

Enciclopedia del crisol de tungsteno

中钨智造科技有限公司
CTIA GRUPO LTD

CTIA GRUPO LTD

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

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una subsidiaria de propiedad total con personalidad legal 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 del 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 que se centra en las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos de tungsteno y molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación de su empresa matriz, servicios superiores y reputación comercial global, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicaciones en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha establecido más de 200 sitios web profesionales multilingües de tungsteno y molibdeno que cubren 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 piezas de información, sirviendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita diariamente a cientos de miles de profesionales de la industria en todo el mundo. Con visitas acumuladas a su grupo de sitios web y cuenta oficial que alcanzan miles de millones de veces, se ha convertido en un centro de información global y autorizado reconocido para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras, que brinda noticias multilingües las 24 horas del día, los 7 días de la semana, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado.

Sobre la base de la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando la tecnología de IA, diseña y produce de forma colaborativa productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como el tamaño de partícula, la densidad, la dureza, la resistencia, las dimensiones y las tolerancias) con los clientes. Ofrece servicios integrados de proceso completo que van desde la apertura de moldes, la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de investigación y desarrollo, 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. Basándose en esta base, CTIA GROUP profundiza aún más 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, basándose en sus más de 30 años de experiencia en la industria, también han escrito y publicado análisis de conocimientos, 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 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. Adhiriéndose 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 la práctica de producción y las necesidades de los clientes del mercado, ganando elogios generalizados en la industria. Estos logros brindan un sólido apoyo a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder mundial en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y servicios de información.



[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Contenido

Capítulo 1 Teoría general del crisol de tungsteno

- 1.1 Definición y concepto básico de crisol de wolframio
- 1.2 Desarrollo histórico de los crisoles de tungsteno
- 1.3 La importancia estratégica del crisol de tungsteno en la industria moderna
- 1.4 Distribución mundial de los recursos de tungsteno y estado de la minería
- 1.5 Descripción general de la cadena de la industria de crisoles de tungsteno

Capítulo 2 Características del producto del crisol de tungsteno

- 2.1 Especificaciones de geometría y tamaño del crisol de tungsteno
 - 2.1.1 Dimensiones estándar (diámetro, espesor de pared, altura)
 - 2.1.2 Diseño personalizado y tamaño no estándar
 - 2.1.3 Volumen y capacidad de carga
 - 2.1.4 Diseño de formas (cilíndricas, cónicas, de formas especiales)
- 2.2 Calidad de la superficie del crisol de tungsteno
 - 2.2.1 Pulido, esmerilado y mecanizado de superficies
 - 2.2.2 Normas de rugosidad superficial (Ra, Rz)
 - 2.2.3 Detección y control de defectos superficiales
 - 2.2.4 Recubrimiento y modificación de superficies
- 2.3 Pureza del material del crisol de tungsteno
 - 2.3.1 Tungsteno de alta pureza
 - 2.3.2 Análisis de elementos de impurezas
 - 2.3.3 Efecto de la pureza en el rendimiento a altas temperaturas
- 2.4 Propiedades térmicas del crisol de tungsteno
 - 2.4.1 Estabilidad a alta temperatura del crisol de tungsteno
 - 2.4.2 Resistencia al choque térmico del crisol de tungsteno y vida útil a la fatiga térmica
 - 2.4.3 Características de conductividad térmica y radiación térmica
 - 2.4.4 Adaptación de la expansión térmica
- 2.5 Estabilidad química del crisol de tungsteno
 - 2.5.1 Resistencia a la corrosión ácida y alcalina
 - 2.5.2 Inercia a alta temperatura y capacidad anticontaminación
 - 2.5.3 Compatibilidad con metal fundido y aleaciones
- 2.6 Propiedades mecánicas del crisol de tungsteno
 - 2.6.1 Resistencia a la deformación a alta temperatura
 - 2.6.2 Resistencia a la propagación de grietas
 - 2.6.3 Estabilidad estructural bajo calentamiento cíclico
 - 2.6.4 Resistencia a golpes y vibraciones
- 2.7 Otras características
 - 2.7.1 Propiedades eléctricas a alta temperatura
 - 2.7.2 Resistencia al desgaste y a la abrasión
 - 2.7.3 Resistencia a la radiación (aplicaciones de la industria nuclear)

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

2.8CTIA GROUP LTD Crisol de tungsteno MSDS

Capítulo 3 Proceso y tecnología de preparación

- 3.1 Preparación de las materias primas
 - 3.1.1 Refinación de mineral de tungsteno y producción de polvo
 - 3.1.2 Características químicas y físicas del polvo de wolframio
 - 3.1.3 Control del tamaño y morfología de las partículas
 - 3.1.4 Inspección de la calidad de la materia prima
- 3.2 Proceso de pulvimetalurgia
 - 3.2.1 Mezcla de polvo de wolframio y aditivos
 - 3.2.2 Prensado y preformado en frío
 - 3.2.3 Densificación y desaglomerado de polvo
- 3.3 Proceso de formación
 - 3.3.1 Prensado isostático
 - 3.3.2 Moldeo por compresión y extrusión
 - 3.3.3 Spinning y estiramientos
 - 3.3.4 Conformación de formas complejas
 - 3.3.5 Diseño y fabricación de moldes
- 3.4 Proceso de sinterización
 - 3.4.1 Sinterización al vacío
 - 3.4.2 Sinterización de hidrógeno/gas inerte
 - 3.4.3 Optimización de temperatura/tiempo/atmósfera
 - 3.4.4 Sinterización multietapa y en gradiente
 - 3.4.5 Contracción por sinterización y control de tamaño
- 3.5 Mecanizado y acabado
 - 3.5.1 Torneado, fresado, taladrado
 - 3.5.2 Electroerosión y corte láser
 - 3.5.3 Esmerilado y pulido de precisión
 - 3.5.4 Recubrimientos superficiales
- 3.6 Tecnología de postratamiento
 - 3.6.1 Tratamiento térmico y recocido
 - 3.6.2 Refuerzo de la superficie
 - 3.6.3 Limpieza y descontaminación
 - 3.6.4 Alivio de tensiones y optimización de estructuras
- 3.7 Control de calidad y pruebas
 - 3.7.1 Ensayos dimensionales y geométricos
 - 3.7.2 Ensayos no destructivos
 - 3.7.3 Análisis químico y de microestructura
 - 3.7.4 Ensayos de rendimiento a alta temperatura
 - 3.7.5 Certificación y trazabilidad
- 3.8 Tecnología de fabricación avanzada
 - 3.8.1 Fabricación aditiva (impresión 3D)

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

3.8.2 Fusión por láser y pulverización por plasma

3.8.3 Microfabricación

3.8.4 Fabricación inteligente e industria 4.0

Capítulo 4 Tecnología de producción e innovación

4.1 Automatización y producción inteligente

4.1.1 CNC y robótica

4.1.2 Líneas de producción integradas en IoT

4.1.3 IA para la optimización de procesos

4.1.4 Fabricación basada en datos

4.2 Protección energética y del medio ambiente

4.2.1 Diseño eficiente del horno de sinterización

4.2.2 Recuperación de calor residual

4.2.3 Métodos de producción ecológicos

4.2.4 Tecnologías de producción menos contaminantes

4.3 Economía circular y recursos

4.3.1 Reciclaje de chatarra de tungsteno

4.3.2 Tratamiento de residuos

4.3.3 Cadenas de suministro sostenibles

4.3.4 Análisis del ciclo de vida

4.4 Tecnologías de vanguardia

4.4.1 Nano polvo de tungsteno

4.4.2 Crisoles compuestos y de alta entropía

4.4.3 Computación cuántica en materiales

4.4.4 Materiales bioinspirados

Capítulo 5 Aplicaciones

5.1 Industria metalúrgica

5.1.1 Fundición de tierras raras y metales preciosos

5.1.2 Superaleaciones

5.1.3 Pulvimetalurgia

5.2 Semiconductores y electrónica

5.2.1 Crecimiento de cristales de silicio y zafiro

5.2.2 Semiconductores compuestos

5.2.3 PVD y CVD

5.2.4 Embalaje y gestión térmica

5.3 Industria química

5.3.1 Síntesis de catalizadores

5.3.2 Recipientes de reacción corrosivos

5.3.3 Refinación química de alta pureza

5.4 Investigación científica

5.4.1 Ensayos de materiales a alta temperatura

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

- 5.4.2 Simulaciones en entornos extremos
- 5.4.3 Síntesis avanzada de materiales
- 5.4.4 Experimentos de sincrotrón y neutrón
- 5.5 Aeroespacial y defensa
 - 5.5.1 Componentes del motor de cohetes
 - 5.5.2 Ensayos estructurales a alta temperatura
 - 5.5.3 Equipo militar
 - 5.5.4 Sistemas térmicos por satélite
- 5.6 Industria energética
 - 5.6.1 Componentes del reactor nuclear
 - 5.6.2 Industria fotovoltaica
 - 5.6.3 Fabricación de pilas de combustible
 - 5.6.4 Materiales de fusión nuclear
- 5.7 Emergentes e interindustriales
 - 5.7.1 Joyería y fabricación de lujo
 - 5.7.2 Implantes y dispositivos médicos
 - 5.7.3 Impresión 3D y moldes
 - 5.7.4 Tecnología cuántica y superconductores

Capítulo 6 Ventajas, desventajas y desafíos

- 6.1 Ventajas
 - 6.1.1 Alto punto de fusión y estabilidad
 - 6.1.2 Excelente inercia química
 - 6.1.3 Alta fiabilidad y longevidad
 - 6.1.4 Adaptabilidad a entornos extremos
- 6.2 Limitaciones y desafíos
 - 6.2.1 Alto costo
 - 6.2.2 Fragilidad y dificultad de mecanizado
 - 6.2.3 Limitaciones de fabricación de gran tamaño
 - 6.2.4 Cadena de suministro y riesgos geopolíticos
- 6.3 Mejoras
 - 6.3.1 Reducción de costes y producción en masa
 - 6.3.2 Nuevos materiales y compuestos
 - 6.3.3 Mejora de la precisión y la eficiencia
 - 6.3.4 Fabricación inteligente

Capítulo 7 Pautas de uso

- 7.1 Instalación y funcionamiento
 - 7.1.1 Inspección previa a la instalación
 - 7.1.2 Seguridad de funcionamiento a alta temperatura
 - 7.1.3 Protección térmica y mecánica
- 7.2 Requisitos medioambientales

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

- 7.2.1 Control de la atmósfera y la temperatura
- 7.2.2 Evitar materiales incompatibles
- 7.2.3 Prevenir la contaminación
- 7.3 Mantenimiento
 - 7.3.1 Inspección y limpieza periódicas
 - 7.3.2 Vigilancia de los daños superficiales
 - 7.3.3 Evaluación de la vida útil
- 7.4 Solución de problemas
 - 7.4.1 Problemas comunes
 - 7.4.2 Diagnóstico y reparación
 - 7.4.3 Procedimientos de parada de emergencia

Capítulo 8 Transporte y almacenamiento

- 8.1 Requisitos de transporte
- 8.2 Condiciones de almacenamiento
- 8.3 Precauciones de manejo
- 8.4 Documentación y etiquetado
- 8.5 Manipulación anormal

Capítulo 9 Sostenibilidad y reciclaje

- 9.1 Gestión del ciclo de vida
 - 9.1.1 Evaluación de la producción para el uso
 - 9.1.2 Impacto y huella ambiental
 - 9.1.3 Diseño y procesos sostenibles
- 9.2 Reciclaje y reutilización
 - 9.2.1 Proceso de reciclaje
 - 9.2.2 Desafíos tecnológicos
 - 9.2.3 Control de calidad de productos reciclados
- 9.3 Cumplimiento ambiental
 - 9.3.1 Descripción general de la normativa
 - 9.3.2 Normas de eliminación de residuos
 - 9.3.3 Certificación y auditorías
- 9.4 Economía circular
 - 9.4.1 Uso de recursos en bucle cerrado
 - 9.4.2 Análisis del beneficio económico
 - 9.4.3 Colaboración de la industria

Capítulo 10 Normas y Reglamentos

- 10.1 Normas chinas (GB)
 - 10.1.1 GB/T 3875-2017
 - 10.1.2 GB/T 3459-2022
 - 10.1.3 YB/T 5174-2020

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

10.2 Normas ISO

10.2.1 ISO 9001:2015

10.2.2 ISO 14001:2015

10.2.3 ISO 15730:2000

10.3 Normas ASTM

10.3.1 ASTM B760-07 (2019)

10.3.2 ASTM E696-07 (2018)

10.3.3 ASTM E1447-09 (2016)

10.4 Otras normas internacionales

10.4.1 JIS H 4701:2015

10.4.2 DIN EN 10204:2004

10.4.3 EN 10276-1:2000

Apéndice

A. Glosario de términos

B. Referencias

C. Lista de herramientas y equipos de uso común



Crisoles de tungsteno de CTIA GROUP LTD

Capítulo 1 Teoría general del crisol de tungsteno

1.1 Definición y concepto básico de crisol de wolframio

El crisol de tungsteno es un contenedor resistente a la corrosión y a altas temperaturas hecho de tungsteno de alta pureza (pureza generalmente $\geq 99.95\%$) como materia prima principal, a través de pulvimetalurgia, sinterización, mecanizado y otros procesos, y es ampliamente utilizado en campos industriales como fundición a alta temperatura, crecimiento de cristales, reacciones químicas y pruebas de materiales. Las propiedades principales del crisol de tungsteno se derivan del punto de fusión ultra alto del tungsteno ($3422\text{ }^{\circ}\text{C}$, el más alto entre los metales), la excelente estabilidad química y la resistencia mecánica en entornos extremos, lo que lo convierte en un componente indispensable en los procesos de alta temperatura. Sus funciones principales incluyen acomodar y manipular metales fundidos, aleaciones, cerámicas o productos químicos, y mantener la integridad estructural y el rendimiento estable a temperaturas de hasta $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ o en entornos altamente corrosivos.

La estructura típica de un crisol de tungsteno es cilíndrica o cónica, la pared interior generalmente se pule con precisión para reducir la adhesión del material fundido, y el grosor y el tamaño de la pared se personalizan de acuerdo con la aplicación. Por ejemplo, los crisoles de tungsteno utilizados para el crecimiento de silicio monocristalino en la industria de semiconductores tienen generalmente $100\text{-}300\text{ mm}$ de diámetro y $5\text{-}10\text{ mm}$ de espesor de pared, mientras que los crisoles utilizados en la industria metalúrgica para la fusión de metales de tierras raras pueden tener más de 500 mm de diámetro y $15\text{-}20\text{ mm}$ de espesor de pared. El rendimiento de los crisoles de tungsteno se ve afectado por una variedad de factores, incluida la pureza del material, el tamaño de grano, la calidad de la superficie y el proceso de fabricación. Por ejemplo, los crisoles de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,999\%$) reducen significativamente la contaminación por impurezas en el crecimiento de cristales semiconductores, mientras que los crisoles de menor pureza ($99,95\%$) se utilizan más comúnmente en aplicaciones metalúrgicas sensibles al costo.

El diseño de los crisoles de tungsteno requiere una combinación de propiedades térmicas, mecánicas y químicas. Por ejemplo, a altas temperaturas, los crisoles de tungsteno deben soportar el estrés térmico y las cargas mecánicas, evitando al mismo tiempo las reacciones químicas con sustancias fundidas. En vacío o atmósfera inerte, la baja presión de vapor del crisol de tungsteno (solo 10^{-7} Pa a 3000°C) asegura que no se volatilice ni contamine el medio ambiente. Además, los crisoles de tungsteno tienen un bajo coeficiente de expansión térmica (alrededor de $4,5 \times 10^{-6}/\text{K}$) y se adaptan bien a materiales como el silicio fundido o el zafiro, lo que reduce el riesgo de agrietamiento causado por el estrés térmico. En los últimos años, los avances en la fabricación aditiva y las tecnologías de recubrimiento de superficies han ampliado aún más las capacidades y aplicaciones de los crisoles de tungsteno, como las aplicaciones emergentes en reactores de fusión nuclear y aeroespaciales.

1.2 Desarrollo histórico de los crisoles de tungsteno

El origen del crisol de tungsteno está estrechamente relacionado con la aplicación industrial del metal de tungsteno. El tungsteno, como metal raro, comenzó a llamar la atención a mediados del

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

siglo XIX, pero sus primeras aplicaciones fueron extremadamente limitadas debido a su alto punto de fusión y dificultad de procesamiento. En la década de 1870, el tungsteno comenzó a usarse en forma de acero de tungsteno en la fabricación de herramientas, pero los crisoles de tungsteno se desarrollaron hasta principios del siglo XX. En 1909, William Brown de la General Electric Company de los Estados Unidos y William D. Coolidge inventó el método de preparación del alambre de tungsteno dúctil para producir productos de tungsteno de alta pureza a través de la pulvimetalurgia y la tecnología de sinterización a alta temperatura, marcando un gran avance en la tecnología de procesamiento de tungsteno. Esta tecnología sentó las bases para la producción industrial de crisoles de tungsteno.

A principios del siglo XX, los crisoles de tungsteno se utilizaban principalmente en experimentos de laboratorio a alta temperatura, como la fusión de metales preciosos, el análisis químico y la destilación al vacío. En la década de 1920, con el avance de la tecnología de hornos de vacío, los crisoles de tungsteno comenzaron a usarse en la fundición a escala industrial de metales raros, como molibdeno, niobio y tántalo. Durante la Segunda Guerra Mundial, los crisoles de tungsteno dejaron su huella en la industria militar, donde se utilizaron en la fundición de superaleaciones y aceros especiales, y en la producción de motores de aviones y materiales de armadura.

En la década de 1950, la madurez de la tecnología de pulvimetalurgia promovió la producción a gran escala de crisoles de tungsteno. La introducción de la tecnología de moldeo por compresión isostática y sinterización al vacío ha aumentado significativamente la densidad y la resistencia del crisol, lo que le permite soportar temperaturas y cargas mecánicas más altas. En la década de 1960, el auge de la industria de los semiconductores se convirtió en un punto de inflexión en el desarrollo de crisoles de tungsteno. Los procesos de crecimiento de cristales monocristalinos de silicio y zafiro (como los procesos de Czochralski y Kyropoulos) imponen exigencias extremadamente altas a la pureza y la calidad de la superficie de los crisoles, y los crisoles de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,99\%$) están comenzando a convertirse en estándar en la industria de los semiconductores.

En el siglo XXI, el campo de aplicación del crisol de tungsteno se ha ampliado aún más. En el campo aeroespacial, los crisoles de tungsteno se utilizan para fabricar toberas de motores de cohetes y materiales estructurales de alta temperatura; La industria nuclear lo utiliza para componentes de alta temperatura de reactores y experimentos de fusión nuclear; Los nuevos campos energéticos (como la fotovoltaica y las pilas de combustible) dependen de los crisoles de tungsteno para producir silicio y materiales cerámicos de alta pureza. Según los informes de la industria de [Chinatungsten Online](#), de 2000 a 2020, el tamaño del mercado mundial de crisoles de tungsteno aumentó de aproximadamente 300 millones de dólares estadounidenses a 1.2 mil millones de dólares estadounidenses, con una tasa de crecimiento compuesto anual promedio de aproximadamente 7.5%. En los últimos años, la introducción de la fabricación aditiva (impresión 3D) y las tecnologías de fabricación inteligente han promovido aún más la producción personalizada y eficiente de crisoles de tungsteno.

1.3 La importancia estratégica del crisol de tungsteno en la industria moderna

El crisol de tungsteno tiene una posición estratégica insustituible en la industria moderna, y su

importancia se refleja en muchos aspectos de la tecnología, la economía y la geopolítica:

Tecnología en el centro

Los crisoles de tungsteno son la piedra angular de los procesos de alta temperatura, especialmente en los sectores de semiconductores, aeroespacial y nuevas energías. En la industria de los semiconductores, los crisoles de tungsteno se utilizan para el crecimiento de semiconductores compuestos y de silicio monocristalino (como GaAs, GaN), que afectan directamente a la calidad y la eficiencia de la fabricación de chips. En el sector aeroespacial, los crisoles de tungsteno se utilizan en la fusión de superaleaciones y materiales compuestos, lo que apoya el desarrollo de motores avanzados y componentes estructurales. En el campo de las nuevas energías, los crisoles de tungsteno son indispensables en la producción de obleas de silicio fotovoltaico y en la preparación de materiales para reactores de fusión nuclear. Por ejemplo, en el proyecto del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER), los crisoles de tungsteno se utilizan para probar materiales revestidos con plasma y contribuir a los avances en la tecnología de energía limpia.

Valor económico

El mercado de crisoles de tungsteno es una parte importante de la cadena mundial de la industria del tungsteno. Según Chinatungsten Online, el tamaño del mercado mundial de crisoles de tungsteno fue de aproximadamente US\$ 1.3 mil millones en 2023 y se espera que alcance los US\$ 2 mil millones para 2030, impulsado por la creciente demanda de semiconductores y el aumento de la inversión aeroespacial. El alto valor agregado del crisol de tungsteno lo convierte en el producto principal de las empresas de productos de tungsteno.

Geopolítica y seguridad de los recursos

El tungsteno es un metal raro con reservas mundiales limitadas, y la seguridad de la cadena de suministro afecta directamente a la producción de crisoles de tungsteno. China representa el 57% de las reservas mundiales de tungsteno y el 80% de la producción, y es un importante proveedor de crisoles de tungsteno. En los últimos años, los países occidentales han intensificado sus esfuerzos para desarrollar y reciclar recursos de tungsteno con el fin de reducir su dependencia de China. Como resultado, la producción y el suministro de crisoles de tungsteno se han convertido en el foco de los juegos geopolíticos.

Apoyar la modernización y la innovación industrial

La investigación y el desarrollo de crisoles de tungsteno han promovido el progreso de la ciencia de los materiales, la tecnología de fabricación y la inteligencia. Por ejemplo, el desarrollo de polvo de nano-tungsteno y crisoles de tungsteno de grano ultrafino ha mejorado la resistencia al choque térmico y la vida útil de los crisoles, y se ha adaptado a los requisitos más estrictos de las industrias nuclear y de semiconductores. La aplicación de tecnologías de fabricación inteligentes, como los procesos de sinterización optimizados por IA, ha reducido aún más los costes de producción y ha mejorado la competitividad mundial.

En resumen, el crisol de tungsteno no es solo un componente industrial, sino también la encarnación

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de la fortaleza técnica y la estrategia de recursos del país, y su dirección de desarrollo está estrechamente relacionada con la industria mundial de alta tecnología y la transición energética.

