y disposición)
Textura de la superficie (rugosidad, ondulación y planitud de la superficie)
EN 10204:2004 Productos metálicos — Tipos de documentos de inspección
Productos metálicos: tipos de documentos de inspección
ISO 6508-1:2016 Materiales metálicos — Ensayo de dureza Rockwell — Parte 1: Método de
ensayo
Materiales metálicos - Ensayo de dureza Rockwell - Parte 1: Método de ensayo
ISO 6508-2:2015 Materiales metálicos — Prueba de dureza Rockwell
— Parte 2: Verificación y calibración de máquinas de ensayo
Materiales metálicos - Ensayo de dureza Rockwell - Parte 2: Verificación y calibración de
máquinas de ensayo
ISO 6508-3:2015 Materiales metálicos — Prueba de dureza Rockwell
— Parte 3: Calibración de bloques de referencia
Materiales metálicos - Prueba de dureza Rockwell — Parte 3: Calibración de bloques de
referencia
ISO 18265:2013 - Materiales metálicos: Conversión de valores de dureza
Materiales metálicos: conversión de valores de dureza
Tabla de relación de dureza de dureza Rockwell, dureza Brinell, dureza Vickers y dureza Knoop

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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