1.4 Distribución mundial de los recursos de tungsteno y estado de la minería

Los recursos de tungsteno se encuentran principalmente en forma de wolframita (FeMnWO_4) y scheelita (CaWO_4), con reservas probadas mundiales de alrededor de 3,3 millones de toneladas (en términos de tungsteno metálico). La distribución específica es la siguiente:

China: reservas de alrededor de 1,9 millones de toneladas, que representan el 57% del total mundial, distribuidas principalmente en Hunan (Chaling, Zixing), Jiangxi (Dayu, Ganzhou) y Henan (Luanchuan). El grado del mineral de tungsteno de China es alto, con un contenido promedio de WO_3 de 0.3-0.5%.

Rusia: reservas de unas 250.000 toneladas, principalmente en el Lejano Oriente y Siberia, la mayoría de las minas son pequeñas y medianas.

Vietnam: Con reservas de unas 100.000 toneladas, la mina Nui Phao es la mayor mina de tungsteno del mundo, con una producción anual de unas 6.000 toneladas.

Canadá: Reservas de unas 80.000 toneladas, concentradas en la Columbia Británica, siendo la mina de Cantung la principal zona productora.

Otros regiones: La minería de tungsteno en Australia (mina King Island), Bolivia (mina Llallagua) y África (por ejemplo, Ruanda, Congo) está aumentando gradualmente, pero las reservas y la producción son limitadas.

Estado de la minería

En 2023, la producción mundial de concentrado de tungsteno (WO_3) será de unas 85.000 toneladas, lo que supone un descenso interanual del 2%, debido principalmente al endurecimiento de las normativas medioambientales y al envejecimiento de las minas. La producción de China es de unas 68.000 toneladas, lo que representa el 80% del total mundial; Vietnam tiene unas 6.000 toneladas y Rusia unas 4.000 toneladas. La minería de tungsteno se enfrenta a los siguientes desafíos:

Estrés ambiental

La minería tradicional a cielo abierto y subterránea es muy dañina para los recursos terrestres y hídricos, y los costos del tratamiento de relaves son altos. Desde 2015, China ha implementado estrictas políticas ambientales y ha cerrado algunas minas altamente contaminantes, lo que ha provocado una disminución de la producción.

Disminuciones de calificación

La ley promedio del principal mineral de tungsteno del mundo ha caído del 1% en el siglo XX al 0,3-0,5%, aumentando el costo de beneficio y refinación.

Riesgos geopolíticos

Los recursos de tungsteno se concentran en un pequeño número de países y la cadena de suministro es susceptible a fricciones políticas y comerciales.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Respuesta

Para aliviar la escasez de recursos, el reciclaje de residuos de tungsteno se ha convertido en un complemento importante. Alrededor del 20% del suministro mundial de tungsteno proviene del reciclaje, principalmente por disolución química o trituración mecánica para extraer tungstato de crisoles, cuchillos y aleaciones de tungsteno de desecho. Además, se están estudiando las tecnologías de exploración y biolixiviación de tungsteno en aguas profundas, como el uso de microorganismos para descomponer el mineral de tungsteno, que pueden proporcionar nuevas fuentes para el futuro.

1.5 Descripción general de la cadena de la industria de crisoles de tungsteno

La cadena de la industria de crisoles de tungsteno cubre múltiples eslabones desde la extracción de materias primas hasta la aplicación terminal, que involucra minería, fundición, fabricación, aplicación y reciclaje, formando un sistema económico de circuito cerrado:

Upstream: minería y refinación de tungsteno

Minería: El mineral de tungsteno se obtiene a través de la minería a cielo abierto o subterránea, y el proceso de beneficio incluye separación por gravedad, flotación y separación magnética para producir concentrado de tungsteno (contenido de WO_3 65-70%).

Refinación: El concentrado de tungsteno se convierte en tungstato de amonio (APT) por lixiviación alcalina o lixiviación ácida, y luego se calcina y se reduce el hidrógeno para producir polvo de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$).

Midstream: fabricación de crisoles de tungsteno

Proceso: incluido el prensado de polvo de tungsteno, la sinterización, el mecanizado y el tratamiento de superficies, la tecnología central es la formación por prensado isostático y la sinterización al vacío.

Productos: Crisoles de tungsteno estándar y personalizados para necesidades de semiconductores, metalúrgicas y aeroespaciales.

Downstream: Aplicaciones y Distribución

Aplicaciones: Semiconductores (crecimiento de cristales), metalurgia (fundición de tierras raras y metales preciosos), aeroespacial (superaleaciones), nuevas energías (fotovoltaica y energía nuclear).

Distribución: A través de la venta directa o la distribución a través de agentes, algunas empresas ofrecen servicios personalizados.

Reciclaje y reciclaje

Proceso de reciclaje: Los crisoles de tungsteno de desecho se reciclan por disolución química (para generar tungstato de sodio) o trituración mecánica para hacer polvo o crisoles de tungsteno.

Importancia: Reducir la dependencia de los recursos, reducir la contaminación ambiental y el tungsteno reciclado representa el 20-25% del suministro mundial.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Tamaño del mercado y tendencias

Según Chinatungsten Online, el tamaño del mercado mundial de crisoles de tungsteno será de aproximadamente US \$ 1.35 mil millones en 2024 y se espera que alcance los US \$ 2 mil millones para 2030, con una tasa de crecimiento anual promedio de aproximadamente 6.5%. Los impulsores del crecimiento incluyen:

Demanda de semiconductores: el 5G, la IA y los vehículos eléctricos están impulsando la demanda de chips, y el mercado de crisoles de silicio monocristalino y tungsteno para semiconductores compuestos está creciendo rápidamente.

Inversión aeroespacial: El presupuesto espacial mundial ha aumentado y la demanda de crisoles de tungsteno para superaleaciones ha aumentado.

Desarrollo de nuevas energías: la producción de obleas de silicio fotovoltaico y la investigación de fusión nuclear aumentan las aplicaciones de crisoles de tungsteno.

Avances tecnológicos: La fabricación aditiva y la producción inteligente reducen los costos y mejoran las capacidades de personalización.

Desafiar

La cadena industrial está expuesta a las fluctuaciones de los precios de las materias primas, a la presión medioambiental y a los riesgos geopolíticos. Por ejemplo, el precio del concentrado de tungsteno aumentará un 15% en 2023, lo que se traducirá en un aumento del coste de producción de crisoles. Las empresas están respondiendo a estos desafíos optimizando los procesos y ampliando la proporción de reciclaje.



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Capítulo 2 Características del producto del crisol de tungsteno

Como componente central de la industria de alta temperatura y la investigación científica, las características del producto del crisol de tungsteno determinan directamente su rendimiento y efecto de aplicación en entornos extremos. Este capítulo analizará exhaustivamente las características técnicas y las ventajas de rendimiento de los crisoles de tungsteno desde varios aspectos, como la geometría y las especificaciones dimensionales, la calidad de la superficie, la pureza del material, las propiedades térmicas, la estabilidad química, las propiedades mecánicas, otras propiedades y la hoja de datos de seguridad del material (MSDS) de los crisoles de tungsteno.

2.1 Especificaciones de geometría y tamaño del crisol de tungsteno

Las especificaciones de geometría y tamaño de los crisoles de tungsteno son la base para su diseño y aplicación, lo que afecta directamente su volumen, eficiencia de conducción de calor y estabilidad estructural. Diferentes escenarios de aplicación, como el crecimiento de cristales semiconductores, la fusión metalúrgica o las pruebas de materiales aeroespaciales, tienen requisitos específicos para la geometría y las dimensiones del crisol. La siguiente es una descripción detallada de cuatro aspectos: tamaño estándar, diseño personalizado, volumen y capacidad de carga, y diseño de forma.

2.1.1 Dimensiones estándar (diámetro, espesor de pared, altura)

El tamaño estándar de los crisoles de tungsteno generalmente se diseña de acuerdo con las especificaciones de la industria y las necesidades de la aplicación para cumplir con el uso industrial y científico general. La norma nacional china GB/T 3459-2022 Requisitos técnicos para crisoles de tungsteno estipula claramente el rango de tamaño estándar. Los parámetros de tamaño específicos son los siguientes:

Diámetro: Los crisoles de tungsteno suelen tener entre 10 mm y 500 mm de diámetro, con especificaciones comunes concentradas entre 50 mm y 200 mm. Los crisoles de diámetro pequeño (por ejemplo, 10-50 mm) se utilizan principalmente para pequeños experimentos de laboratorio o crecimiento de cristales de alta precisión, como la producción de silicio monocristalino o cristal de zafiro; Los crisoles de gran diámetro (por ejemplo, 200-500 mm) son adecuados para la fundición metalúrgica a escala industrial o el refinado de metales de tierras raras.

Espesor de pared: Los espesores de pared oscilan entre 2 mm y 10 mm, dependiendo del propósito y los requisitos de carga del crisol. Los crisoles de pared delgada (2-4 mm) son adecuados para cargas ligeras y escenarios de transferencia de calor rápida, como el crecimiento de cristales de Czochralski en la industria de semiconductores; Los crisoles de paredes gruesas (6-10 mm) se utilizan para el funcionamiento a largo plazo de alta temperatura y alta resistencia, por ejemplo, para la fusión de superaleaciones. El diseño del espesor de la pared debe equilibrar la eficiencia de la conducción de calor y la resistencia mecánica para evitar la deformación debido a un espesor demasiado delgado o aumentar los costos de material debido a un espesor excesivo.

Altura: El rango de altura es de 20 mm a 600 mm, lo que está estrechamente relacionado con el

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

volumen y la aplicación del crisol. Los crisoles de baja altura (20-100 mm) son adecuados para la fusión poco profunda o la deposición de película delgada; Los crisoles de alta altura (300-600 mm) se utilizan para la fusión de grandes volúmenes o reacciones profundas, como el refinado de metales preciosos o los experimentos a alta temperatura en la industria nuclear.

2.1.2 Diseño personalizado y tamaño no estándar

Con la diversificación de las necesidades de investigación industrial y científica, la demanda de diseño personalizado de crisoles de tungsteno de tamaño no estándar está aumentando. Los crisoles no estándar generalmente se refieren a crisoles de especificaciones especiales con un diámetro de más de 500 mm, un espesor de pared de menos de 2 mm o una altura de más de 600 mm, que son adecuados para campos de alta gama como la industria aeroespacial, la industria nuclear o la investigación de materiales de vanguardia. Por ejemplo, las pruebas de material de plasma en reactores de fusión nuclear pueden requerir crisoles de tungsteno de diámetro extra grande (>600 mm) para acomodar configuraciones experimentales complejas; La industria de los semiconductores puede requerir crisoles de paredes ultrafinas (<1,5 mm) para optimizar la transferencia de calor y reducir el uso de material.

El desafío del diseño personalizado radica en la dificultad del desarrollo y procesamiento de moldes. Los crisoles de gran tamaño requieren equipos de prensado isostático y hornos de sinterización dedicados a gran escala, lo que aumenta los costos de producción; Los crisoles de paredes ultrafinas requieren un alto grado de precisión en el proceso de formación y sinterización, y una ligera desviación puede provocar grietas o deterioro del rendimiento del crisol. Además, las tolerancias dimensionales de los crisoles no estándar deben controlarse con una precisión de $\pm 0,1$ mm para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de alta precisión.

Según el informe de la industria de Chinatungsten Online, la demanda del mercado de crisoles de tungsteno personalizados ha aumentado en aproximadamente un 20% durante la última década, impulsada principalmente por las industrias aeroespacial y de semiconductores. Los diseños personalizados a menudo requieren que los clientes trabajen en estrecha colaboración con el fabricante para definir los parámetros geométricos, las propiedades térmicas y los requisitos de resistencia mecánica del crisol, y para simular la distribución de la tensión y el comportamiento de la expansión térmica del crisol a altas temperaturas a través del análisis de elementos finitos (FEA) para garantizar la viabilidad del diseño.

2.1.3 Volumen y capacidad de carga

El volumen y la capacidad de carga del crisol de tungsteno son los indicadores clave de su funcionalidad, que determinan directamente su aplicabilidad en aplicaciones específicas. Los volúmenes van desde unos pocos mililitros hasta varios litros, dependiendo del diámetro interior del crisol, la altura y el diseño del grosor de la pared. Por ejemplo, un crisol cilíndrico con un diámetro de 50 mm y una altura de 50 mm tiene un volumen de aproximadamente 98 ml, lo que lo hace adecuado para experimentos de laboratorio a pequeña escala; Con un diámetro de 300 mm y una altura de 400 mm, el crisol tiene un volumen de hasta 28 litros y es adecuado para la fundición de

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

metales a escala industrial.

La capacidad de carga se refiere al peso del material fundido que un crisol puede transportar de manera segura a altas temperaturas, y generalmente está determinada por la densidad del material, el grosor de la pared y la geometría. El tungsteno tiene una densidad de 19,25 g/cm³, lo que le da al crisol su resistencia estructural extremadamente alta. Los crisoles de tungsteno con espesores de pared estándar (4-6 mm) pueden transportar miles de gramos de metales fundidos como aluminio, cobre o metales de tierras raras; Los crisoles de paredes gruesas (8-10 mm) pueden transportar incluso toneladas de oro fundido y son adecuados para la producción de superaleaciones.

El diseño del volumen y la capacidad portante debe tener en cuenta los siguientes factores:

Eficiencia de conducción de calor: Un volumen excesivo puede provocar una distribución desigual del calor, lo que afecta a la uniformidad de la masa fundida.

Estabilidad estructural: Los requisitos excesivos de capacidad de carga pueden provocar un aumento del espesor de la pared, lo que a su vez aumenta la inercia térmica y los costes de material.

Adaptación de la expansión térmica: El coeficiente de expansión térmica del crisol y la masa fundida debe coincidir para evitar el agrietamiento debido al estrés térmico.

2.1.4 Diseño de formas (cilíndricas, cónicas, de formas especiales)

El diseño de la forma del crisol de tungsteno tiene un impacto importante en su funcionalidad y escenarios de aplicación. Las formas comunes incluyen crisoles cilíndricos, cónicos y perfilados, cada uno optimizado para necesidades de uso específicas.

Crisol cilíndrico: Esta es la forma más común con un grosor de pared y diámetro interior uniformes, lo que lo hace adecuado para escenarios que requieren un campo térmico estable y un calentamiento uniforme, como el crecimiento de silicio monocristalino (método de Czochralski) o la fusión de metales preciosos. Las ventajas de los crisoles cilíndricos son que el proceso de fabricación es relativamente simple, la distribución del estrés térmico es uniforme y es adecuado para la producción estandarizada. La desventaja es que puede no ser conveniente verter la masa fundida y es menos adaptable a configuraciones experimentales complejas.

Crisol cónico: El diámetro inferior del crisol cónico es más pequeño que el superior, lo que facilita el vertido y la recolección de material fundido, y se usa comúnmente en el refinado de metales de tierras raras o metales preciosos en la industria metalúrgica. El diseño cónico reduce los residuos de masa fundida en la pared del crisol y mejora la utilización del material. Sin embargo, la distribución del campo térmico de un crisol cónico no es tan uniforme como la de un crisol cilíndrico y puede requerir un sistema de calentamiento adicional para compensar.

Crisoles conformes: Los crisoles conformes incluyen formas ovaladas, poligonales u otras formas no estándar y, a menudo, se personalizan para experimentos específicos o aplicaciones industriales. Por ejemplo, las pruebas de toberas de motores de cohetes en el sector aeroespacial pueden requerir un crisol elíptico para acomodar una pieza de prueba con geometrías complejas; Los experimentos

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de plasma en la industria nuclear pueden requerir crisoles poligonales para que coincidan con la forma del dispositivo de reacción. Los crisoles de formas especiales son difíciles de fabricar y requieren técnicas de moldeo avanzadas (como el hilado o la impresión 3D) y un diseño de moldes de precisión.

El diseño de la forma tiene en cuenta la expansión térmica, la distribución de la tensión y los costos de fabricación. Por ejemplo, la expansión térmica de los crisoles cilíndricos es relativamente uniforme, lo que es adecuado para ciclos a alta temperatura; El crisol cónico puede producir concentraciones de tensión locales durante el proceso de vertido, y la estabilidad estructural debe mejorarse mediante la optimización del espesor de la pared. La distribución de tensiones de los crisoles de formas especiales es compleja y la verificación del diseño generalmente se lleva a cabo mediante análisis de elementos finitos.

2.2 Calidad de la superficie del crisol de tungsteno

La calidad de la superficie es un indicador importante del rendimiento del crisol de tungsteno, que afecta directamente su resistencia a la corrosión, la adhesión a la fusión y la vida útil. La superficie de los crisoles de tungsteno generalmente necesita ser pulida, rectificada o recubierta para cumplir con los estrictos requisitos de diferentes escenarios de aplicación. Lo siguiente se discute en detalle desde cuatro aspectos: pulido y mecanizado, estándares de rugosidad de la superficie, detección y control de defectos, y recubrimiento y modificación de la superficie.

2.2.1 Pulido, esmerilado y mecanizado de superficies

El proceso de tratamiento de la superficie del crisol de tungsteno incluye torneado, fresado, esmerilado y pulido, cada uno de los cuales se dirige a diferentes requisitos de calidad de la superficie. El torneado y el fresado se utilizan para la formación preliminar, eliminando la capa rugosa en la superficie del cuerpo verde; El esmerilado mejora aún más la planitud de la superficie y reduce los defectos microscópicos; El pulido se utiliza para lograr un efecto espejo, lo que reduce significativamente la rugosidad de la superficie.

Torneado y fresado: La precisión de mecanizado de hasta $\pm 0,05$ mm se realiza mediante un centro de mecanizado de control numérico (CNC). El torneado es adecuado para el mecanizado de la pared exterior de crisoles cilíndricos, mientras que el fresado se utiliza para formar la pared interior o el fondo de formas complejas. Las herramientas de carburo de tungsteno se utilizan en el proceso de mecanizado para hacer frente a la alta dureza del tungsteno (8-9 en la escala de Mohs).

Molienda: La molienda utiliza muelas abrasivas de diamante o muelas abrasivas de cerámica, que pueden reducir la rugosidad de la superficie a Ra 0.8-1.6 μ m. El proceso de molienda requiere un control estricto del uso de refrigerante para evitar microfisuras causadas por el estrés térmico.

Pulido: El pulido se divide en pulido mecánico y pulido químico. El pulido mecánico utiliza agentes pulidores de nivel nanométrico, que pueden lograr un efecto espejo de $Ra < 0,4$ μ m; El pulido químico mejora aún más la suavidad al grabar la superficie con una solución ácida, como una mezcla

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de ácido nítrico y ácido fluorhídrico. La superficie pulida reduce significativamente la adherencia de fundidos como el silicio o el aluminio, prolongando la vida útil del crisol.

La elección del proceso de pulido y esmerilado depende de la aplicación. La industria de los semiconductores requiere el pulido de espejos para garantizar la pureza del crecimiento de los cristales; En la industria metalúrgica, es posible que solo sea necesario moler superficies para controlar los costos. Según el manual técnico de Chinatungsten Online, la vida útil de los crisoles de tungsteno pulido es, en promedio, entre un 15% y un 20% más larga que la de los crisoles sin pulir.

2.2.2 Normas de rugosidad superficial (Ra, Rz)

La rugosidad de la superficie es la medida central de la calidad de la superficie de los crisoles de tungsteno, que generalmente se expresa en Ra (rugosidad media aritmética) y Rz (altura máxima). Ra refleja el promedio de las fluctuaciones microscópicas de la superficie, y Rz representa la distancia entre los puntos más alto y más bajo de la superficie. El estándar de la industria tiene los siguientes requisitos para la rugosidad de la superficie para diferentes escenarios de aplicación:

Industria de semiconductores: $Ra < 0,4 \mu\text{m}$, $Rz < 2,0 \mu\text{m}$, para garantizar que no se introduzcan impurezas durante el crecimiento de los cristales. El pulido de espejos es un proceso necesario, que debe usarse con un interferómetro láser para la inspección de superficies.

Industria metalúrgica: $Ra 0.8-1.6\mu\text{m}$, $Rz 4.0-8.0\mu\text{m}$, la molienda o el pulido medio pueden satisfacer la demanda, el costo es relativamente bajo.

Industria aeroespacial y nuclear: $Ra 0,4-0,8 \mu\text{m}$, $Rz 2,0-4,0 \mu\text{m}$, equilibrando la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas a alta temperatura.

La rugosidad de la superficie generalmente se mide utilizando un perfilador de contacto o un microscopio láser sin contacto para garantizar una precisión de medición de $\pm 0,01 \mu\text{m}$. La rugosidad excesiva de la superficie puede provocar la adhesión de la masa fundida o concentraciones de tensión locales, lo que reduce la vida útil del crisol; Una rugosidad demasiado baja puede aumentar los costos de procesamiento y debe optimizarse de acuerdo con el escenario de la aplicación.

2.2.3 Detección y control de defectos superficiales

Los defectos superficiales (por ejemplo, grietas, porosidad, inclusiones) tienen un impacto significativo en el rendimiento a alta temperatura y la vida útil de los crisoles de tungsteno. Los métodos comunes de detección de defectos incluyen:

Ensayos ultrasónicos: Detección de defectos internos y superficiales por reflexión ultrasónica para crisoles de paredes gruesas. La sensibilidad de detección puede alcanzar los 0,1 mm.

Inspección por rayos X: se utiliza para detectar porosidad e inclusiones en el interior de los crisoles, especialmente para crisoles grandes. La tomografía computarizada (TC) de rayos X proporciona un

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

mapa tridimensional de la distribución de defectos.

Inspección visual de la superficie: Combinado con la microscopía óptica o la microscopía electrónica de barrido (SEM), detecta microfisuras en la superficie y anomalías de rugosidad.

La clave para el control de defectos es optimizar el proceso de preparación. Por ejemplo, el control de la atmósfera durante el proceso de sinterización reduce la porosidad; La gestión del refrigerante y la selección de herramientas en el mecanizado evitan las grietas superficiales. De acuerdo con el informe de prueba de CTIA GROUP LTD, la tasa de aprobación del crisol de tungsteno se puede aumentar a más del 98% a través de un estricto control de defectos.

2.2.4 Recubrimiento y modificación de superficies

Para mejorar aún más la resistencia a la oxidación y abrasión de los crisoles de tungsteno, se puede aplicar un recubrimiento a la superficie o modificarlo. Las técnicas comunes de tratamiento de superficies incluyen:

Recubrimientos antioxidantes: como los recubrimientos de alúmina (Al_2O_3), siliciuro (SiC) o circonio (ZrO_2), aplicados por deposición química de vapor (CVD) o pulverización con plasma. Estos recubrimientos forman una capa protectora a altas temperaturas que evita que el tungsteno reaccione con el oxígeno, prolongando la vida útil del crisol en una atmósfera oxidante.

Los recubrimientos resistentes a la abrasión, como los recubrimientos de carburo de tungsteno (www.tungsten-carbide-powder.com) o nitruro de titanio (TiN), se aplican por deposición física de vapor (PVD) para mejorar la dureza de la superficie y la resistencia al desgaste, lo que los hace adecuados para el funcionamiento a alta temperatura a largo plazo [27].

Modificación de la superficie: La implantación de iones (por ejemplo, implantación de nitrógeno o carbono) puede cambiar la estructura cristalina de la superficie, mejorar la dureza y la resistencia a la corrosión; Los tratamientos de nitruración o carburación pueden mejorar la resistencia al choque térmico de la superficie.

El proceso de recubrimiento y modificación debe seleccionarse de acuerdo con el entorno real en el que se utilizará el crisol. Por ejemplo, la industria de semiconductores generalmente evita el uso de recubrimientos para evitar la contaminación; La industria aeroespacial tiende a utilizar recubrimientos antioxidantes para hacer frente a atmósferas complejas.

2.3 Pureza del material del crisol de tungsteno

La pureza del material es el núcleo del rendimiento del crisol de tungsteno, lo que afecta directamente su estabilidad a altas temperaturas, su capacidad antiincrustante y su resistencia mecánica. Los crisoles de tungsteno generalmente se preparan con tungsteno de alta pureza (www.tungsten.com.cn), y los requisitos de pureza son \geq del 99,95%. El siguiente es un análisis detallado desde tres aspectos: las características del tungsteno de alta pureza, el análisis de los

elementos de impurezas y la influencia de la pureza en el rendimiento a alta temperatura.

2.3.1 Tungsteno de alta pureza

El tungsteno de alta pureza se refiere a materiales metálicos con un contenido de tungsteno del $\geq 99,95\%$, que se preparan mediante procesos de purificación de varias etapas, como la calcinación de paratungstato de amonio (www.ammonium-paratungstate.com) y la reducción de hidrógeno). El tungsteno de alta pureza tiene las siguientes propiedades clave:

Punto de fusión ultra alto: $3410\text{ }^{\circ}\text{C}$, el más alto de todos los metales, adecuado para entornos de temperatura extremadamente alta.

Alta densidad: $19,25\text{ g/cm}^3$, lo que confiere al crisol una excelente resistencia mecánica y resistencia a la deformación.

Baja presión de vapor: casi no volátil por debajo de $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que reduce la pérdida de material a altas temperaturas.

Excelente estabilidad química: inerte a la mayoría de los productos químicos en una atmósfera inerte, adecuado para la preparación de materiales de alta pureza.

La preparación de tungsteno de alta pureza requiere un control estricto de la calidad de la materia prima y el entorno de producción. Según el informe técnico de Chinatungsten Online, el costo de producción del polvo de tungsteno de alta pureza representa aproximadamente el $30\% -40\%$ del costo total del crisol de tungsteno, que es el factor clave que afecta el precio del crisol de tungsteno.

2.3.2 Análisis de elementos de impurezas

Los elementos de impureza en los crisoles de tungsteno incluyen carbono, oxígeno, hierro, molibdeno, nitrógeno, etc., y generalmente se miden en partes por millón (ppm). Los siguientes métodos se utilizan principalmente para la detección del contenido de impurezas:

Espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF): se utiliza para la detección rápida de los principales elementos de impurezas con una precisión de $\pm 1\text{ ppm}$.

Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): para el análisis de elementos traza con límites de detección tan bajos como $0,01\text{ ppm}$.

Microscopía electrónica de barrido (SEM) combinada con espectroscopía de energía (EDS): se utiliza para localizar distribuciones de impurezas y analizar el enriquecimiento elemental en los límites de grano.

De acuerdo con ASTM E1447-09, se requiere que los crisoles de tungsteno contengan impurezas dentro de los siguientes rangos:

carbono	<50 ppm
oxígeno	<100 ppm
hierro	<20 ppm
molibdeno	<50 ppm
nitrógeno	<10 ppm

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Los niveles de impurezas excesivamente altos pueden provocar el debilitamiento de los límites de grano, la degradación del rendimiento del choque térmico o la contaminación volátil a altas temperaturas.

2.3.3 Efecto de la pureza en el rendimiento a altas temperaturas

La pureza del material tiene los siguientes efectos específicos en el rendimiento a alta temperatura del crisol de tungsteno:

Estabilidad a altas temperaturas: Los límites de grano del tungsteno de alta pureza son más limpios, lo que reduce la posibilidad de deslizamiento y fluencia del límite de grano a altas temperaturas. Los crisoles de tungsteno con una pureza del \geq del 99,99% pueden funcionar de manera estable por encima de los 3000 °C, mientras que los crisoles con una pureza del 99,9% pueden deformarse microscópicamente a 2800 °C.

Resistencia al choque térmico: Las impurezas, como el oxígeno o el carbono, pueden formar fases quebradizas en los límites de los granos, lo que da lugar a grietas por choque térmico. Cuanto mayor sea la pureza, mayor será la resistencia al choque térmico, lo que es adecuado para escenarios de aumento y caída rápidos de temperatura.

Resistencia a la contaminación: Las impurezas del tungsteno de baja pureza (como el hierro o el molibdeno) pueden volatilizarse a altas temperaturas, contaminando la masa fundida y afectando el crecimiento de los cristales o la pureza de la aleación. Los crisoles de tungsteno de alta pureza minimizan el riesgo de contaminación.

2.4 Propiedades térmicas del crisol de tungsteno

Las propiedades térmicas del crisol de tungsteno son sus principales ventajas en entornos de alta temperatura, que determinan su rendimiento en términos de conducción de calor, estabilidad térmica y adaptación de expansión térmica. El siguiente es un análisis detallado de cuatro aspectos: estabilidad a alta temperatura, resistencia al choque térmico, características de conducción térmica y radiación térmica, y coincidencia de expansión térmica.

2.4.1 Estabilidad a alta temperatura del crisol de tungsteno

La estabilidad a alta temperatura de los crisoles de tungsteno se debe al punto de fusión ultra alto (3410 °C) y a la baja presión de vapor del tungsteno. Por debajo de 3000 °C, los crisoles de tungsteno tienen poca o ninguna volatilización o deformación, lo que los hace adecuados para entornos de temperatura extremadamente alta, como las pruebas de material de plasma en reactores de fusión nuclear o la fusión de superaleaciones.

La clave de la estabilidad a altas temperaturas radica en la optimización de la microestructura del material. El crisol de tungsteno con estructura de grano fino (tamaño de grano $< 10 \mu\text{m}$) puede reducir el deslizamiento del límite de grano y mejorar la resistencia a la fluencia. La alta densidad ($>98\%$ de densidad teórica) puede reducir la concentración de estrés local causada por los estomas.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

2.4.2 Resistencia al choque térmico del crisol de tungsteno y vida útil a la fatiga térmica

La resistencia al choque térmico se refiere a la capacidad de un crisol de tungsteno para resistir el agrietamiento bajo cambios rápidos de temperatura. El bajo coeficiente de expansión térmica del tungsteno ($4,5 \times 10^{-6}/K$) y su alta conductividad térmica ($174 W/(m \cdot K)$) le confieren una excelente resistencia al choque térmico, pero su fragilidad a temperatura ambiente puede provocar la propagación de grietas.

La resistencia al choque térmico generalmente se prueba mediante enfriamiento con agua o calentamiento por pulsos láser. Por ejemplo, un crisol de tungsteno se enfría rápidamente de $2000\text{ }^{\circ}C$ a temperatura ambiente para observar la formación de grietas. Los crisoles de tungsteno de grano fino y alta pureza pueden soportar diferencias de temperatura de $>1000\text{ }^{\circ}C/s$ sin agrietarse, mientras que el límite de los crisoles ordinarios es de unos $500\text{ }^{\circ}C/s$.

La vida útil por fatiga térmica se refiere a la estabilidad estructural de un crisol después de múltiples ciclos térmicos. Las grietas por fatiga térmica generalmente se originan por defectos superficiales o debilitamiento de los límites de grano. A través del pulido de la superficie y el refinamiento del grano, la vida útil por fatiga térmica se puede prolongar en más del 50%.

2.4.3 Características de conductividad térmica y radiación térmica del crisol de wolframio

El tungsteno tiene una conductividad térmica de $174 W/(m \cdot K)$ y mantiene una alta conductividad térmica a altas temperaturas, lo que lo hace adecuado para escenarios que requieren una respuesta térmica rápida, como el crecimiento de silicio monocristalino o la deposición de película delgada. La conductividad térmica disminuye ligeramente con el aumento de la temperatura y es de unos $120 W/(m \cdot K)$ a $2000\text{ }^{\circ}C$.

Las propiedades de la radiación térmica están determinadas por la emisividad de la superficie. La emisividad de la superficie del crisol de tungsteno sin pulir es de $0.3-0.4$, que se puede reducir a $0.1-0.2$ después del pulido, reduciendo la pérdida de radiación de calor. A altas temperaturas ($>2000\text{ }^{\circ}C$), la radiación de calor se convierte en la principal ruta de pérdida de calor, y la eficiencia térmica debe optimizarse mediante el diseño del crisol, como la adición de recubrimientos reflectantes.

2.4.4 Adaptación de la expansión térmica del crisol de tungsteno

El coeficiente de expansión térmica del tungsteno es de $4,5 \times 10^{-6}/K$, que es mucho más bajo que el de la mayoría de las fundidas (por ejemplo, silicio: $2,6 \times 10^{-5}/K$; Aluminio: $2,3 \times 10^{-5}/K$). Un desajuste en la expansión térmica puede provocar estrés térmico en la interfaz crisol-fusión, causando grietas o descamación.

Para mejorar la adaptación de la expansión térmica, se pueden tomar las siguientes medidas:

Optimización geométrica: El análisis de elementos finitos se utiliza para diseñar el espesor de la pared del crisol y la curvatura del fondo para dispersar las tensiones térmicas.

Capa tampón: Se aplica una capa tampón de grafito o circonio a la pared interior del crisol para

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

mitigar la diferencia en la expansión térmica.

Proceso de precalentamiento: Precalentamiento lento del crisol y fundido antes de calentarlo para reducir el estrés causado por las diferencias de temperatura.

2.5 Estabilidad química del crisol de tungsteno

La estabilidad química de los crisoles de tungsteno es una ventaja importante en entornos corrosivos y reacciones a alta temperatura, ya que determina su compatibilidad con fundidos, productos químicos y atmósferas. Lo siguiente se discute en detalle desde tres aspectos: resistencia a la corrosión ácida y alcalina, inercia a alta temperatura y capacidad anticontaminación, y compatibilidad con metales fundidos y aleaciones.

2.5.1 Resistencia a la corrosión ácida y alcalina del crisol de tungsteno

El tungsteno tiene una excelente resistencia a la corrosión de la mayoría de los ácidos y bases, especialmente en ambientes normales y neutros o débilmente ácidos. La resistencia específica a la corrosión es la siguiente:

Ambiente ácido: Los crisoles de tungsteno son resistentes al ácido clorhídrico, al ácido sulfúrico y al ácido fosfórico, pero se disuelven lentamente en ácidos oxidantes fuertes como el ácido nítrico concentrado o el agua regia. Los experimentos muestran que la tasa de corrosión del crisol de tungsteno con una pureza del 99,95% en una solución de ácido sulfúrico al 10% (25 °C) < de 0,01 mm/año.

Ambiente alcalino: El tungsteno es relativamente estable en soluciones alcalinas fuertes (como el hidróxido de sodio), pero puede ocurrir una reacción de oxidación en fundidos alcalinos a altas temperaturas (>500 °C) y se debe evitar el contacto directo.

Entorno neutro: El crisol de tungsteno casi no tiene corrosión en soluciones neutras (como agua o solución salina), lo que es adecuado para el refinado químico de alta pureza en la industria química.

La resistencia a la corrosión ácida y alcalina generalmente se prueba por inmersión o corrosión electroquímica para garantizar que no haya una pérdida de masa significativa o un cambio morfológico en la superficie del crisol.

2.5.2 Crisol de tungsteno, inercia a alta temperatura y capacidad anticontaminación

Los crisoles de tungsteno son extremadamente inertes químicamente en atmósferas inertes (por ejemplo, argón, helio) o vacío, lo que puede prevenir eficazmente la contaminación y son adecuados para la preparación de materiales de alta pureza como el silicio monocristalino, el zafiro o los semiconductores compuestos (GaAs, GaN).

La clave de la inercia a alta temperatura radica en la baja presión de vapor del tungsteno y su estructura cristalina estable. Por debajo de 3000 °C, el tungsteno es casi no volátil, lo que reduce la contaminación de la masa fundida por el material del crisol. Por el contrario, las impurezas de los

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

crisoles de baja pureza, como el hierro o el carbono, pueden volatilizarse a altas temperaturas, lo que da lugar a defectos cristalinos o desviaciones en la composición de la aleación.

La prueba de la resistencia a la contaminación generalmente se realiza calentando el crisol en un entorno de vacío para analizar la composición química de los volátiles.

2.5.3 Compatibilidad del crisol de wolframio con el metal fundido y la aleación

Los crisoles de tungsteno tienen buena compatibilidad con la mayoría de los metales fundidos y aleaciones, pero pueden reaccionar con ciertos metales reactivos. El análisis de compatibilidad específico es el siguiente:

Metales inertes: Los crisoles de tungsteno son altamente compatibles con el aluminio fundido, el cobre, el oro, la plata y otros metales inertes, sin reacciones químicas obvias o disolución, y son adecuados para la refinación de metales preciosos.

Metales activos: El tungsteno puede reaccionar en la interfaz con el titanio fundido, el circonio, el hafnio y otros metales activos para formar compuestos frágiles (como el tungsteno de titanio). Para evitar reacciones, se puede aplicar una capa protectora de grafito o circonio en la pared interior del crisol.

Aleación: El crisol de tungsteno se puede utilizar para la fusión de aleaciones de alta temperatura (como aleaciones a base de níquel y aleaciones a base de cobalto), pero el tiempo de fusión y la atmósfera deben controlarse para evitar la disolución de trazas causada por el contacto a largo plazo.

Las pruebas de compatibilidad suelen utilizar experimentos de fusión a alta temperatura combinados con microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD) para analizar los productos de las reacciones interfaciales.

2.6 Propiedades mecánicas del crisol de tungsteno

Las propiedades mecánicas del crisol de tungsteno determinan su integridad estructural y vida útil en entornos de alta temperatura y tensión compleja. El siguiente es un análisis detallado de cuatro aspectos: resistencia a la deformación a alta temperatura, resistencia a la propagación de grietas, estabilidad estructural bajo calentamiento circulante y resistencia a golpes y vibraciones.

2.6.1 Resistencia a la deformación a alta temperatura del crisol de tungsteno

El tungsteno conserva una alta resistencia y rigidez a altas temperaturas, y su resistencia a la deformación es superior a la de otros refractarios como el grafito o la alúmina. A 2000 °C, el límite elástico del tungsteno aún puede alcanzar los 100-150 MPa, que es mucho más alto que el del grafito (alrededor de 20 MPa).

La clave de la resistencia a la deformación a altas temperaturas radica en el tamaño y la densidad del grano. Los crisoles de tungsteno con granos finos (<10 μm) y alta densidad (>98%) son eficaces

contra la fluencia y la deformación plástica. Los datos de prueba de Chinatungsten Online muestran que la tasa de deformación del crisol de tungsteno se puede controlar por debajo del 0,1% a 2500 °C optimizando el proceso de sinterización.

2.6.2 Resistencia a la propagación de grietas por crisol de tungsteno

La fragilidad del tungsteno lo hace propenso a la propagación de grietas a temperatura ambiente, pero muestra cierta dureza a alta temperatura (>1000 °C). La resistencia a la propagación de grietas se puede mejorar mediante:

Refinamiento del grano: la estructura de grano fino puede dispersar la energía del agrietamiento y reducir la tasa de crecimiento del agrietamiento.

Refuerzo de la superficie: por ejemplo, nitruración o implantación de iones para mejorar la dureza de la superficie y la resistencia al agrietamiento.

Control de defectos: Eliminación de porosidad e inclusiones mediante ensayos no destructivos (por ejemplo, ultrasonidos o rayos X) para reducir el inicio de grietas.

Las pruebas de propagación de grietas generalmente utilizan una prueba de flexión o tenacidad a la fractura de tres puntos.

2.6.3 Estabilidad estructural del crisol de wolframio bajo calefacción circulante

El calentamiento circulante puede provocar grietas por fatiga térmica y degradación microestructural, lo que afecta la estabilidad estructural del crisol. Los factores que influyen incluyen:

Estrés térmico: El estrés térmico causado por la rampa rápida y la caída de la temperatura puede provocar grietas.

Debilitamiento del límite de grano: El funcionamiento prolongado a altas temperaturas puede causar deslizamiento del límite de grano o enriquecimiento de impurezas.

Daño superficial: La oxidación de la superficie o la erosión por fusión pueden acelerar la degradación estructural.

La estabilidad estructural puede mejorarse significativamente optimizando el proceso de sinterización (por ejemplo, sinterización de varias etapas) y los tratamientos superficiales (por ejemplo, recubrimientos antioxidantes).

2.6.4 Crisol de tungsteno, resistencia a golpes y vibraciones

El crisol de tungsteno tiene una resistencia débil a los golpes y vibraciones, especialmente a temperatura ambiente, y es propenso a agrietarse debido a golpes mecánicos o vibraciones. A altas temperaturas (>1000 °C), la tenacidad del tungsteno mejora ligeramente, pero aún deben evitarse los impactos fuertes.

La resistencia al impacto generalmente se prueba mediante una prueba de caída de peso o una prueba de agitación. En el uso práctico, se requieren soportes amortiguadores y embalajes protectores para

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

reducir el riesgo de impacto durante el transporte y el funcionamiento.

2.7 Otras características del crisol de tungsteno

Además de las propiedades térmicas, químicas y mecánicas, los crisoles de tungsteno también tienen algunas propiedades especiales que son adecuadas para escenarios de aplicación específicos. Se analiza lo siguiente desde tres aspectos: propiedades eléctricas a alta temperatura, resistencia al desgaste y a la abrasión, y propiedades antirradiación.

2.7.1 Propiedades eléctricas a alta temperatura del crisol de wolframio

El tungsteno tiene una resistividad estable a altas temperaturas, lo que lo hace adecuado como elemento calefactor eléctrico o como electrodo de alta temperatura (<http://tungsten.com.cn/chinese/tungsten-electrodes.html>). A 2000 °C, la resistividad del tungsteno es de 50-60 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, que es solo 5 veces mayor que la temperatura ambiente, y exhibe una excelente estabilidad eléctrica.

Las aplicaciones de las propiedades eléctricas a alta temperatura incluyen:

Fusión por arco: Los crisoles de tungsteno se pueden utilizar como electrodos para soportar altas corrientes y altas cargas de calor.

Calentamiento por resistencia: El crisol de tungsteno se puede calentar directamente con electricidad, lo que simplifica el diseño del sistema de calefacción.

2.7.2 Crisol de tungsteno resistente al desgaste y al desgaste

El tungsteno tiene una dureza de 8-9 en la escala de Mohs, alta dureza superficial, excelente resistencia al desgaste y es adecuado para operaciones a alta temperatura a largo plazo. La prueba de resistencia a la abrasión generalmente utiliza una prueba de fricción y desgaste, que simula el contacto de un crisol con una sustancia fundida o herramienta. La mejora de la resistencia al desgaste puede lograrse mediante recubrimientos superficiales como el carburo de tungsteno o el nitruro de titanio, o mediante la implantación de iones. Estos tratamientos aumentan la dureza de la superficie a HV 2000 y prolongan aún más la vida útil del crisol.

2.7.3 Resistencia a la radiación de los crisoles de wolframio (aplicaciones en la industria nuclear)

El tungsteno tiene una alta capacidad de absorción de neutrones y rayos gamma, lo que lo hace adecuado para componentes de alta temperatura en reactores nucleares y dispositivos de fusión nuclear. La resistencia a la radiación del tungsteno se debe a su alta densidad y alto número atómico, que puede proteger eficazmente contra la energía radiante.

En la industria nuclear, los crisoles de tungsteno se usan comúnmente para pruebas de materiales de plasma y fabricación de componentes a alta temperatura. Los datos de la prueba mostraron que el crisol de tungsteno permaneció estructuralmente intacto bajo radiación gamma de 10⁶ Gy sin daños evidentes en la red.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

2.8 Hoja de datos de seguridad del crisol de tungsteno de CTIA GROUP LTD

La hoja de datos de seguridad (MSDS) de los materiales de crisol de tungsteno proporcionada por CTIA GROUP LTD (<http://cn.ctia.group>) enumera en detalle la composición química, las propiedades físicas, las pautas de operación de seguridad y las medidas de tratamiento de emergencia de los productos. Los principales contenidos de MSDS incluyen:

Parte I: Nombre del producto

Nombre: Crisol de tungsteno

Nº CAS: 7440-33-7

Parte II: Composición/Información de composición

Contenido principal $W \geq 99.95\%$

Contenido total de impurezas $\leq 0.05\%$

Parte III: Panorama general de los peligros

Riesgos para la salud: Este producto no irrita los ojos ni la piel.

Peligro de explosión: Este producto no es inflamable ni irritante.

Parte IV: Medidas de primeros auxilios

Contacto piel con piel: Quítese la ropa contaminada y enjuague con abundante agua corriente.

Contacto con los ojos: Levante el párpado y enjuague con agua corriente o solución salina.

Tratamiento médico.

Inhalación: Retirar de la escena al aire libre. Si tiene dificultad para respirar, dele oxígeno.

Tratamiento médico.

Ingesta: Beba abundante agua tibia para inducir el vómito. Tratamiento médico.

Parte V: Medidas de protección contra incendios

Productos de combustión nocivos: Los productos de descomposición natural son desconocidos.

Método de extinción de incendios: Los bomberos deben usar máscaras antigás y trajes de extinción de incendios de cuerpo completo para extinguir el fuego en la dirección de barlovento. Agente extintor de incendios: polvo de cuero seco, arena.

Parte 6: Manejo de Emergencia de Derrames

Tratamiento de emergencia: Aísle el área contaminada por fugas y restrinja el acceso. Corta la fuente de fuego. Se recomienda a los servicios de emergencia que usen máscaras contra el polvo (máscaras faciales completas) y ropa protectora. Evite el polvo, límpielo con cuidado, póngalo en una bolsa y transfíralo a un lugar seguro. Si hay una gran cantidad de fugas, cúbrala con un paño plástico o una lona. Recolectar y reciclar o transportar a un sitio de eliminación de desechos para su eliminación.

Parte VII: Manipulación, manipulación y almacenamiento

Precauciones para la operación: Los operadores deben estar especialmente capacitados y seguir estrictamente los procedimientos operativos. Se recomienda que los operadores usen máscaras

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

antipolvo filtrantes autocebantes, gafas de seguridad química, overoles anti-penetración de veneno y guantes de goma. Manténgase alejado del fuego y las fuentes de calor, y está estrictamente prohibido fumar en el lugar de trabajo. Utilice sistemas y equipos de ventilación a prueba de explosiones. Evite la generación de polvo. Evite el contacto con oxidantes y halógenos. Al manipular, es necesario cargar y descargar ligeramente para evitar daños en el embalaje y los contenedores. Equipado con las variedades y cantidades correspondientes de equipos de extinción de incendios y equipos de tratamiento de emergencia de fugas. Los recipientes vacíos pueden dejar sustancias nocivas.

Precauciones de almacenamiento: Almacene en un almacén fresco y ventilado. Mantener alejado del fuego y de fuentes de calor. Debe almacenarse por separado de los oxidantes y halógenos, y no debe mezclarse. Equipado con la variedad y cantidad correspondiente de equipos de extinción de incendios. El área de almacenamiento debe estar equipada con materiales adecuados para contener el derrame.

Parte VIII: Control de la exposición/Protección personal

China MAC (mg/m³): 6

URSS MAC (mg/m³): 6

TLVTN: ACGIH 1mg/m³

TLVWN: ACGIH 3mg/m³

Método de monitoreo: método de espectroluminiscencia de tiocianuro de potasio-cloruro de titanio

Control de ingeniería: el proceso de producción está libre de polvo y totalmente ventilado.

Protección respiratoria: Cuando la concentración de polvo en el aire supera la norma, se debe usar una mascarilla antipolvo filtrante autocebante. En el caso de una evacuación de emergencia, se deben usar aparatos de respiración de aire.

Protección ocular: Use anteojos de seguridad química.

Protección corporal: Use overoles anti-penetración de veneno.

Protección de las manos: Use guantes de goma.

Parte IX: Propiedades fisicoquímicas

Ingrediente principal: Puro

Apariencia y propiedades: metal sólido de color blanco brillante

Punto de fusión (°C): N/A

Punto de ebullición (°C): N/A

Densidad relativa (agua = 1): 13~18.5 (20 °C)

Densidad de vapor (aire = 1): Sin datos

Presión de vapor de saturación (kPa): no hay datos disponibles

Calor de combustión (kJ/mol): sin datos

Temperatura crítica (°C): No hay datos disponibles

Presión crítica (MPa): No hay datos disponibles

Logaritmo del coeficiente de reparto del agua: sin datos

Punto de inflamación (°C): No hay datos disponibles

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Temperatura de ignición (°C): Sin datos

% de límite de explosión (V/V): Sin datos

Límite inferior de explosión % (V/V): Sin datos

Solubilidad: soluble en ácido nítrico, ácido fluorhídrico

Usos principales: se utiliza para fabricar piezas de blindaje, ejes de dardos de aleación de tungsteno, bolas de aleación de tungsteno, etc.

Parte X: Estabilidad y reactividad

Sustancias prohibidas: ácidos fuertes y álcalis.

Parte 11:

Toxicidad aguda: no se dispone de datos

LC50: Sin datos

Parte XII: Datos ecológicos

No hay datos para esta sección

Parte XIII: Eliminación

Método de eliminación de residuos: Consulte las leyes y reglamentos nacionales y locales pertinentes antes de eliminarlos. Recicla si es posible.

Parte XIV: Información de envío

Categoría de embalaje: Z01

Precauciones para el transporte: El embalaje debe estar completo durante el envío y la carga debe ser segura. Durante el transporte, es necesario asegurarse de que el contenedor no tenga fugas, colapse, caiga o se dañe. Está terminantemente prohibido mezclar con oxidantes, halógenos, productos químicos comestibles, etc. Durante el transporte, debe protegerse de la exposición al sol, la lluvia y las altas temperaturas. Los vehículos deben limpiarse a fondo después del transporte.

Parte 15: Información del proveedor

Proveedor: CTIA GROUP LTD

Tel: +86 0592-5129696/5129595

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com



Crisoles de tungsteno CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Capítulo 3 Proceso de preparación y tecnología del crisol de tungsteno

La preparación del crisol de tungsteno es un proceso complejo que implica la preparación de la materia prima, la pulvimetalurgia, el moldeo, la sinterización, el mecanizado, el posprocesamiento y el control de calidad. Los detalles técnicos de cada eslabón afectan directamente el rendimiento y el costo del crisol. En este capítulo se discutirá en detalle el flujo del proceso, los requisitos de los equipos, las estrategias de optimización de cada enlace y los últimos avances tecnológicos de las principales empresas de productos de tungsteno del mundo.

3.1 Preparación de materias primas de crisol de tungsteno

La calidad de la materia prima es la base del rendimiento del crisol de tungsteno, que determina directamente su pureza, microestructura y rendimiento a alta temperatura. La siguiente es una discusión detallada de cuatro aspectos: refinación de mineral de tungsteno, características del polvo de tungsteno, control de tamaño de partícula e inspección de calidad.

3.1.1 Refinación de mineral de tungsteno y producción de polvo de tungsteno de alta pureza

Las materias primas del crisol de tungsteno se derivan principalmente de la wolframita y la scheelita (www.tungsten.com.cn). El proceso de refinación incluye trituración de mineral, flotación, separación por gravedad, lixiviación química y preparación de paratungstato de amonio (APT). APT produce polvo de tungsteno de alta pureza a través de la reducción de hidrógeno, y el flujo del proceso es el siguiente: calcinación APT (500-800 °C) → reducción de hidrógeno (800-1000 °C) → cribado en polvo.

Por lo general, se requiere que la pureza del polvo de tungsteno de alta pureza alcance más del 99,95%, y algunas aplicaciones de alta gama (como los semiconductores) requieren el 99,999% (5N). El control de la atmósfera (pureza del hidrógeno > 99,999%) y el gradiente de temperatura (± 5 °C) durante la reducción de APT son clave para lograr una alta pureza. Los hornos de reducción generalmente están diseñados con control de temperatura multizona, y el material del tubo del horno es molibdeno o cuarzo de alta pureza para evitar la contaminación por impurezas.

Los desafíos en el proceso de refinación incluyen el consumo de energía y los problemas ambientales. El proceso hidrometalúrgico tradicional requiere el uso de una gran cantidad de reactivos ácidos y alcalinos, que producen líquidos y gases residuales. La tecnología metalúrgica verde de Chinatungsten Online reduce las emisiones de líquidos residuales a 0,1 m³/tonelada mediante el tratamiento de agua de circuito cerrado y la conversión catalítica de los gases de escape, de acuerdo con la norma ISO 14001 [67].

3.1.2 Requisitos de las características químicas y físicas del polvo de wolframio

Las propiedades químicas del polvo de tungsteno incluyen bajo contenido de oxígeno (<200 ppm), bajo contenido de impurezas (hierro <50 ppm, níquel < 20 ppm, carbono <30 ppm) y alta pureza (>99,95%). Las propiedades físicas incluyen el tamaño de partícula, la topografía, la fluidez y la densidad aparente. El rango de tamaño de partícula suele ser de 1 μm a 10 μm, y la topografía es

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

preferiblemente casi esférica para mejorar la densidad y las propiedades de sinterización del polvo. El caudal se mide con un medidor de velocidad Hall y el caudal de polvo de tungsteno de alta calidad debe ser inferior a 20 s / 50 g. La densidad aparente (alrededor de 4-6 g/cm³) refleja las características de empaquetamiento del polvo y afecta directamente la densidad del cuerpo moldeado.

Las especificaciones técnicas de Chinatungsten Online requieren que el contenido de oxígeno del polvo de tungsteno se controle por debajo de 100 ppm mediante la reducción de hidrógeno a alta temperatura, y las impurezas de hierro se eliminen mediante separación magnética y decapado. Se utilizó la esferoidización por plasma para optimizar la forma irregular del polvo a una forma casi esférica, con una tasa de nodularización de más del 90% [68]. Empresas globales como el grupo austriaco Plansee han controlado la distribución del tamaño de partícula del polvo de tungsteno a $\pm 0,5 \mu\text{m}$ a través de la tecnología de clasificación de flujo de aire para mejorar la uniformidad de la microestructura del crisol.

3.1.3 Distribución del tamaño de partícula del polvo de tungsteno y control de la morfología

La distribución del tamaño de partícula del polvo de tungsteno afecta directamente la densidad, las propiedades mecánicas y la contracción por sinterización del crisol. La estrecha distribución del tamaño de partícula ($D_{90}/D_{10} < 2$) mejora la uniformidad del crisol y reduce la porosidad y las grietas. El control del tamaño de partícula se realiza normalmente mediante técnicas de clasificación del flujo de aire, tamizado ultrasónico o sedimentación húmeda. La clasificación del flujo de aire separa polvos de diferentes tamaños de partícula ajustando la velocidad del flujo de aire (5-20 m/s) con una precisión de $\pm 0,1 \mu\text{m}$. El tamizado ultrasónico se utiliza para eliminar polvos ultrafinos ($< 0,5 \mu\text{m}$) para evitar el crecimiento anormal del grano durante el proceso de sinterización.

El control de la topografía es la clave para la optimización del tamaño de las partículas. La densidad aparente del polvo casi esférico es aproximadamente un 20% más alta que la del polvo irregular, y la densidad de sinterización puede alcanzar más del 99%. La tecnología de esferoidización por plasma funde polvo de tungsteno con plasma a alta temperatura ($> 10000 \text{ }^\circ\text{C}$) para formar una forma esférica bajo tensión superficial.

3.1.4 Inspección de la calidad de la materia prima

Las pruebas de materias primas incluyen análisis de composición química, análisis de tamaño de partícula, observación de morfología y pruebas de propiedades físicas. La composición química se analizó mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF), espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y analizadores de gases con una precisión de 1 ppm. El análisis del tamaño de partícula se lleva a cabo mediante un analizador láser de tamaño de partícula con un rango de medición de $0,1 \mu\text{m}$ a $100 \mu\text{m}$. Para la observación topográfica se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM) con una resolución de 1 nm. Las pruebas de propiedades físicas incluyen mediciones de flujo y densidad aparente para garantizar que el polvo cumpla con los requisitos de moldeo y sinterización.

3.2 Proceso de pulvimetalurgia de crisol de tungsteno

La pulvimetalurgia es la tecnología central de la preparación de crisoles de tungsteno, que implica pasos como la mezcla, el prensado en frío y la densificación. A continuación se presenta una discusión detallada de tres aspectos: mezcla y aditivos, prensado en frío y preformado, y densificación y desbarbado.

3.2.1 Mezcla de polvo de wolframio y aditivos

Para mejorar el rendimiento del crisol, generalmente se agregan oligoelementos (por ejemplo, lantano, cerio, itrio) o aglutinantes (por ejemplo, alcohol polivinílico PVA, polimetacrilato de metilo PMMA) al polvo de tungsteno. El lantano (0,5-1%) mejora la resistencia al tungsteno a altas temperaturas y a la fluencia, mientras que el cerio (0,2-0,5%) mejora la resistencia al choque térmico. Los aglutinantes se utilizan para mejorar la resistencia de los cuerpos prensados en frío, generalmente en una dosis de 1-3% en peso. El proceso de mezcla utiliza molinos de bolas planetarios o mezcladores en V con un tiempo de mezcla de 4-8 horas y una velocidad de 100-300 rpm para garantizar una distribución uniforme de los aditivos.

3.2.2 Tecnología de prensado y preformado en frío

La formación por prensado en frío se logra mediante prensado uniaxial o tecnología de prensado isostático con un rango de presión de 100 MPa a 300 MPa. El prensado de un solo eje es adecuado para crisoles pequeños (diámetro < 200 mm) con moldes de acero o carburo de alta resistencia y superficie pulida a $Ra < 0,1 \mu m$. El prensado isostático (CIP) aplica presión uniformemente a través de un medio líquido y es adecuado para crisoles grandes (diámetro > 300 mm) con una densidad del 60%-70% de la densidad teórica. La forma del cuerpo de la preforma debe considerar la contracción de sinterización (15% -20%), y el tamaño del molde generalmente se amplía 1,2 veces.

3.2.3 Densificación y desbarbado de polvos

El proceso de desbarbado se lleva a cabo en una atmósfera de hidrógeno de 400 °C a 600 °C, con un tiempo de retención de 2 a 4 horas y una tasa de eliminación de más del 99%. La atmósfera de hidrógeno evita la oxidación del polvo de tungsteno y elimina las impurezas de oxígeno de la superficie. La densificación se logra por sinterización, y la densidad final del crisol puede alcanzar más del 99%. El cuerpo de pre-sinterización está pre-sinterizado (800-1000 °C) para aumentar la resistencia inicial.

3.3 Proceso de formación de crisoles de tungsteno

El proceso de conformado determina la precisión geométrica, la uniformidad estructural y la eficiencia de producción del crisol. La siguiente es una discusión detallada de cinco aspectos: prensado isostático, moldeo, hilado, formación de formas complejas y diseño de moldes.

3.3.1 Prensado isostático (prensado isostático en frío, prensado isostático en caliente)

El prensado isostático en frío (CIP) aplica presión (100-200 MPa) de manera uniforme a través de un medio líquido como agua o aceite, y es adecuado para la formación de crisoles grandes. La cámara de presión de una planta CIP generalmente está hecha de acero de alta resistencia y revestida

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

con un molde de goma para proteger la superficie del cuerpo verde. El prensado isostático en caliente (HIP) se lleva a cabo a altas temperaturas (1000-1500 °C) y altas presiones (100-200 MPa) para aumentar aún más la densidad del crisol y reducir la porosidad a menos del 0,1%.

3.3.2 Moldeo por compresión y extrusión

El moldeo por compresión se logra mediante prensado uniaxial o biaxial, que es adecuado para la producción de bajo volumen con bajos costos de herramientas. La extrusión se utiliza para producir crisoles delgados (por ejemplo, altura > 1000 mm) con una alta relación de aspecto (> 10:1) lograda por extrusión continua. Ambos procesos requieren un control preciso del flujo de polvo y de los lubricantes del molde (por ejemplo, emulsión de grafito).

3.3.3 Spinning y estiramientos

El moldeo por hilatura da forma a los crisoles mediante moldes giratorios a alta velocidad (500-2000 rpm) y es adecuado para la producción de crisoles de paredes delgadas (espesor de pared < 3 mm). El molde está hecho de carburo o cerámica, y la superficie está pulida a $Ra < 0.05 \mu\text{m}$. La formación por estiramiento se logra por medio de un troquel de trefilado y es adecuada para crisoles con grandes alturas. Según el informe técnico de Chinatungsten Online, la uniformidad del espesor de la pared del crisol formado por hilado es de $\pm 0,1$ mm y la eficiencia de producción es aproximadamente un 50% mayor que la del moldeo.

3.3.4 Tecnología de conformado para crisoles con formas complejas

Los crisoles con formas complejas, como diseños con bridas, múltiples cavidades o escalonados, a menudo se hilan mediante hilatura CN, prensado isostático o fabricación aditiva. La hilatura CNC permite geometrías complejas a través de un enlace multiteje, mientras que el prensado isostático está formado por moldes flexibles.

3.3.5 Diseño y fabricación de moldes

El diseño del molde debe tener en cuenta la contracción del sinterizado, la distribución del estrés térmico y la vida útil del molde. El material del molde suele ser acero de alta resistencia, carburo o cerámica, y la superficie debe estar cromada o recubierta con DLC (recubrimiento similar al diamante) para mejorar la resistencia al desgaste.

3.4 Proceso de sinterización del crisol de tungsteno

El proceso de sinterización del crisol de tungsteno es el paso central en su proceso de preparación, que determina directamente la densidad, la microestructura, las propiedades mecánicas, la estabilidad a altas temperaturas y la vida útil final del crisol. La sinterización hace que las partículas de polvo de tungsteno se difundan y se combinen a través del tratamiento a alta temperatura para formar una estructura sólida uniforme y de alta densidad. Debido al punto de fusión ultra alto (alrededor de 3422 °C), la alta dureza y la inercia química del tungsteno, el proceso de sinterización debe llevarse a cabo en condiciones controladas con precisión para garantizar una calidad constante del producto y un rendimiento confiable. Este capítulo discutirá en profundidad las diversas tecnologías de sinterización de crisol de tungsteno, incluida la sinterización al vacío, la sinterización

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

con protección de hidrógeno o gas inerte, la optimización de parámetros de sinterización, la sinterización de múltiples etapas, la sinterización en gradiente, la contracción de sinterización y el control de tamaño, combinadas con las prácticas técnicas de las empresas globales de productos de tungsteno, las últimas investigaciones académicas y la información de la industria proporcionada por Chinatungsten Online, Analizar de manera integral los principios, equipos, parámetros y desafíos del proceso de sinterización.

3.4.1 Tecnología de sinterización al vacío

La sinterización al vacío es el proceso elegido para la producción de crisoles de tungsteno de alta pureza, que se utilizan ampliamente en campos exigentes como el crecimiento de cristales semiconductores, la fundición de metales de tierras raras y la industria nuclear. El entorno de vacío reduce significativamente la oxidación del tungsteno por el oxígeno y otros gases reactivos, lo que garantiza una alta pureza y un excelente rendimiento del crisol.

Principio de proceso

La sinterización al vacío calienta el cuerpo de tungsteno a una temperatura por debajo del punto de fusión del tungsteno (normalmente entre 1800 °C y 2600 °C) para promover la difusión de la superficie, la difusión del límite de grano y la difusión estereoscópica entre las partículas para formar una microestructura densa. Bajo vacío, las moléculas de gas se eliminan del medio ambiente, reduciendo la formación de óxidos (por ejemplo, trióxido de tungsteno) y otras impurezas. Durante el proceso de sinterización, las partículas de tungsteno se unen por migración atómica y cierre de poros para formar una estructura de crisol con una densidad cercana a la densidad teórica (19,25 g/cm³).

Requisitos del equipo:

La sinterización al vacío generalmente utiliza un horno de sinterización al vacío de alta temperatura equipado con elementos calefactores de molibdeno, tungsteno o grafito para lograr temperaturas extremadamente altas. El cuerpo del horno debe tener las siguientes características:

Sistema de vacío: Equipado con bombas mecánicas, de difusión o turbomoleculares para garantizar un nivel de vacío de 10⁻³ Pa a 10⁻⁵ Pa.

Elementos calefactores: Los elementos calefactores de molibdeno o grafito deben soportar altas temperaturas superiores a 2600 °C y tener una distribución uniforme de la temperatura.

Control de temperatura: se utiliza un termómetro infrarrojo o termopar, y la precisión se controla dentro de ±5 °C.

Material del horno: Revestido con grafito o molibdeno de alta pureza para evitar la reacción con el cuerpo de tungsteno a altas temperaturas.

Parámetros del proceso

Los parámetros clave del proceso tienen un impacto significativo en el efecto de sinterización:

Temperatura de sinterización: generalmente entre 2000 °C y 2400 °C. La alta temperatura

(>2500 °C) puede provocar un crecimiento anormal del grano y reducir la resistencia a la propagación de grietas del crisol. Las temperaturas demasiado bajas (<1900 °C) pueden dar lugar a una densidad insuficiente (<95%).

Tiempo de retención: Dependiendo del tamaño del crisol y del grosor de la pared, el tiempo de retención es generalmente de 2 a 10 horas. Se tarda de 2 a 4 horas para los crisoles de paredes delgadas (espesor de pared <5 mm) y de 6 a 10 horas para los crisoles de paredes gruesas (espesor de pared > 10 mm).

Vacío: Por debajo de 10^{-3} Pa, algunas aplicaciones de gama alta (por ejemplo, crisoles para semiconductores) requieren 10^{-4} Pa o más.

Velocidad de calentamiento: control a 3 °C / min a 10 °C / min, demasiado rápido puede causar estrés térmico y causar agrietamiento del cuerpo verde.

Velocidad de enfriamiento: controlada por debajo de 5 °C/min, utilizando enfriamiento seccional para reducir la tensión residual.

Ventajas tecnológicas

Alta pureza: el entorno de vacío previene eficazmente la oxidación y la contaminación por impurezas, y la pureza del crisol puede alcanzar más del 99,99%.

Microestructura homogénea: Los tamaños de grano de 10 a 50 μm se pueden controlar mediante un control preciso de la temperatura y el tiempo, optimizando las propiedades mecánicas.

Baja tasa de defectos: reduce la porosidad y las inclusiones, lo que da como resultado densidades del 98% al 99,5% para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de alta gama.

Desafíos técnicos

Altos costos de equipo: Los hornos de sinterización al vacío son costosos de fabricar y mantener, especialmente para el funcionamiento de sistemas de alto vacío.

Alto consumo de energía: Alto consumo de energía debido a la alta temperatura y la sinterización a largo plazo, y el proceso debe optimizarse para mejorar la economía.

Altos requisitos para el cuerpo verde: La densidad inicial y la uniformidad del cuerpo verde afectan directamente el efecto de sinterización, y el proceso anterior (como el moldeo por presión isostática) debe controlarse estrictamente.

3.4.2 Sinterización con protección de hidrógeno o gas inerte

La sinterización blindada con hidrógeno o gases inertes (por ejemplo, argón, nitrógeno) es otra tecnología importante en la producción de crisoles de tungsteno para aplicaciones sensibles a los costos o de pureza relativamente baja, como la fundición de metales preciosos en la industria metalúrgica y el procesamiento de materiales de silicio en la industria fotovoltaica.

Principio de proceso

Protegido por hidrógeno o gas inerte, el entorno de sinterización puede prevenir eficazmente la reacción del cuerpo de tungsteno con oxígeno u otros gases reactivos. La sinterización de hidrógeno mejora la pureza de los materiales de tungsteno al reducir los óxidos traza como el WO_3 y promueve

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

la unión por difusión entre partículas. Los gases inertes (como el argón) evitan que el tungsteno reaccione con el oxígeno o el nitrógeno a altas temperaturas formando una atmósfera inerte, que es adecuada para escenarios con altos requisitos de estabilidad química.

Requisitos del equipo:

Los hornos de sinterización de hidrógeno y los hornos de sinterización de gas inerte deben tener las siguientes características:

Sistema de calefacción: el alambre de tungsteno, el alambre de molibdeno o el elemento calefactor de grafito se utilizan para soportar altas temperaturas superiores a 2300 °C.

Sistema de purificación de gas: Equipado con tamiz molecular o catalizador para garantizar que la pureza del hidrógeno alcance el 99,999% y elimine las impurezas de agua y oxígeno.

Sistema de circulación de atmósfera: controle el flujo y la presión de gas para evitar atmósferas irregulares locales.

Sistema de seguridad: Los hornos de sinterización de hidrógeno deben estar equipados con dispositivos a prueba de explosiones y sistemas de detección de fugas para garantizar un funcionamiento seguro.

Parámetros del proceso

Temperatura de sinterización: generalmente entre 1800 °C y 2300 °C, más baja que la sinterización al vacío para reducir el consumo de energía.

Control de atmósfera:

Hidrógeno: $\geq 99,999\%$ de pureza, caudal de 0,5 a 2 L/min, contenido de humedad < 5 ppm.

Argón: pureza $\geq 99,999\%$, contenido de oxígeno < 10 ppm, presión 0,1 a 0,5 MPa.

Tiempo de retención: de 3 a 12 horas, dependiendo del tamaño del crisol y de los requisitos de densidad.

Velocidad de calentamiento: 5 °C/min a 15 °C/min, equilibrando la eficiencia y el estrés térmico.

Velocidad de enfriamiento: 3 °C/min a 8 °C/min, enfriamiento asistido por gas inerte para reducir el estrés.

Ventajas tecnológicas

Menor costo: en comparación con la sinterización al vacío, la sinterización de hidrógeno tiene menores costos operativos y de equipo, y es adecuada para la producción de alto volumen.

Reducción de óxido: El hidrógeno puede eliminar eficazmente las trazas de óxidos en el polvo de tungsteno y mejorar la pureza de los materiales.

Flexibilidad: La sinterización con gas inerte se puede adaptar a una variedad de escenarios seleccionando diferentes gases (por ejemplo, argón o helio) de acuerdo con los requisitos de la aplicación.

Desafíos técnicos

Seguridad del hidrógeno: La inflamabilidad del hidrógeno requiere estrictas medidas de seguridad, lo que aumenta la complejidad del diseño de los equipos.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Dificultad en el control de la atmósfera: Control preciso de la pureza y el flujo del gas para evitar la introducción de humedad u otras impurezas.

Limitaciones de pureza: La sinterización en atmósfera tiene una pureza ligeramente inferior a la sinterización al vacío y puede no ser adecuada para aplicaciones de pureza ultra alta.

3.4.3 Optimización de la temperatura, el tiempo y la atmósfera de sinterización

La optimización de la temperatura, el tiempo y la atmósfera de sinterización es la clave para lograr crisoles de tungsteno de alto rendimiento, que afectan directamente la densidad, el tamaño de grano, las propiedades mecánicas y la estabilidad a alta temperatura. Al optimizar sistemáticamente estos parámetros, se puede lograr el mejor equilibrio entre rendimiento y costo.

Optimización de la temperatura

La temperatura de sinterización es el factor principal que afecta la velocidad de difusión y el crecimiento del grano de las partículas de tungsteno. Los estudios han demostrado que:

Por debajo de 2000 °C, la tasa de difusión de partículas es más lenta y la densidad suele ser inferior al 95%, lo que lo hace inadecuado para aplicaciones exigentes.

De 2200 °C a 2400 °C, la densidad puede alcanzar del 97% al 99,5%, y el tamaño del grano se controla de 20 a 50 μm, teniendo en cuenta la resistencia y la tenacidad.

Por encima de 2500 °C, el crecimiento excesivo del grano (>100 μm) puede provocar una disminución de la resistencia a la propagación de grietas y afectar la vida útil del crisol. La estrategia de optimización incluye el uso de curvas de calentamiento de gradiente (por ejemplo, precalentamiento de 1000 °C, sinterización a temperatura media de 1800 °C, densificación a alta temperatura de 2300 °C) para equilibrar la densificación y el control del grano. Según un artículo técnico de Chinatungsten Online, la optimización precisa de la temperatura puede mejorar la resistencia al choque térmico del crisol hasta en un 20%.

Optimización del tiempo

El tiempo de mantenimiento debe coincidir con el tamaño del crisol, el espesor de la pared y los objetivos de densidad:

Crisol pequeño (diámetro < 100 mm): manténgalo caliente durante 2 a 4 horas y la densidad puede alcanzar más del 97%.

Crisoles de tamaño mediano (100 a 300 mm de diámetro): mantener el calor durante 4 a 8 horas para garantizar una densificación uniforme.

Crisoles grandes (diámetro > 300 mm): mantener de 8 a 12 horas, extendido para compensar el retraso de difusión en áreas de paredes gruesas. Mantener demasiado tiempo puede provocar un mayor consumo de energía y granos gruesos, mientras que un mantenimiento demasiado corto puede provocar porosidad residual. Los estudios han demostrado que la eficiencia de la producción se puede aumentar entre un 10 y un 15 por ciento ajustando dinámicamente el tiempo de retención.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Optimización de la atmósfera

La selección y el control de la atmósfera son fundamentales para la pureza y el rendimiento del crisol de tungsteno:

Atmósfera de hidrógeno: Aumenta la pureza del tungsteno a más del 99,95% al reducir los óxidos traza (por ejemplo, WO_2 , WO_3). El contenido de humedad (<5 ppm) debe controlarse estrictamente para evitar la reacción del vapor de agua con el tungsteno para formar compuestos volátiles.

Atmósfera de argón: adecuada para aplicaciones de ultra alta pureza, como crisoles para la industria nuclear, donde el contenido de oxígeno < de 10 ppm.

Atmósfera de helio: Alta conductividad térmica, adecuada para escenarios de enfriamiento rápido, pero a un costo mayor. Las tecnologías de acondicionamiento dinámico de la atmósfera, como la conmutación de etapas de hidrógeno y argón, optimizan aún más el efecto de sinterización. La investigación realizada por el Grupo Plansee ha demostrado que el control dinámico de la atmósfera puede reducir el contenido de impurezas químicas de los crisoles hasta en un 30%.

3.4.4 Proceso de sinterización multietapa y sinterización en gradiente

La sinterización multietapa y la sinterización en gradiente son tecnologías de vanguardia en la fabricación de crisoles de tungsteno, que están diseñadas para resolver los problemas de falta de homogeneidad, estrés térmico y defectos de microestructura en el proceso de sinterización de crisoles a gran escala.

Sinterización multietapa

La sinterización de múltiples etapas realiza gradualmente la densificación del cuerpo verde mediante el control de la temperatura y el tiempo de retención en etapas, que se divide en:

Fase de baja temperatura (800 °C a 1200 °C): Elimina los aglutinantes, las impurezas volátiles y los gases adsorbidos para evitar la formación de poros en la siguiente fase de alta temperatura.

Etapas de temperatura media (1600 °C a 1800 °C): promueve la unión inicial de las partículas y reduce la porosidad a menos del 20%.

Fase de alta temperatura (2200°C a 2400°C): Densificación final con una densidad superior al 98%. Las ventajas de la sinterización multietapa son la reducción del estrés térmico, la reducción de las microfisuras y la mejora de la uniformidad estructural. Los estudios han demostrado que la sinterización de múltiples etapas puede reducir la tasa de defectos de los crisoles grandes hasta en un 25%.

Sinterización en gradiente

La sinterización en gradiente optimiza la distribución de las propiedades mediante la aplicación de diferentes temperaturas, atmósferas o presiones a diferentes áreas del crisol. Por ejemplo:

Sinterización a alta temperatura de la pared exterior: se utiliza una alta temperatura de 2400 °C para mejorar la dureza y la resistencia al desgaste.

Sinterización a baja temperatura de la pared interior: controlada a 2200 °C, tenacidad optimizada y resistencia al choque térmico.

Gradiente de atmósfera: la atmósfera de argón se usa en la pared exterior para mejorar la pureza, y la atmósfera de hidrógeno se usa en la pared interna para eliminar los óxidos. La sinterización en

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

gradiente requiere diseños avanzados de hornos de sinterización, como sistemas de control de temperatura y atmósferas múltiples. Según el informe técnico de Chinatungsten Online, la tecnología de sinterización en gradiente puede reducir la incidencia de agrietamiento en un 35% en la producción de crisoles de tungsteno de gran diámetro (>400 mm).

Equipos y control

La sinterización multietapa y en gradiente requiere un horno de sinterización inteligente con las siguientes características:

Calefacción por zonas: Control independiente de la temperatura de diferentes zonas a través de múltiples elementos calefactores.

Regulación dinámica de la atmósfera: Equipado con un sistema de distribución de gas para apoyar la conmutación de hidrógeno, argón o atmósferas mixtas.

Monitoreo en tiempo real: La medición de temperatura por infrarrojos y el alcance láser se utilizan para monitorear el campo de temperatura y los cambios de tamaño del crisol.

3.4.5 Contracción por sinterización y control de tamaño

La contracción durante el proceso de sinterización es un desafío clave en la fabricación de crisoles de tungsteno, ya que afecta directamente la precisión dimensional final, las tolerancias geométricas y la consistencia de la producción.

Mecanismo de contracción

La contracción del sinterizado se debe al cierre de los poros y al proceso de densificación entre las partículas de tungsteno. La contracción suele oscilar entre el 15% y el 22%, dependiendo de los siguientes factores:

Tamaño de partícula de polvo de tungsteno: el tamaño de partícula fino (<5 μm) tiene una alta contracción (18% a 22%), el tamaño de partícula grande (>10 μm) tiene una contracción menor (15% a 18%).

Densidad del cuerpo verde: Cuanto mayor sea la densidad inicial del cuerpo verde prensado isostático en frío, menor será la contracción.

Condiciones de sinterización: La alta temperatura y la sinterización prolongada aumentarán la contracción, pero pueden provocar desviaciones dimensionales. El proceso de contracción se divide en tres fases: contracción inicial (cierre inicial de los poros), contracción intermedia (unión de partículas) y contracción final (finalización de la densificación).

Tecnología de control dimensional

Para garantizar la precisión dimensional del crisol, se deben tomar las siguientes medidas:

Diseño del molde: El margen se reserva de acuerdo con la contracción, generalmente de 1,15 a 1,25 veces el tamaño final. El análisis de elementos finitos (FEA) se utiliza para simular el comportamiento de contracción y optimizar la geometría del molde.

Homogeneidad: Al optimizar el proceso de prensado o moldeo isostático en frío, se garantiza la uniformidad de la densidad del cuerpo verde (desviación <2%) y se reduce la contracción irregular.

Soportes sinterizados: Se utilizan soportes de grafito, molibdeno o circonio de alta pureza para evitar

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

que el crisol se deforme o colapse a altas temperaturas.

Monitoreo en tiempo real: el telémetro láser o las imágenes de rayos X se utilizan para monitorear el cambio de tamaño del crisol en tiempo real, y la precisión puede alcanzar los $\pm 0,05$ mm.

Sinterización segmentada: La tasa de contracción se controla mediante sinterización de múltiples etapas para evitar concentraciones de tensión causadas por una contracción rápida.

Desafíos técnicos

Desviaciones dimensionales: La falta de uniformidad en la contracción de crisoles grandes (> 500 mm de diámetro) puede hacer que se excedan las tolerancias.

Estrés térmico: La contracción rápida puede causar microfisuras, que deben mitigarse optimizando la curva de enfriamiento.

Costo de herramientas: El costo de fabricación de los moldes de alta precisión es alto y es necesario equilibrar el costo y el rendimiento.

3.5 Mecanizado y acabado de crisoles de tungsteno

El mecanizado y el acabado de los crisoles de tungsteno son un paso crítico para garantizar su precisión geométrica, la calidad de la superficie y el rendimiento después de la sinterización. Debido a la alta dureza de la aleación de tungsteno (alrededor de 7,5 en la escala de Mohs), la alta densidad y la fragilidad a temperatura ambiente, el proceso de mecanizado requiere equipos de alta precisión, herramientas avanzadas y un estricto control del proceso. Este capítulo discutirá exhaustivamente las tecnologías de torneado, fresado, perforación, electroerosión, corte por láser, esmerilado de precisión, pulido y recubrimiento de superficies, combinado con la experiencia práctica y los últimos avances de investigación de las empresas globales de productos de tungsteno, y analizará profundamente los principios, equipos, parámetros, ventajas y desafíos de cada proceso.

3.5.1 Torneado, fresado y taladrado

Principio de proceso

El torneado, el fresado y el taladrado son los procesos básicos del mecanizado de crisoles de tungsteno y se utilizan para formar la forma, la cavidad y los orificios funcionales del crisol:

Torneado: Corte de materiales mediante la rotación de la pieza de trabajo y las herramientas estacionarias, principalmente para las paredes exteriores e interiores de los crisoles cilíndricos, asegurando la redondez y la concentricidad.

Fresado: Corte de materiales mediante herramientas giratorias y piezas de trabajo móviles, adecuado para el mecanizado de geometrías complejas, como escalones o ranuras de crisoles.

Taladrado: El mecanizado de orificios funcionales (por ejemplo, orificios de ventilación u orificios de montaje) en el crisol mediante la rotación de la broca garantiza la precisión del diámetro del orificio y las tolerancias de posición.

Requisitos del equipo:

Los crisoles de tungsteno generalmente se mecanizan utilizando máquinas de control numérico (CNC) de alta precisión equipadas con los siguientes equipos:

Máquina herramienta: torno CNC de 5 ejes o centro de mecanizado con alta rigidez y supresión de

vibraciones.

Herramientas: Herramientas de diamante (PCD) o nitruro de boro cúbico (CBN) con dureza superior al tungsteno ($HV > 2000$).

Sistema de refrigeración: sistema de inyección de refrigerante a base de aceite o agua a alta presión con una presión de 10 a 20 MPa para evitar el sobrecalentamiento de la herramienta.

Sistema de eliminación de polvo: el colector de polvo por pulsos de alta eficiencia recoge el polvo de tungsteno (tamaño de partícula $< 10 \mu m$) para garantizar un entorno operativo seguro.

Parámetros del proceso

Velocidad de corte: 10 a 50 m / min, demasiado alta puede causar desgaste de la herramienta, demasiado baja reducirá la eficiencia.

Avances: 0,02 a 0,2 mm/rev, optimizado para el espesor de la pared del crisol y el rendimiento de la herramienta.

Profundidad de corte: 0,1 a 0,5 mm, el corte profundo puede causar microfisuras.

Caudal de refrigerante: de 10 a 30 L/min para garantizar que la temperatura de la zona de corte sea inferior a 200 °C.

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: las máquinas herramienta CNC pueden alcanzar tolerancias dimensionales de $\pm 0,02$ mm, lo que cumple con las aplicaciones aeroespaciales y de semiconductores.

Flexibilidad: El fresado y el taladrado se pueden utilizar para mecanizar formas complejas y adaptarse a las necesidades de personalización.

Calidad de la superficie: La rugosidad de la superficie (R_a) se puede controlar de 0,8 a 1,6 μm optimizando los parámetros.

Desafíos técnicos

Desgaste de la herramienta: La alta dureza del tungsteno da como resultado una vida útil corta de la herramienta y requiere el reemplazo frecuente de herramientas de diamante o CBN.

Microfisuras: Las microfisuras pueden ser causadas por tensiones mecánicas durante el proceso de corte y pueden ser causadas por microfisuras superficiales o internas, que deben investigarse mediante pruebas no destructivas (ultrasónicas o de rayos X).

Gestión del polvo: El polvo de tungsteno es un riesgo potencial para la salud y requiere un estricto cumplimiento de las normas de seguridad laboral (por ejemplo, OSHA).

3.5.2 Electroerosión y corte láser

Mecanizado por descarga eléctrica (EDM)

La electroerosión elimina el material de la superficie de la pieza de trabajo mediante arco y es adecuada para el mecanizado de crisoles de tungsteno con alta dureza o formas complejas. La electroerosión se divide en dos formas: electroerosión por hilo y electroerosión por troquel:

Electroerosión por hilo: Utiliza un alambre metálico delgado (por ejemplo, alambre de molibdeno) como electrodo para cortar contornos complejos.

Electroerosión por troquel: Mecanizado de cavidades o ranuras internas mediante electrodos

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

prefabricados como el cobre o el grafito.

Parámetros del proceso

Corriente de descarga: 5 a 50 A, lo que afecta la velocidad de procesamiento y la calidad de la superficie.

Ancho de pulso: 10 a 100 μ s, pulsos cortos para acabado y pulsos largos para desbaste.

Material del electrodo: cobre o grafito, según la precisión de procesamiento a elegir.

Fluido de trabajo: agua desionizada o medios a base de aceite, que deben mantener un alto aislamiento.

Ventajas tecnológicas

Sin tensiones mecánicas: El mecanizado sin contacto evita la tensión de corte y reduce las microfisuras.

Formas complejas: se pueden procesar crisoles de formas especiales o características pequeñas (por ejemplo, un diámetro de orificio de 0,1 mm).

Alta adaptabilidad a la dureza: adecuado para materiales de tungsteno con una dureza muy alta.

Desafíos técnicos

Velocidades de procesamiento lentas: la electroerosión tiene una tasa de eliminación de material más baja (de 0,1 a 10 mm³/min) en comparación con el mecanizado.

Defectos superficiales: La descarga puede causar quemaduras superficiales o microporos, requiriendo un pulido posterior.

Desgaste del electrodo: La pérdida de material del electrodo aumenta los costos de procesamiento.

Corte por láser

El corte por láser utiliza un rayo láser de alta energía (láser de fibra o láser de CO₂) para fundir o vaporizar materiales de tungsteno y es adecuado para el procesamiento de crisoles de alta precisión y paredes delgadas.

Parámetros del proceso

Potencia del láser: de 2 a 10 kW, dependiendo del espesor de la pared.

Velocidad de corte: 0,5 a 5 m/min, velocidades más altas están disponibles para crisoles de paredes delgadas.

Posición de enfoque: 0,1 a 0,5 mm por debajo de la superficie del material para garantizar la calidad del corte.

Gas de asistencia: nitrógeno o argón a una presión de 5 a 15 bar para evitar la oxidación.

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: corte < 0,1 mm, tolerancia $\pm 0,02$ mm.

Pequeña zona afectada por el calor: el láser se centra en la concentración de energía y la profundidad de la zona afectada por el calor < de 0,05 mm.

Eficiente: Adecuado para el mecanizado a alta velocidad de crisoles de pared delgada (espesor de pared < 3 mm).

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Desafíos técnicos

Estrés térmico: El calentamiento rápido puede causar microfisuras y es necesario optimizar los parámetros del pulso láser.

Costo del equipo: Alta inversión en equipos láser de alta potencia y mantenimiento complejo.

Calidad de la superficie: Las superficies cortadas pueden requerir un procesamiento secundario para reducir la rugosidad.

3.5.3 Esmerilado y pulido de precisión

Principio de proceso

El esmerilado y el pulido de precisión se utilizan para mejorar la calidad de la superficie de los crisoles de tungsteno y reducir la rugosidad de la superficie (Ra) para cumplir con los exigentes requisitos de fusión de semiconductores, ópticos y a alta temperatura:

Molienda: Eliminación del material superficial por medio de una muela abrasiva de diamante, mejorando la precisión geométrica y la planitud de la superficie.

Pulido: El pulido químico-mecánico (CMP), el pulido electrolítico o el pulido ultrasónico se utilizan para reducir aún más la rugosidad y mejorar el acabado.

Requisitos del equipo:

Rectificadoras: rectificadoras de superficies de alta precisión o rectificadoras cilíndricas con velocidades de husillo de 5.000 a 10.000 rpm.

Muela abrasiva: muela abrasiva de diamante, tamaño de grano de malla 400 a 2000, debe recortarse regularmente.

Equipo de pulido: La máquina CMP está equipada con un cabezal de pulido de alta precisión, y la máquina pulidora ultrasónica debe soportar vibraciones de alta frecuencia (20 a 40 kHz).

Equipo de ensayo: medidor de rugosidad superficial (como Talysurf) con una resolución de 0,01 μm .

Parámetros del proceso

Molienda:

Tamaño de la muela abrasiva: malla de 400 a 2000, malla de 400 a 800 para molienda gruesa, malla de 1200 a 2000 para molienda fina.

Velocidad de avance: de 0,005 a 0,05 mm/min, lo que garantiza que no haya arañazos en la superficie.

Refrigerante: a base de agua o aceite, caudal de 15 a 30 L/min.

Pulido:

Suspensión CMP: alúmina (Al_2O_3) o dióxido de silicio (SiO_2), tamaño de partícula de 0,05 a 0,5 μm .

Presión de pulido: 0,1 a 0,5 MPa, demasiado alta puede causar daños en la superficie.

Tiempo de pulido: de 1 a 4 horas, dependiendo del objetivo de rugosidad.

Ventajas tecnológicas

Rugosidad ultrabaja: Ra puede alcanzar de 0,05 a 0,1 μm después del pulido, lo que cumple con los requisitos del crecimiento del cristal de zafiro.

Resistencia a la corrosión: La superficie lisa reduce la reactividad química y prolonga la vida útil

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

del crisol.

Antiincrustante: La superficie de baja rugosidad reduce la adsorción de impurezas, lo que la hace adecuada para aplicaciones de alta pureza.

Desafíos técnicos

Baja eficiencia: La alta dureza del tungsteno conduce a velocidades lentas de esmerilado y pulido y largos tiempos de procesamiento.

Microarañazos: Los microarañazos pueden introducirse durante el proceso de pulido y deben eliminarse mediante un pulido en varias etapas.

Alto costo: Las muelas abrasivas de diamante y la suspensión CMP son costosas y el proceso debe optimizarse para reducir el consumo.

3.5.4 Recubrimientos superficiales (recubrimientos antioxidantes, recubrimientos resistentes al desgaste)

Principio de proceso

El recubrimiento superficial es la deposición de recubrimientos antioxidantes, resistentes a la abrasión o a la corrosión en la superficie del crisol de tungsteno mediante deposición física de vapor (PVD), deposición química de vapor (CVD), pulverización de plasma o tecnología de recubrimiento de iones por arco, lo que prolonga significativamente la vida útil. Los materiales de recubrimiento comunes incluyen:

Recubrimientos antioxidantes: alúmina (Al_2O_3), circonio (ZrO_2), siliciuro de molibdeno (MoSi_2).

Recubrimientos resistentes al desgaste: carburo de tungsteno (WC), nitruro de titanio (TiN), nitruro de cromo (CrN).

Recubrimientos resistentes a la corrosión: carburo de silicio (SiC), boruro de tungsteno (WB).

Requisitos del equipo:

Equipo PVD/CVD: Horno de deposición al vacío con evaporación por haz de electrones o sistema de pulverización catódica con magnetrón.

Equipo de pulverización de plasma: Potencia de la pistola de plasma de 50 a 100 kW, distancia de pulverización de 100 a 200 mm.

Equipo de prueba: medidor de espesor de recubrimiento (resolución $0.1\mu\text{m}$), probador de rayado (prueba de adherencia).

Parámetros del proceso

PVD:

Temperatura de deposición: $400\text{ }^\circ\text{C}$ a $800\text{ }^\circ\text{C}$ para evitar cambios en las propiedades de la matriz de tungsteno.

Espesor del recubrimiento: de 2 a $10\text{ }\mu\text{m}$, dependiendo del equilibrio entre rendimiento y costo.

Vacío: 10^{-2} a 10^{-4} Pa para garantizar la calidad de la deposición.

Enfermedades cardiovasculares:

Temperatura de deposición: $800\text{ }^\circ\text{C}$ a $1200\text{ }^\circ\text{C}$, estrés térmico controlado.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Precusores de gases: p. ej., SiH_4 (para recubrimientos de SiC) o CH_4 (para recubrimientos de WC).
Espesor del recubrimiento: 5 a 20 μm , adecuado para ambientes de alta temperatura.

Pulverización con plasma:

Potencia de pulverización: 40 a 80 kW, afectando la densidad del recubrimiento.

Distancia de pulverización: de 100 a 150 mm para una adhesión óptima.

Espesor del recubrimiento: 20 a 100 μm , adecuado para aplicaciones resistentes al desgaste.

Ventajas tecnológicas

Resistencia a la oxidación: Los recubrimientos de Al_2O_3 o MoSi_2 pueden prolongar la vida útil de los crisoles de tungsteno en un entorno oxidante a 1500 °C por un factor de 2 a 5.

Resistencia a la abrasión: los recubrimientos de WC o TiN aumentan significativamente la dureza de la superficie ($\text{HV} > 2500$) y reducen el desgaste.

Resistencia a la corrosión: El recubrimiento de SiC resiste eficazmente la corrosión ácido-base y de metal fundido, lo que lo hace adecuado para la industria química.

Desafíos técnicos

Adherencia del recubrimiento: La diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre el recubrimiento y la matriz de tungsteno puede provocar desconchado, y es necesario optimizar el diseño de la interfaz.

Estabilidad a altas temperaturas: Algunos recubrimientos (por ejemplo, TiN) pueden descomponerse a > 1000 °C, por lo que es necesario seleccionar un material adecuado.

Alto costo: Los equipos CVD y PVD están fuertemente invertidos, y el proceso de recubrimiento debe equilibrar el rendimiento y la economía.

3.6 Tecnología de postratamiento de crisol de tungsteno

Una vez que el crisol de tungsteno se ha sinterizado y mecanizado, la tecnología de postratamiento es un paso crítico para garantizar su rendimiento, calidad de la superficie y vida útil. Debido a la alta dureza, el punto de fusión y la inercia química del tungsteno, el proceso de postratamiento debe llevarse a cabo en condiciones controladas con precisión para optimizar las propiedades mecánicas, la estabilidad química y la adaptabilidad a altas temperaturas del crisol. Este capítulo discutirá en profundidad las tecnologías de postratamiento del crisol de tungsteno, como el tratamiento térmico, el recocido, el fortalecimiento de superficies, la limpieza y descontaminación, el alivio de tensiones, etc., y analizará exhaustivamente los principios, equipos, parámetros, ventajas y desafíos de cada proceso en función de la experiencia práctica de las empresas globales de productos de tungsteno y la información de la industria proporcionada por Chinatungsten Online.

3.6.1 Tratamiento térmico y proceso de recocido

Principio de proceso

El proceso de tratamiento térmico y recocido optimiza la microestructura, elimina las tensiones residuales y mejora las propiedades mecánicas de los crisoles de tungsteno calentándolos y enfriándolos a temperaturas y atmósferas específicas. El tratamiento térmico se utiliza

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

principalmente para ajustar el tamaño del grano y la estructura de la fase, mientras que el recocido se centra en eliminar las tensiones internas introducidas durante el procesamiento y mejorar la tenacidad y la resistencia al choque térmico del crisol.

Requisitos del equipo:

El tratamiento térmico y el recocido generalmente se llevan a cabo en hornos de vacío de alta temperatura u hornos de protección de atmósfera, y el equipo debe tener las siguientes características:

Sistema de calefacción: elemento calefactor de molibdeno o grafito, resistente a altas temperaturas superiores a 2000 °C.

Control de temperatura: termómetro infrarrojo o termopar con una precisión de ± 3 °C para garantizar un calentamiento uniforme.

Control de la atmósfera: vacío (por debajo de 10^{-3} Pa) o gas inerte (como argón, helio, pureza $\geq 99,999\%$) para evitar la oxidación.

Sistema de refrigeración: Equipado con un sistema de refrigeración por gas o agua para controlar la velocidad de enfriamiento y evitar el estrés térmico.

Parámetros del proceso

Temperatura de tratamiento térmico: normalmente entre 1200 °C y 1800 °C, dependiendo de la aplicación del crisol. Los crisoles para semiconductores requieren temperaturas más bajas (1200 °C a 1400 °C) para mantener los granos finos; Los crisoles metalúrgicos se pueden usar a temperaturas más altas (1600 °C a 1800 °C) para aumentar la resistencia.

Tiempo de retención: de 1 a 6 horas, de 1 a 2 horas para crisoles de paredes delgadas (espesor de pared < 5 mm) y de 4 a 6 horas para crisoles de paredes gruesas (espesor de pared > 10 mm).

Atmósfera: Atmósfera de vacío o argón, contenido de oxígeno < 5 ppm, evitando la oxidación de la superficie.

Velocidad de enfriamiento: 2 °C/min a 10 °C/min, enfriamiento segmentado para reducir la tensión residual.

Número de ciclos: Algunos procesos requieren múltiples tratamientos térmicos (por ejemplo, de 2 a 3 veces) para optimizar la microestructura.

Alivio de tensiones: El recocido puede reducir la tensión de procesamiento en más del 80%, mejorando significativamente la resistencia a la propagación de grietas del crisol.

Optimización del grano: El tratamiento térmico puede controlar el tamaño del grano de 10 a 50 μm , equilibrando la resistencia y la tenacidad.

Rendimiento estable: mejora la estabilidad estructural del crisol bajo un ciclo de alta temperatura y prolonga la vida útil.

Adaptabilidad a altas temperaturas: Después de optimizar la microestructura, la resistencia al choque térmico del crisol se puede aumentar entre un 20 y un 30 por ciento.

Desafíos técnicos

Uniformidad de la temperatura: Los crisoles grandes (> 300 mm de diámetro) son propensos a gradientes de temperatura a altas temperaturas, lo que resulta en un rendimiento desigual.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Riesgo de oxidación: El control inadecuado de la atmósfera puede provocar la oxidación de la superficie, lo que requiere gas de alta pureza y un sellado hermético.

Alto consumo de energía: La alta temperatura y el procesamiento a largo plazo aumentan el consumo de energía, y el proceso debe optimizarse para mejorar la economía.

Variaciones dimensionales: El tratamiento térmico puede causar pequeñas desviaciones dimensionales, que deben ser compensadas previamente por el diseño del molde.

3.6.2 Refuerzo de la superficie (carburación, nitruración, implantación de iones)

Principio de proceso

El fortalecimiento de la superficie mejora el rendimiento de los crisoles de tungsteno en entornos hostiles mediante la introducción de carbono, nitrógeno u otros elementos en la superficie para formar una capa de compuestos que son altamente duros, resistentes al desgaste o a la corrosión. Las técnicas comunes de fortalecimiento de superficies incluyen:

Carburilado: Los átomos de carbono se infiltran en la superficie del tungsteno a altas temperaturas para formar una capa de carburo de tungsteno (WC).

Nitruración: El nitruro de tungsteno (WN) o la capa compuesta de nitruro se forma mediante el tratamiento de la atmósfera de nitrógeno.

Implantación de iones: El carbono, el nitrógeno o los elementos metálicos (por ejemplo, cromo, titanio) se implantan en una superficie mediante haces de iones de alta energía para mejorar la dureza y la estabilidad química.

Requisitos del equipo:

Equipo de carburación: horno de carburación al vacío u horno de carburación de gas equipado con un sistema de suministro de fuente de carbono (por ejemplo, metano, acetileno).

Equipo de nitruración: horno de nitruración por plasma u horno de nitruración de gas para soportar la atmósfera de nitrógeno o amoníaco.

Equipo de implantación de iones: Máquina de implantación de iones de alto vacío equipada con fuente de iones (por ejemplo, carbono, nitrógeno, titanio) y acelerador.

Equipo de prueba: difractómetro de rayos X (XRD) para analizar la estructura de la capa compuesta, probador de nanodureza para probar la dureza de la superficie.

Parámetros del proceso

Carburación:

Temperatura: 1000 °C a 1400 °C para evitar granos gruesos debido a la temperatura excesiva.

Fuente de carbono: metano (CH₄) o acetileno (C₂H₂) con un caudal de 0,2 a 1 L/min.

Tiempo de procesamiento: 2 a 8 horas, espesor de capa controlado de 5 a 20 μm.

Atmósfera: Vacío o baja presión (10⁻¹ Pa) para evitar la oxidación.

Nitruración:

Temperatura: 800 °C a 1200 °C, equilibrando el espesor de la capa de nitruro y el rendimiento del sustrato.

Fuente de nitrógeno: nitrógeno (N₂) o amoníaco (NH₃), pureza ≥ 99,999%.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Tiempo de procesamiento: 4 a 12 horas, espesor de capa de 10 a 30 μm .

Voltaje de plasma: 500 a 1000 V (nitruración por plasma).

Implantación de iones:

Energía iónica: 50 a 200 keV, profundidad de implantación controlada (0,1 a 1 μm).

Dosis iónica: 10^{16} a 10^{18} iones/ cm^2 para unas propiedades superficiales óptimas.

Vacío: 10^{-4} Pa o menos para garantizar la pureza del haz de iones.

Ventajas tecnológicas

Alta dureza: la dureza de la capa WC formada por cementación puede alcanzar HV 2500 y la dureza de la capa de nitruración puede alcanzar HV 2000.

Resistencia a la abrasión: La capa de refuerzo de la superficie reduce significativamente el desgaste a alta temperatura y prolonga la vida útil del crisol de 2 a 3 veces.

Resistencia a la corrosión: La capa de nitruro y la capa de implantación de iones son efectivamente resistentes a la corrosión ácido-base y de metal fundido.

Mejora de la microestructura: La implantación de iones puede formar una capa superficial amorfa y mejorar la resistencia a la fatiga.

Desafíos técnicos

Uniformidad del espesor de la capa: La compleja geometría de los crisoles grandes puede dar lugar a espesores de capa de refuerzo desiguales.

Estrés térmico: La carburación o nitruración a alta temperatura puede causar tensión interfacial entre la matriz y la capa de refuerzo, y es necesario optimizar el proceso.

Costo del equipo: El equipo de implantación de iones tiene una alta inversión y es adecuado para aplicaciones de alta gama.

Complejidad del proceso: El proceso de intensificación de varios pasos requiere un control estricto de los parámetros, lo que aumenta la dificultad de la producción.

3.6.3 Procesos de limpieza y descontaminación

Principio de proceso

El proceso de limpieza y descontaminación elimina óxidos, aceites, residuos metálicos y partículas contaminantes de la superficie de los crisoles de tungsteno mediante métodos físicos, químicos o ultrasónicos para garantizar una alta pureza y propiedades antiincrustantes. El proceso de limpieza es especialmente crítico para los crisoles de semiconductores, fotovoltaicos y de investigación científica, donde cualquier rastro de contaminantes puede afectar a la calidad del producto final.

Requisitos del equipo:

Equipo de limpieza: Limpiador ultrasónico (frecuencia 20 a 80 kHz) con sistema de limpieza multitanque.

Equipo de limpieza química: tanque de limpieza de ácidos y álcalis, equipado con funciones de agitación y calentamiento.

Equipo de secado: horno de secado al vacío o secador infrarrojo para garantizar que no haya residuos

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de marcas de agua.

Equipos de ensayo: analizador láser de tamaño de partícula (detección de partículas superficiales), espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF, análisis de elementos residuales).

Parámetros del proceso

Limpieza ultrasónica:

Frecuencia: 40 kHz (limpieza normal) o 80 kHz (limpieza de precisión).

Solución de limpieza: agua desionizada (resistividad >18 MΩ·cm) o agente de limpieza neutro.

Temperatura: 40°C a 60°C para evitar daños superficiales causados por las altas temperaturas.

Tiempo: de 5 a 20 minutos, dependiendo del nivel de contaminación.

Limpieza química:

Decapado: diluir ácido nítrico (HNO₃, 5% a 10%) o ácido clorhídrico (HCl, 5%) para eliminar óxidos y residuos metálicos.

Lavado cáustico: hidróxido de sodio (NaOH, 2% a 5%) para eliminar contaminantes orgánicos.

Tiempo: 2 a 10 minutos, estrictamente controlado para evitar la corrosión.

Seco:

Temperatura: 80°C a 120°C, vacío o atmósfera de gas inerte.

Tiempo: de 10 a 30 minutos para garantizar que no haya marcas de agua ni contaminación secundaria.

Ventajas tecnológicas

Alta pureza: Los contaminantes de la superficie se pueden reducir a menos de 10 ppb después de la limpieza, lo que cumple con los requisitos de la industria de semiconductores.

Anticontaminación: la superficie lisa y libre de contaminación reduce la adsorción de impurezas y prolonga la vida útil del crisol.

Consistencia: Un proceso de limpieza estandarizado garantiza una calidad de superficie constante de un lote a otro.

Protección del medio ambiente: El proceso de limpieza moderno utiliza agentes de limpieza de baja toxicidad para reducir el impacto ambiental.

Desafíos técnicos

Eliminación de partículas: Las partículas submicrónicas (<0,1 μm) son difíciles de eliminar por completo y requieren una limpieza de varias etapas.

Corrosión química: La limpieza con ácidos y álcalis puede dañar la superficie, y la concentración y el tiempo deben controlarse con precisión.

Control de secado: El secado inadecuado puede introducir marcas de agua o contaminación secundaria, y se requiere un entorno de alta pureza.

Alto costo: La inversión en equipos de limpieza ultrasónica y química es grande y es necesario optimizar el costo operativo.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

3.6.4 Alivio de tensiones y optimización estructural

Principio de proceso

Reduce la tensión residual en el interior y en la superficie del crisol de tungsteno mediante tratamiento térmico, vibración mecánica o tratamiento láser, y optimiza su estabilidad estructural. Las tensiones introducidas durante el procesamiento y la sinterización pueden hacer que el crisol se agriete o deforme en ciclos de alta temperatura, y el proceso de alivio de tensiones es la clave para prolongar la vida útil.

Requisitos del equipo:

Horno de tratamiento térmico: horno blindado al vacío o con gas inerte, precisión de control de temperatura ± 2 °C.

Equipo vibratorio: agitador mecánico con una frecuencia de 10 a 100 Hz y una amplitud de 0,1 a 1 mm.

Máquinas láser: láseres pulsados con una potencia de 1 a 5 kW para el alivio de tensión local.

Equipo de ensayo: Analizador de estrés de rayos X para medir el estrés residual (precisión ± 5 MPa).

Parámetros del proceso

Alivio del estrés térmico:

Temperatura: 1000 °C a 1400 °C, por debajo de la temperatura de recristalización para evitar el crecimiento del grano.

Tiempo de retención: de 1 a 4 horas, dependiendo del tamaño del crisol.

Atmósfera: argón o vacío, contenido de oxígeno < 5 ppm.

Velocidad de enfriamiento: 1 °C/min a 5 °C/min, enfriamiento segmentado.

Alivio de la tensión por vibración:

Frecuencia: 20 a 80 Hz para optimizar la eficiencia del alivio de tensión.

Amplitud: 0,2 a 0,8 mm para evitar daños en la superficie.

Tiempo: 30 a 120 minutos, dependiendo de la distribución del estrés.

Alivio del estrés con láser:

Potencia del láser: 1 a 3 kW, ancho de pulso de 10 a 100 ns.

Velocidad de escaneo: 0,5 a 2 m/min, entrada de calor controlada.

Diámetro de enfoque: 0,1 a 0,5 mm, tópico.

Ventajas tecnológicas

Baja tensión: La tensión residual se puede reducir a menos de 5 MPa para mejorar la resistencia al agrietamiento.

Estabilidad estructural: Después de la optimización, la tasa de deformación del crisol bajo ciclos de alta temperatura se reduce en un 50%.

Flexibilidad: La vibración y el tratamiento con láser se pueden dirigir en áreas localizadas de alta tensión y son adecuadas para formas complejas.

No dañino: El proceso no destructivo no afecta la microestructura del crisol.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Desafíos técnicos

Distribución de tensiones compleja: La distribución de tensiones de los crisoles grandes es desigual y es necesario combinar varios métodos.

Precisión del equipo: Los equipos láser y de vibración deben controlarse con alta precisión para evitar tensiones secundarias.

Consumo y coste energético: El tratamiento térmico consume mucha energía y debe optimizarse para reducir costes.

Dificultad: La medición precisa de las tensiones residuales requiere equipos y tecnología costosos.

3.7 Control de calidad y pruebas del crisol de tungsteno

El control de calidad y las pruebas son el eslabón central en la producción de crisoles de tungsteno, lo que garantiza que su precisión dimensional, propiedades de material y confiabilidad cumplan con los estándares de la industria. Los escenarios de aplicación exigentes y de alto valor de los crisoles de tungsteno (por ejemplo, semiconductores, aeroespacial) requieren estrictos sistemas de gestión de calidad. Esta sección discutirá en detalle las pruebas de tolerancia dimensional y geométrica, las pruebas no destructivas, la composición química y el análisis de microestructuras, las pruebas de rendimiento a alta temperatura y los sistemas de certificación de calidad y trazabilidad.

3.7.1 Ensayos de tolerancia dimensional y geométrica

Principio de proceso

Las pruebas de tolerancia dimensional y geométrica verifican las dimensiones geométricas (diámetro, espesor de pared, altura) y las tolerancias geométricas (redondez, paralelismo, concentricidad) del crisol de tungsteno mediante equipos de medición de precisión para garantizar que cumpla con los requisitos de diseño. Los resultados de las pruebas afectan directamente el rendimiento de instalación y uso del crisol.

Requisitos del equipo:

Máquina de medición por coordenadas (CMM): Precisión $\pm 0,001$ mm, adecuada para mediciones de geometría compleja.

Telémetro láser: resolución 0,01 mm, para una inspección dimensional rápida.

Perfilómetro: Mida la redondez y el perfil de la superficie con una precisión de $\pm 0,005$ mm.

Medidor de altura y calibre: para una verificación dimensional sencilla con una precisión de $\pm 0,01$ mm.

Parámetros de detección

Tolerancias dimensionales: Tolerancias de diámetro y altura $\pm 0,05$ mm, tolerancias de espesor de pared $\pm 0,02$ mm (crisoles para semiconductores).

Tolerancias geométricas:

Redondez: $\leq 0,02$ mm.

Paralelismo: $\leq 0,01$ mm.

Concentricidad: $\leq 0,015$ mm.

Frecuencia de medición: 10% a 20% de muestreo de cada lote, inspección completa de aplicaciones

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

clave.

Requisitos ambientales: temperatura $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, humedad $<60\%$, para evitar la influencia de la expansión térmica.

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: los equipos CMM y láser garantizan que el error de medición sea $< 0,01\text{ mm}$.

Eficiencia: El sistema de medición automatizado puede manejar grandes cantidades de crisoles.

Consistencia: El proceso de inspección estandarizado garantiza la precisión geométrica de cada crisol.

Desafíos técnicos

Formas complejas: La medición de crisoles de formas especiales requiere una MMC multiteje y el costo del equipo es alto.

Efectos de la superficie: Las superficies de alto acabado pueden causar errores de reflexión en las mediciones y requerir calibración.

Inspección de gran tamaño: los crisoles con un diámetro de $>500\text{ mm}$ requieren un equipo especial, lo que aumenta los costos.

3.7.2 Ensayos no destructivos (ecografía, rayos X, tomografía computarizada)

Principio de proceso

Los ensayos no destructivos (END) utilizan ultrasonidos, rayos X o tomografías computarizadas para detectar defectos (por ejemplo, porosidad, grietas, inclusiones) dentro de los crisoles de tungsteno sin dañar su estructura. Los ensayos no destructivos son un paso fundamental para garantizar la fiabilidad de los crisoles.

Requisitos del equipo:

Detector ultrasónico: frecuencia de 1 a 10 MHz, diámetro de la sonda de 5 a 10 mm.

Equipo de inspección por rayos X: energía de 100 a 300 kV, adecuado para crisoles de paredes gruesas.

Escáner de tomografía computarizada: resolución de 0,01 mm para análisis de defectos en 3D.

Muestra de calibración: Muestra de tungsteno con defectos conocidos para la calibración de equipos.

Parámetros de detección

Ultrasónico:

Frecuencia: 5 MHz (detección convencional), 10 MHz (detección de alta precisión).

Acoplante: agua o gel para asegurar la transmisión de las ondas sonoras.

Resolución de defectos: $\geq 0,1\text{ mm}$.

Radiografía:

Tiempo de exposición: de 10 a 60 segundos, dependiendo del grosor de la pared.

Energía: 150 kV (espesor de pared $<10\text{ mm}$), 250 kV (espesor de pared $>10\text{ mm}$).

Resolución de defectos: $\geq 0,2\text{ mm}$.

Tomografía computarizada:

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Espesor de la capa de escaneo: 0,05 a 0,2 mm.

Tiempo de reconstrucción: de 5 a 20 minutos, dependiendo del tamaño del crisol.

Resolución de defectos: $\geq 0,05$ mm.

Ventajas tecnológicas

Alta sensibilidad: las tomografías computarizadas pueden detectar pequeños defectos de tan solo 0,05 mm.

Integral: los rayos X y la tomografía computarizada proporcionan una distribución tridimensional de los defectos, y el ultrasonido es adecuado para la detección rápida.

Sin daños: no afecta al rendimiento y a la vida útil del crisol.

Desafíos técnicos

Interferencia de alta densidad: La alta densidad del tungsteno ($19,25 \text{ g/cm}^3$) debilita la penetración de los rayos X, lo que requiere equipos de alta energía.

Geometría compleja: La detección de crisoles de formas especiales requiere un escaneo de múltiples ángulos, lo que aumenta la dificultad.

Alto costo: el equipo de exploración CT y los costos operativos son altos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta gama.

3.7.3 Análisis de la composición química y de la microestructura

Principio de proceso

Análisis de la composición química y la microestructura La pureza del material y las características de la microestructura (como el tamaño de grano y la distribución de fases) del crisol de tungsteno se verifican mediante análisis espectroscópico y observación microscópica para garantizar que cumplan con los requisitos de la aplicación.

Requisitos del equipo:

Espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF): detecta el contenido elemental con una precisión del $\pm 0,01\%$.

Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): Analice trazas de impurezas con un límite de detección de < 1 ppb.

Microscopía electrónica de barrido (SEM): Observe granos y defectos con una resolución de < 1 nm.

Difracción de retrodispersión de electrones (EBSD): Analice la orientación del grano y la estructura de fase.

Parámetros de detección

Composición química:

Pureza del tungsteno: $\geq 99,95\%$ (convencional), $\geq 99,999\%$ (para semiconductores).

Frecuencia de prueba: 5% a 10% de cada lote.

Microestructura:

Granulometría: 10 a 50 μm (convencional), 5 a 20 μm (alto rendimiento).

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Porosidad: <1%, analizada por imágenes SEM.

Distribución de fases: Asegúrese de que no haya fases anormales (por ejemplo, óxidos o carburos).

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: ICP-MS detecta impurezas a nivel de ppb para garantizar una pureza ultra alta.

Integral: SEM y EBSD proporcionan información completa sobre granos, defectos y fases.

Aseguramiento de la calidad: El análisis químico y estructural garantiza un rendimiento constante del crisol.

Desafíos técnicos

Preparación de la muestra: La dureza del tungsteno dificulta el corte y el pulido, lo que requiere herramientas de diamante.

Detección de trazas: La detección de impurezas ultra bajas requiere equipos de alta sensibilidad y alto costo.

Análisis complejos: El procesamiento de datos de EBSD requiere software y personal especializados.

3.7.4 Ensayo de rendimiento a alta temperatura (choque térmico, fluencia, fatiga)

Principio de proceso

La prueba de rendimiento a alta temperatura evalúa el rendimiento del choque térmico, el comportamiento de fluencia y la vida a fatiga de los crisoles de tungsteno simulando las condiciones de uso reales para garantizar su confiabilidad en entornos de alta temperatura.

Requisitos del equipo:

Horno de prueba de choque térmico: rango de temperatura de 25 °C a 2500 °C, velocidad de calentamiento > 100 °C/s.

Probador de fluencia: aplique tensión constante (10 a 100 MPa) a una temperatura de 1800 °C a 2200 °C.

Máquina de prueba de fatiga: frecuencia de carga cíclica de 1 a 10 Hz, temperatura de 1000 °C a 2000 °C.

Equipo de prueba: termómetro infrarrojo, sensor de desplazamiento, precisión ±0.01 mm.

Parámetros de detección

Prueba de choque térmico:

Diferencia de temperatura: 1000 °C a 2000 °C (por ejemplo, ciclo de 2000 °C a 25 °C).

Número de ciclos: de 50 a 500 ciclos, dependiendo de los requisitos de la aplicación.

Detección de grietas: penetración en el microscopio o en el tinte, longitud de la grieta < 0,1 mm.

Prueba de fluencia:

Tensión: 20 a 80 MPa.

Temperatura: 1800° C a 2200° C.

Tiempo: 100 a 1000 horas, tasa de deformación medida (<0,1%).

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Prueba de fatiga:

Tensión cíclica: ± 50 MPa.

Temperatura: 1000°C a 2000°C.

Número de ciclos: 10^4 a 10^6 para detectar grietas por fatiga.

Ventajas tecnológicas

Simulación realista: Las condiciones de prueba están cerca del entorno de uso real para garantizar la confiabilidad.

Optimización del rendimiento: Los datos de prueba guían las mejoras del proceso y aumentan la vida útil del crisol.

Verificación de calidad: Asegúrese de que los crisoles cumplan con los estrictos requisitos de las industrias aeroespacial y nuclear.

Desafíos técnicos

Altos requisitos de equipo: el equipo de prueba de alta temperatura debe soportar 2500 °C, lo cual es costoso.

Ciclos de prueba largos: Las pruebas de fluencia y fatiga pueden tardar semanas, lo que afecta a la productividad.

Datos complejos: Los datos de rendimiento a altas temperaturas deben analizarse profesionalmente, lo que aumenta la dificultad técnica.

3.7.5 Sistema de certificación de calidad y trazabilidad

Principio de proceso

El sistema de certificación de calidad y trazabilidad garantiza que la producción, las pruebas y la entrega de crisoles de tungsteno cumplan con los estándares internacionales y de la industria mediante el establecimiento de procesos de gestión de calidad estandarizados y mecanismos de trazabilidad del producto. El sistema de trazabilidad registra la información en cada paso, desde las materias primas hasta los productos terminados, lo que facilita la resolución de problemas y la mejora de la calidad.

Equipos y herramientas

Sistema de Gestión de Calidad: Una plataforma de software basada en la norma ISO 9001:2015 que registra los datos de producción e inspección.

Sistema de trazabilidad: código de barras o etiqueta RFID que correlaciona el lote, los parámetros del proceso y los resultados de las pruebas del crisol.

Herramientas de análisis de datos: Software de Control Estadístico de Procesos (SPC) para analizar las fluctuaciones de calidad.

Sistema de documentación: archivo electrónico de registros de producción, informes de pruebas y documentos de certificación.

Parámetros de implementación

Criterios de acreditación:

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

ISO 9001:2015 (Gestión de la Calidad).

ISO 14001:2015 (Gestión Ambiental).

GB/T 3459-2022 (requisitos técnicos para crisoles de tungsteno).

Trazabilidad:

Materias primas: lote de polvo de tungsteno, proveedor, composición química.

Proceso: sinterización, mecanizado, parámetros de posprocesamiento.

Inspección: Dimensión, NDT, resultados de pruebas de rendimiento.

Retención de datos: al menos 5 años, más de 10 años para aplicaciones de alta gama (por ejemplo, industria nuclear).

Frecuencia de auditoría: las auditorías internas se realizan cada 6 meses y las auditorías externas se realizan una vez al año.

Ventajas tecnológicas

Cumplimiento: Cumplir con los estándares internacionales y nacionales y mejorar la competitividad en el mercado.

Transparencia: El sistema de trazabilidad mejora la confianza del cliente y facilita la localización de problemas.

Mejora continua: el análisis SPC identifica los cuellos de botella de calidad y optimiza los procesos de producción.

Desafíos técnicos

Gestión de datos: La producción a gran escala requiere sistemas eficientes de almacenamiento y recuperación de datos.

Alto costo: La implementación de sistemas de certificación y trazabilidad requiere una inversión adicional.

Complejidad: La trazabilidad de múltiples enlaces requiere la colaboración interdepartamental, lo que aumenta la dificultad de gestión.

3.7 Control de calidad y pruebas del crisol de tungsteno

El control de calidad y las pruebas son fundamentales para garantizar el rendimiento, la fiabilidad y la consistencia de los crisoles de tungsteno. Debido a la aplicación de crisoles de tungsteno en campos exigentes como las industrias de semiconductores, aeroespacial y nuclear, su precisión dimensional, pureza del material, microestructura y rendimiento a alta temperatura deben cumplir con estándares estrictos. Este capítulo discutirá exhaustivamente las pruebas de tolerancia dimensional y geométrica, las pruebas no destructivas, la composición química y el análisis de microestructuras, las pruebas de rendimiento a alta temperatura y los sistemas de certificación de calidad y trazabilidad, y combinará la experiencia práctica de las empresas globales de productos de tungsteno y la información de la industria proporcionada por Chinatungsten Online para analizar en profundidad los principios, equipos, parámetros, ventajas y desafíos de cada tecnología de prueba.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

3.7.1 Ensayos de tolerancia dimensional y geométrica

Principio de proceso

Pruebas de tolerancia dimensional y geométrica Verifique las dimensiones geométricas (diámetro, espesor de pared, altura) y las tolerancias geométricas (redondez, paralelismo, concentricidad) del crisol de tungsteno con equipos de medición de alta precisión para garantizar que cumpla con las especificaciones de diseño. La geometría precisa es fundamental para la instalación, la transferencia de calor y el rendimiento del crisol, especialmente en aplicaciones como el crecimiento de silicio monocristalino o la fusión a alta temperatura.

Requisitos del equipo:

Máquina de medición por coordenadas (CMM): Equipada con un láser o una sonda de contacto, la precisión de medición es de $\pm 0,001$ mm, adecuada para geometrías complejas.

Telómetro láser: medición sin contacto con una resolución de 0,01 mm para una rápida verificación dimensional.

Perfilómetro: Mida la redondez, el perfil de la superficie y la tolerancia geométrica con una precisión de $\pm 0,005$ mm.

Proyector óptico: para la medición bidimensional de crisoles pequeños con un aumento de 50 a 200x.

Medidor de altura y calibrador digital: utilizado para una inspección dimensional simple, la precisión $\pm 0,01$ mm.

Parámetros de detección

Tolerancias dimensionales:

Diámetro y altura: $\pm 0,05$ mm (aplicaciones convencionales), $\pm 0,02$ mm (crisoles para semiconductores).

Espesor de pared: $\pm 0,03$ mm (convencional), $\pm 0,01$ mm (alta precisión).

Tolerancias geométricas:

Redondez: $\leq 0,02$ mm (regular), $\leq 0,01$ mm (alta precisión).

Paralelismo: $\leq 0,015$ mm.

Concentricidad: $\leq 0,01$ mm.

Frecuencia de medición: 10% a 20% de muestreo por lote, inspección completa del 100% para aplicaciones críticas como la aeroespacial.

Requisitos ambientales: temperatura $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, humedad $< 50\%$, evite la expansión térmica o la interferencia de humedad.

Estándar de calibración: se utilizan bloques de calibración con certificación ISO 10360 para garantizar la precisión del equipo.

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: Las MMC y los telómetros láser alcanzan una precisión submicrónica y cumplen con tolerancias estrictas.

Automatización: Un sistema de medición automatizado integrado puede manejar grandes lotes de crisoles para aumentar la eficiencia.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Versatilidad: Los perfiladores y proyectores ópticos inspeccionan las características dimensionales y superficiales.

Registro de datos: Digitalización de los resultados de las mediciones para facilitar la trazabilidad de la calidad y el análisis estadístico.

Desafíos técnicos

Geometrías complejas: Los crisoles de formas especiales o de gran tamaño (diámetro > 500 mm) requieren MMC multiteje, lo que puede generar altos costos de equipo.

Reflexión de la superficie: Las superficies de tungsteno de alto acabado pueden causar errores de medición láser y es necesario calibrar la trayectoria óptica.

Tiempo de medición: Se necesita mucho tiempo para inspeccionar completamente crisoles grandes y es necesario equilibrar la eficiencia y la precisión.

Sensibilidad ambiental: Las fluctuaciones de temperatura o vibración pueden afectar los resultados de la medición, y se requiere un entorno de temperatura y humedad constantes.

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

3.7.2 Ensayos no destructivos (ecografía, rayos X, tomografía computarizada)

Principio de proceso

Los ensayos no destructivos (END) utilizan técnicas ultrasónicas, de rayos X o de tomografía computarizada (TC) para detectar defectos (por ejemplo, porosidad, grietas, inclusiones) dentro y en la superficie de los crisoles de tungsteno sin dañar su estructura. Los ensayos no destructivos son clave para garantizar la fiabilidad y la seguridad de los crisoles, especialmente en la industria nuclear y las aplicaciones de semiconductores.

Requisitos del equipo:

Detector ultrasónico: Equipado con una sonda de alta frecuencia (1 a 15 MHz), es adecuado para detectar pequeñas grietas.

Equipo de inspección por rayos X: energía de 100 a 400 kV, equipado con sistema de imagen digital.

Escáner de tomografía computarizada: alta resolución (0,01 mm), admite la reconstrucción de defectos en 3D.

Sistema de acoplante: medio de agua o gel para asegurar la transmisión ultrasónica.

Muestra de calibración: Muestra de tungsteno con defectos conocidos (por ejemplo, porosidad de 0,1 mm) para la calibración de equipos.

Parámetros de detección

Pruebas ultrasónicas:

Frecuencia: 5 MHz (detección convencional), 10 a 15 MHz (detección de alta precisión).

Tipo de sonda: sonda longitudinal o de onda de corte, de 5 a 10 mm de diámetro.

Resolución de defectos: $\geq 0,1$ mm (grieta), $\geq 0,2$ mm (porosidad).

Acoplante: agua o gel, espesor de 0,1 a 0,5 mm.

Inspección por rayos X:

Energía: 150 kV (espesor de pared < 10 mm), 300 kV (espesor de pared > 10 mm).

Tiempo de exposición: de 10 a 60 segundos, dependiendo del espesor del crisol.

Resolución de defectos: $\geq 0,2$ mm (porosidad), $\geq 0,1$ mm (grieta).

Tomografía computarizada:

Espesor de la capa de escaneo: 0,05 a 0,2 mm, dependiendo del tamaño del crisol.

Resolución: 0,01 a 0,05 mm para la detección de pequeñas inclusiones.

Tiempo de reconstrucción: 5 a 30 minutos para generar un modelo de defecto en 3D.

Ventajas tecnológicas

Alta sensibilidad: las tomografías computarizadas pueden detectar defectos diminutos de tan solo 0,05 mm, y la ecografía es adecuada para un cribado rápido.

Exhaustividad: las radiografías y las tomografías computarizadas proporcionan una distribución tridimensional de los defectos internos, revelando problemas ocultos.

No destructivo: no afecta al rendimiento ni a la vida útil del crisol.

Visualización de datos: El modelo 3D generado por CT facilita el análisis de defectos y la mejora

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de procesos.

Desafíos técnicos

Interferencia de alta densidad: La alta densidad del tungsteno ($19,25 \text{ g/cm}^3$) debilita la penetración de los rayos X, lo que requiere equipos de alta energía.

Geometría compleja: Los crisoles de formas especiales deben escanearse desde múltiples ángulos, lo que aumenta el tiempo de detección y la complejidad.

Alto costo: El equipo de tomografía computarizada tiene altos costos de inversión y operación, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta gama.

Tecnología de operación: NDT requiere una operación profesional y altos requisitos para la interpretación de datos.

3.7.3 Análisis de la composición química y de la microestructura

Principio de proceso

Análisis de la composición química y la microestructura La pureza del material, el contenido de impurezas y las propiedades de la microestructura (por ejemplo, tamaño de grano, distribución de fases, porosidad) de los crisoles de tungsteno se verifican mediante técnicas de análisis espectroscópico, observación microscópica y difracción. Estos análisis garantizan que la estabilidad química y las propiedades mecánicas del crisol cumplan con los requisitos de la aplicación.

Requisitos del equipo:

Espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF): detecta los elementos principales y las impurezas con una precisión del $\pm 0,01\%$.

Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): Las trazas de impurezas se analizan con un límite de detección de $< 0,1 \text{ ppb}$.

Microscopía electrónica de barrido (SEM): Observe granos, poros y defectos con una resolución de $< 1 \text{ nm}$.

Difractómetro de retrodispersión de electrones (EBSD): Analiza la orientación del grano y la estructura de fase con una precisión de $\pm 0,1^\circ$.

Microscopía electrónica de transmisión (TEM): Analice estructuras a nanoescala con una resolución $< 0,1 \text{ nm}$.

Parámetros de detección

Composición química:

Pureza del tungsteno: $\geq 99,95\%$ (convencional), $\geq 99,999\%$ (industria de semiconductores o nuclear).

Elementos de impurezas: C, O, N, Fe, Ni, Mo, etc., contenido $< 50 \text{ ppm}$ (convencional), $< 10 \text{ ppm}$ (alta pureza).

Frecuencia de prueba: 5% a 10% de muestreo por lote, inspección completa de aplicaciones clave.

Microestructura:

Granulometría: 10 a 50 μm (convencional), 5 a 20 μm (alto rendimiento).

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Porosidad: <1% (análisis de imagen SEM), <0,5% (aplicaciones de alta gama).

Distribución de fases: sin fases anormales (por ejemplo, óxidos, carburos), verificada por XRD.

Características del límite de grano: EBSD analiza los ángulos de límite de grano para optimizar la resistencia al agrietamiento.

Ventajas tecnológicas

Precisión ultra alta: ICP-MS detecta impurezas en el rango de ppb para garantizar la pureza del material.

Análisis exhaustivo: SEM y EBSD proporcionan información completa sobre los granos, los defectos y las fases.

Predicción del rendimiento: Los datos de la microestructura guían la optimización del rendimiento a altas temperaturas.

Aseguramiento de la calidad: Asegurar la consistencia química y estructural de cada lote de crisoles.

Desafíos técnicos

Preparación de la muestra: La dureza del tungsteno dificulta el corte, el pulido y el adelgazamiento, lo que requiere herramientas de diamante y adelgazamiento iónico.

Detección de trazas: El análisis de impurezas ultra bajas requiere equipos de alta sensibilidad y altos costos operativos.

Datos complejos: Los datos EBSD y TEM requieren software y personal profesional para interpretarlos.

Requiere mucho tiempo: El análisis de alta precisión (por ejemplo, TEM) lleva mucho tiempo, lo que afecta a la eficiencia de la producción.

3.7.4 Ensayo de rendimiento a alta temperatura (choque térmico, fluencia, fatiga)

Principio de proceso

La prueba de rendimiento a alta temperatura evalúa el rendimiento del choque térmico, el comportamiento de fluencia y la vida a fatiga de los crisoles de tungsteno mediante la simulación de condiciones de uso del mundo real (por ejemplo, ciclos a alta temperatura, estrés a largo plazo). Estas pruebas garantizan la fiabilidad y durabilidad del crisol en entornos extremos, como por encima de los 2000 °C.

Requisitos del equipo:

Horno de prueba de choque térmico: rango de temperatura de 25 °C a 2600 °C, velocidad de calentamiento > 100 °C / s, equipado con sistema de enfriamiento rápido.

Probador de fluencia: aplique tensión constante (10 a 100 MPa), temperatura de 1800 °C a 2300 °C, precisión de desplazamiento $\pm 0,001$ mm.

Máquina de prueba de fatiga: frecuencia de carga cíclica de 1 a 20 Hz, temperatura de 1000 °C a 2200 °C, precisión de fuerza $\pm 0,1$ N.

Equipo de prueba: termómetro infrarrojo (precisión ± 1 °C), sensor de desplazamiento láser (precisión $\pm 0,01$ mm), microscopio (análisis de grietas).

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Parámetros de detección

Prueba de choque térmico:

Diferencia de temperatura: 1000 °C a 2000 °C (por ejemplo, ciclo rápido de 2000 °C a 25 °C).

Número de ciclos: de 50 a 1000 ciclos, dependiendo de los requisitos de la aplicación.

Detección de grietas: microscopio óptico o penetración de tinte, la longitud de la grieta <0,1 mm está calificada.

Medio ambiente: Vacío o gas inerte (argón, contenido de oxígeno < 5 ppm).

Prueba de fluencia:

Tensión: 20 a 100 MPa, carga real simulada.

Temperatura: 1800°C a 2300°C, cerca de las condiciones de uso.

Tiempo: 100 a 2000 horas, tasa de deformación medida (<0.1% está calificado).

Atmósfera: vacío o argón para evitar la oxidación.

Prueba de fatiga:

Tensión cíclica: ± 50 a ± 200 MPa, simula la carga cíclica térmica.

Temperatura: 1000°C a 2200°C.

Número de ciclos: 10^4 a 10^7 veces, detección de grietas por fatiga (<0,05 mm está calificado).

Frecuencia: 5 a 10 Hz, equilibrando eficiencia y precisión.

Ventajas tecnológicas

Simulación realista: Las condiciones de prueba son cercanas al entorno de uso real y predicen la vida útil del crisol.

Optimización del rendimiento: Los datos de prueba guían las mejoras del proceso para mejorar la resistencia al choque térmico y la fluencia.

Verificación de confiabilidad: Asegúrese de que el crisol cumpla con los estrictos requisitos de las industrias aeroespacial y nuclear.

Soporte de datos: Proporcione indicadores cuantitativos (como la tasa de fluencia, la vida útil de fatiga) para facilitar la evaluación del cliente.

Desafíos técnicos

Altos requisitos de equipo: el equipo de prueba de alta temperatura debe soportar 2600 °C y los costos de fabricación y mantenimiento son altos.

Ciclos de prueba largos: Las pruebas de fluencia y fatiga pueden tardar semanas o meses, lo que afecta a la productividad.

Control ambiental: El vacío a alta temperatura o las atmósferas inertes deben gestionarse estrictamente para evitar la oxidación o la contaminación.

Interpretación de datos: Los datos de prueba complejos deben analizarse profesionalmente, lo que aumenta la dificultad técnica.

3.7.5 Sistema de certificación de calidad y trazabilidad

Principio de proceso

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

El sistema de certificación de calidad y trazabilidad garantiza que la producción, las pruebas y la entrega de crisoles de tungsteno cumplan con los estándares internacionales y de la industria (como ISO 9001, GB/T 3459-2022) mediante el establecimiento de un proceso de gestión de calidad estandarizado y un mecanismo de trazabilidad del producto. El sistema de trazabilidad registra la información en cada paso del camino, desde las materias primas hasta los productos terminados, para facilitar la resolución de problemas, la mejora de la calidad y la confianza del cliente.

Equipos y herramientas

Sistema de Gestión de Calidad: Una plataforma digital basada en la norma ISO 9001:2015 que registra los datos de producción, inspección y entrega.

Sistema de trazabilidad: código de barras, código QR o etiqueta RFID con lote, parámetros de proceso y resultados de pruebas del crisol.

Herramientas de análisis de datos: Software de control estadístico de procesos (SPC) para analizar las fluctuaciones de calidad y las tendencias de defectos.

Sistema de documentación: archivo electrónico de registros de producción, informes de pruebas, documentos de certificación y comentarios de los clientes.

Tecnología blockchain: Algunas empresas utilizan blockchain para garantizar que los datos no puedan ser manipulados y mejorar la credibilidad de la trazabilidad.

Parámetros de implementación

Criterios de acreditación:

ISO 9001:2015 (Sistema de Gestión de la Calidad).

ISO 14001:2015 (Sistema de Gestión Ambiental).

GB/T 3459-2022 (requisitos técnicos para crisoles de tungsteno).

ASTM B760-07 (Especificación estándar para productos de tungsteno).

Trazabilidad:

Materias primas: lote de polvo de tungsteno, proveedor, composición química, distribución del tamaño de partícula.

Parámetros del proceso: temperatura de sinterización, tolerancias de mecanizado, condiciones de posprocesamiento.

Resultados de la prueba: tamaño, prueba no destructiva, composición química, rendimiento a alta temperatura.

Información de entrega: nombre del cliente, fecha de entrega, número de lote.

Retención de datos: 5 años para aplicaciones rutinarias y más de 10 años para aplicaciones de alta gama (como la industria nuclear).

Frecuencia de auditoría: auditoría interna cada 6 meses, auditoría externa una vez al año, revisión de certificación de terceros cada 3 años.

Ventajas tecnológicas

Cumplimiento: Cumplir con los estándares internacionales y nacionales y mejorar la competitividad en el mercado.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Transparencia: La trazabilidad de todo el proceso mejora la confianza del cliente y facilita la rápida localización de los problemas de calidad.

Mejora continua: el análisis SPC identifica los cuellos de botella del proceso y optimiza la eficiencia y la calidad de la producción.

Gestión digital: Los sistemas electrónicos reducen los errores manuales y mejoran la fiabilidad de los datos.

Desafíos técnicos

Gestión de datos: La producción a gran escala requiere sistemas eficientes de almacenamiento, recuperación y análisis de datos.

Costes de implementación: Los sistemas de certificación, trazabilidad y digitalización son caros de invertir y mantener.

Colaboración interdepartamental: La trazabilidad debe cubrir la cadena de suministro, la producción y la inspección, y la gestión es compleja.

Seguridad de los datos: Es necesario evitar la fuga o manipulación de datos, y es difícil implementar la tecnología blockchain.

3.8 Tecnología de fabricación avanzada de crisol de tungsteno

Con el auge de la Industria 4.0 y la fabricación inteligente, la tecnología de fabricación de crisoles de tungsteno se está desarrollando en la dirección de la alta precisión, la alta eficiencia y la sostenibilidad. Las tecnologías de fabricación avanzadas han mejorado significativamente el rendimiento, la productividad y las capacidades de personalización de los crisoles mediante la introducción de la fabricación aditiva, el procesamiento láser, la fabricación micro-nano y los sistemas de fabricación inteligentes. Este capítulo discutirá en profundidad la fabricación aditiva (impresión 3D), la fusión por láser y la pulverización de plasma, la tecnología de fabricación micro-nano, la fabricación inteligente y las aplicaciones de la Industria 4.0, combinadas con la práctica de las empresas globales de productos de tungsteno y la información de la industria de Chinatungsten Online, y analizará exhaustivamente los principios, equipos, parámetros, ventajas y desafíos de estas tecnologías.

3.8.1 Fabricación aditiva (crisol de tungsteno impreso en 3D)

Principio de proceso

La fabricación aditiva (impresión 3D) construye directamente crisoles de tungsteno con geometrías complejas depositando polvo de tungsteno o materiales de aleación de tungsteno capa por capa. A diferencia de la pulvimetalurgia y el mecanizado tradicionales, la impresión 3D no requiere moldes y permite la creación rápida de prototipos de estructuras complejas, como refuerzos de cavidades o diseños porosos. Las técnicas comunes incluyen la fusión selectiva por láser (SLM), la fusión por haz de electrones (EBM) y la inyección de aglutinante.

Requisitos del equipo:

Equipo SLM: láser de fibra de alta potencia (500 W a 2 kW) con cámara blindada con gas inerte.

Equipo EBM: potencia de haz de electrones de 3 a 6 kW, entorno de vacío (hasta 10^{-4} Pa).

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Equipo de inyección de aglutinante: boquilla de alta precisión (resolución < 50 µm) equipada con horno de sinterización.

Sistema de manejo de polvo: sistema de tamizado y recuperación para garantizar un tamaño de partícula de polvo uniforme (10 a 50 µm).

Equipo de inspección: tomógrafo (para detectar defectos internos), perfilador láser (para verificar la precisión geométrica).

Parámetros del proceso

Sobre el nivel del mar:

Potencia del láser: 500 a 1000 W.

Velocidad de escaneo: 0,5 a 2 m/s.

Espesor de la capa: 20 a 50 µm.

Atmósfera: Argón, contenido de oxígeno < 100 ppm.

EBM:

Potencia del haz de electrones: 3 a 5 kW.

Velocidad de escaneo: 1 a 5 m/s.

Espesor de la capa: 50 a 100 µm.

Vacío: 10^{-4} a 10^{-5} Pa.

Inyección de aglutinante:

Tasa de inyección de aglutinante: 10 a 50 pL/gota.

Temperatura de sinterización: 1800 °C a 2200 °C.

Tiempo de sinterización: 4 a 8 horas.

Atmósfera: Vacío o hidrógeno.

Ventajas tecnológicas

Geometrías complejas: Se pueden fabricar crisoles de formas especiales que son difíciles de lograr con procesos convencionales (por ejemplo, canales de enfriamiento incorporados).

Eficiencia del material: Tasa de recuperación de polvo >95%, reduciendo el desperdicio de materia prima.

Prototipado rápido: Solo se necesitan unos días desde el diseño hasta el producto terminado, adecuado para la personalización de bajo volumen.

Optimización del rendimiento: El diseño de materiales degradados puede mejorar las propiedades locales (por ejemplo, la resistencia a la corrosión de la pared interior).

Desafíos técnicos

Densidad: La densidad de los crisoles impresos en 3D (<99%) es ligeramente inferior a la del sinterizado tradicional y debe optimizarse para el posprocesamiento.

Calidad de la superficie: La rugosidad de la superficie impresa (Ra 5 a 20 µm) debe mecanizarse o pulirse.

Costo del equipo: Los equipos SLM y EBM tienen una alta inversión y altos costos operativos.

Requisitos de polvo: se requiere polvo de tungsteno esférico ultrafino (<20 µm), lo que aumenta el

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

costo del material.

3.8.2 Fusión por láser y pulverización por plasma

Principio de proceso

La fusión por láser y la pulverización por plasma utilizan una fuente de calor de alta energía para depositar recubrimientos funcionales en la superficie de los crisoles de tungsteno o reparar defectos locales, mejorando su resistencia a la abrasión, oxidación y corrosión. La fusión por láser utiliza un rayo láser para derretir polvo de tungsteno o polvo de aleación para formar un recubrimiento; La pulverización de plasma rocía el polvo sobre la superficie a través de un arco de plasma, creando una capa gruesa.

Requisitos del equipo:

Equipos de fusión láser: láseres de fibra (1 a 10 kW) con una etapa de movimiento de cinco ejes.

Equipo de pulverización de plasma: Pistola de plasma (potencia de 40 a 100 kW) con sistema de alimentación de polvo.

Sistema de manejo de polvo: equipo de tamizado y secado, para garantizar que el tamaño de partícula del polvo sea de 10 a 100 μm .

Equipo de prueba: medidor de espesor de recubrimiento (precisión $\pm 1 \mu\text{m}$), probador de rayado (prueba de adherencia).

Control de atmósfera: Cámara de gas inerte (argón o helio) con contenido de oxígeno $< 50 \text{ ppm}$.

Parámetros del proceso

Fusión láser:

Potencia del láser: 2 a 5 kW.

Velocidad de escaneo: 0,5 a 2 m/min.

Velocidad de alimentación de polvo: 5 a 20 g/min.

Espesor del recubrimiento: 50 a 500 μm .

Atmósfera: Argón, contenido de oxígeno $< 100 \text{ ppm}$.

Pulverización con plasma:

Potencia de plasma: 50 a 80 kW.

Distancia de pulverización: 100 a 200 mm.

Velocidad de alimentación de polvo: 20 a 50 g/min.

Espesor del recubrimiento: 100 a 1000 μm .

Caudal de gas: argón 50 L/min, hidrógeno 5 L/min.

Ventajas tecnológicas

Recubrimientos de alto rendimiento: los recubrimientos de SiC o WC formados por fusión láser tienen una dureza de HV 2500 y los recubrimientos de MoSi₂ rociados con plasma tienen una excelente resistencia a la oxidación.

Reparación local: Reparación precisa de áreas desgastadas o agrietadas para prolongar la vida útil del crisol.

Flexibilidad: Adecuado para una amplia gama de materiales de recubrimiento (por ejemplo, aleación

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de tungsteno, cerámica).

Proceso rápido: el tiempo de deposición de un recubrimiento de una sola capa es de <1 hora, lo que es adecuado para la producción a gran escala.

Desafíos técnicos

Adhesión: La diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre el recubrimiento y el sustrato de tungsteno puede provocar desconchamiento, y es necesario optimizar la interfaz.

Estrés térmico: Las fuentes de calor de alta energía pueden causar microgrietas en el sustrato y es necesario controlar la entrada de calor.

Rugosidad de la superficie: Recubrimiento por pulverización de plasma $Ra > 10 \mu\text{m}$, se requiere un procesamiento secundario.

Alto costo: la inversión en equipos de láser y plasma es grande, los materiales en polvo son caros.

3.8.3 Tecnología de microfabricación

Principio de proceso

La microfabricación utiliza el micromecanizado láser, el grabado por haz de iones o la deposición química de vapor (CVD) para fabricar estructuras de tamaño micrométrico (1 a $100 \mu\text{m}$) o a nanoescala (<1 μm) en la superficie de los crisoles de tungsteno, como microvías, microranuras o nanorrecubrimientos. Estas estructuras mejoran la radiación térmica, la humectabilidad o las propiedades antiincrustantes de los crisoles, lo que las hace especialmente adecuadas para aplicaciones ópticas y de semiconductores.

Requisitos del equipo:

Láseres de femtosegundo: ancho de pulso < 500 fs, potencia de 1 a 5 kW, para micromecanizado.

Dispositivos de haz de iones enfocados (FIB): energía iónica de 10 a 50 keV, resolución < 10 nm.

Equipo CVD: sistema CVD de baja temperatura (400°C a 800°C) para la deposición de nanocoatings.

Equipos de detección: Microscopio de fuerza atómica (AFM, resolución < 0,1 nm), SEM (observación de micro-nano estructuras).

Sala limpia: ISO Clase 5 (Clase 100) para evitar la contaminación por partículas.

Parámetros del proceso

Micromecanizado láser de femtosegundo:

Ancho de pulso: 100 a 500 fs.

Potencia: de 1 a 3 kW.

Velocidad de escaneo: 0,1 a 1 m/s.

Tamaño de la característica: de 1 a $50 \mu\text{m}$ (microranura o micropocillo).

Grabado por haz de iones:

Energía iónica: 20 a 40 keV.

Densidad del haz: 0,1 a 1 A/cm^2 .

Profundidad de grabado: 0,1 a $10 \mu\text{m}$.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Vacío: por debajo de 10^{-6} Pa.

Recubrimiento Nano CVD:

Temperatura: 400° C a 600° C.

Precursor: SiH_4 (recubrimiento de SiC) o WF_6 (recubrimiento a base de tungsteno).

Espesor del recubrimiento: 10 a 100 nm.

Atmósfera: baja presión (10^{-1} Pa).

Ventajas tecnológicas

Mejoras: La estructura microporosa mejora la eficiencia de la radiación térmica y el nano-recubrimiento mejora el rendimiento antiincrustante.

Alta precisión: el láser de femtosegundo y FIB pueden lograr una precisión de mecanizado submicrónica.

Personalización: Se pueden diseñar microestructuras específicas (por ejemplo, reflectores ópticos) de acuerdo con los requisitos de la aplicación.

Desafíos técnicos

Eficiencia de procesamiento: La velocidad de procesamiento micro-nano es lenta, adecuada para aplicaciones de área pequeña o de alto valor agregado.

Costo del equipo: El láser de femtosegundo y los equipos FIB tienen una alta inversión y un mantenimiento complejo.

Daño superficial: El grabado por haz de iones puede introducir defectos de cristal que requieren un tratamiento posterior.

Requisitos de limpieza: El procesamiento de micro-nano requiere un entorno ultralimpio, lo que aumenta los costos operativos.

3.8.4 Fabricación inteligente y aplicaciones de la Industria 4.0

Principio de proceso

La fabricación inteligente y la Industria 4.0 optimizan el proceso de producción de crisoles de tungsteno a través del Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de big data y la tecnología de automatización, y realiza la gestión digital de toda la cadena desde el diseño hasta la entrega. Estas tecnologías mejoran la productividad, la consistencia de la calidad y el control del proceso, al tiempo que reducen el consumo de energía y las tasas de desechos.

Equipos y herramientas

Sistema de Internet de las Cosas: sensores (temperatura, presión, desplazamiento) y plataforma de Internet industrial para recopilar datos de producción en tiempo real.

Sistema de IA: Modelos de aprendizaje automático para optimizar los parámetros del proceso y predecir fallos de los equipos.

Equipos de automatización: robot de seis ejes (para manipulación, procesamiento), sistema automático de carga y descarga.

Plataforma de gemelos digitales: simule el proceso de producción de crisoles y optimice el diseño y el proceso.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Herramientas de análisis de big data: sistemas de análisis basados en Hadoop o Spark que procesan terabytes de datos de producción.

Parámetros de implementación

Internet de las cosas:

Número de sensores: de 10 a 50 por dispositivo, frecuencia de muestreo de 1 Hz a 1 kHz.

Transmisión de datos: 5G o Industrial Ethernet con una latencia de < 10 ms.

Almacenamiento de datos: Almacenamiento en la nube, con una capacidad de > 1 PB, almacenado durante más de 5 años.

Optimización de IA:

Tipo de modelo: Red Neuronal Profunda (DNN) o Aprendizaje por Refuerzo (RL).

Datos de entrenamiento: >10⁵ registros de proceso, que cubren temperatura, presión, tasa de defectos.

Objetivo de optimización: < 0,5% de tasa de desperdicio y reducción del 10% en el consumo de energía.

Automatización:

Precisión del robot: ±0,01 mm (manipulación), ±0,05 mm (procesamiento).

Tiempo de ciclo: 5 a 10 minutos por crisol.

Tasa de automatización: >80% (procesos clave).

Gemelo digital:

Precisión de la simulación: error geométrico <0,1 mm, error de rendimiento <5%.

Frecuencia de actualización: en tiempo real (<1 segundo) o por lotes (cada hora).

Gama de simulación: desde el prensado del polvo hasta el post-procesado.

Ventajas tecnológicas

Producción eficiente: La automatización y la optimización de la IA aumentan la eficiencia de la producción entre un 20% y un 30%.

Calidad constante: el IoT y el análisis de big data han reducido la tasa de desperdicio a menos del 0,3%.

Mantenimiento predictivo: la IA predice los fallos de los equipos y reduce el tiempo de inactividad en un 80%.

Personalización flexible: el gemelo digital admite una iteración rápida del diseño para satisfacer las necesidades individuales de los clientes.

Desafíos técnicos

Integración tecnológica: El IoT, la IA y la automatización deben integrarse a la perfección y los sistemas son complejos.

Seguridad de los datos: Los datos de producción deben protegerse de las fugas, y se requiere un cifrado y un control de acceso avanzados.

Costo de implementación: La inversión en un sistema de fabricación inteligente es grande y es difícil

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

que las pequeñas y medianas empresas la aporten.

Formación de personal: Es necesario cultivar talentos interdisciplinarios que dominen la IA y las tecnologías de la Industria 4.0.



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 4 Tecnología e innovación de producción de crisoles de tungsteno

La tecnología de producción de crisol de tungsteno se está desarrollando rápidamente en la dirección de la automatización, la inteligencia, el medio ambiente y el alto rendimiento para satisfacer las estrictas necesidades de la industria de semiconductores, aeroespacial, nuclear y otros campos. Este capítulo discutirá profundamente la automatización y la producción inteligente, la tecnología de ahorro de energía y protección del medio ambiente, la economía circular y la gestión de recursos del crisol de tungsteno, así como la exploración de tecnologías de vanguardia, combinada con la experiencia práctica de las empresas globales de productos de tungsteno y la información de la industria proporcionada por Chinatungsten Online, y analizará exhaustivamente los principios, equipos, parámetros, ventajas y desafíos de estas tecnologías.

4.1 Automatización de crisoles de tungsteno y producción inteligente

La automatización y la producción inteligente han mejorado significativamente la eficiencia de la producción, la consistencia de la calidad y la capacidad de control del proceso de los crisoles de tungsteno mediante la introducción del mecanizado CNC, la robótica, el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la toma de decisiones basada en datos. Estas tecnologías están en el corazón de la Industria 4.0 en la industria de productos de tungsteno.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

4.1.1 Mecanizado CNC y automatización robótica

Principio de proceso

El mecanizado de control numérico (CNC) utiliza máquinas herramienta de alta precisión controladas por computadora para torneado, fresado, perforado y molienda de tungsteno para garantizar la precisión geométrica y la calidad de la superficie. La automatización robótica automatiza la manipulación de materiales, la carga y descarga de piezas, la asistencia al procesamiento y la inspección a través de robots de seis ejes o robots colaborativos (Cobots), reduciendo la intervención manual y mejorando la eficiencia de la producción.

Requisitos del equipo:

Máquinas CNC: centros de mecanizado de 5 o 7 ejes con herramientas de diamante o nitruro de boro cúbico (CBN), velocidades de husillo de 5.000 a 20.000 rpm y precisión de posicionamiento $\pm 0,001$ mm.

Sistema robótico: Robot de seis ejes (carga de 5 a 50 kg) con sistema de reconocimiento visual (resolución $< 0,1$ mm) y sensores de control de fuerza (precisión $\pm 0,1$ N).

Línea de montaje automatizada: sistema integrado de carga y descarga, cinta transportadora y utillaje, tiempo de ciclo de 5 a 15 segundos por pieza.

Equipos de prueba: telémetro láser (precisión $\pm 0,01$ mm) y máquina de medición por coordenadas (MMC, precisión $\pm 0,001$ mm).

Parámetros del proceso

Mecanizado CNC:

Velocidad de corte: 10 a 50 m/min (la alta dureza del tungsteno requiere un alto par a baja velocidad).

Avance: 0,02 a 0,2 mm/rev.

Profundidad de corte: de 0,1 a 0,5 mm para evitar microfisuras.

Refrigerante: medio a base de aceite a alta presión con un caudal de 20 a 40 L/min.

Automatización robótica:

Velocidad de manipulación: 0,5 a 2 m/s, precisión $\pm 0,05$ mm.

Reconocimiento visual: el tiempo de procesamiento es de $< 0,1$ segundos y la tasa de reconocimiento $> 99,5\%$.

Fuerza de cierre: 50 a 500 N, adecuado para diferentes tamaños de crisol.

Tasa de automatización: 90% $>$ procesos clave.

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: el mecanizado CNC controla la tolerancia dimensional a $\pm 0,01$ mm, lo que cumple con los requisitos de la industria de semiconductores.

Eficiencia: La automatización robótica reduce los tiempos de ciclo entre un 30 y un 50 por ciento.

Consistencia: La automatización reduce el error humano y aumenta la consistencia de los lotes al 99,8%.

Seguridad: Los robots sustituyen a los procesos peligrosos (como la manipulación a alta temperatura) y reducen los riesgos laborales.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Desafíos técnicos

Costo del equipo: La inversión en sistemas CNC y robóticos de cinco ejes es alta, lo que es difícil de pagar para las pequeñas y medianas empresas.

Programación compleja: El CNC y los robots deben personalizarse para aumentar el tiempo de desarrollo.

Dificultad de mantenimiento: Los equipos de alta precisión deben calibrarse y mantenerse regularmente, y los requisitos técnicos son altos.

Adaptabilidad: Diseño complejo de accesorios automatizados para crisoles pequeños o de formas especiales.

4.1.2 Digitalización de las líneas de producción e integración del Internet de las Cosas

Principio de proceso

La línea de producción digital conecta equipos, sensores y sistemas de gestión a través de la tecnología IoT para recopilar y analizar datos de producción (como temperatura, presión y tamaño) en tiempo real para monitorear y optimizar todo el proceso. La integración de IoT permite la conectividad de dispositivos, el uso compartido de datos y la gestión remota para mejorar la transparencia y el control de la producción.

Requisitos del equipo:

Sensores IoT: sensores de temperatura (precisión $\pm 0,1$ °C), presión ($\pm 0,1$ kPa), sensores de desplazamiento ($\pm 0,01$ mm), frecuencia de muestreo de 1 Hz a 10 kHz.

Plataforma de Internet industrial: admite 5G o Ethernet industrial, retraso de transmisión de datos < 5 ms.

Dispositivos de computación periférica: procesa datos en tiempo real con > 10 TFLOPS de potencia de cálculo.

Sistema de almacenamiento de datos: servidor en la nube o local, capacidad > 1 PB, retención de datos > 5 años.

Sistema de visualización: panel de monitoreo en tiempo real, resolución 4K, soporte de acceso multiterminal.

Parámetros del proceso

Despliegue de sensores: de 10 a 50 sensores por máquina, que cubren los procesos de sinterización, procesamiento e inspección.

Adquisición de datos: Frecuencia de muestreo de 1 a 100 Hz (convencional), 1 kHz (proceso altamente dinámico).

Velocidad de transmisión: >100 Mbps para garantizar el rendimiento en tiempo real.

Procesamiento de datos: La latencia de la computación periférica < de 10 ms y el ciclo de análisis en la nube < de 1 minuto.

Fiabilidad del sistema: La tasa de conexión del equipo es del > del 99,9% y la integridad de los datos > del 99,99%.

Ventajas tecnológicas

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Monitoreo en tiempo real: se recopilan todos los datos del proceso y el tiempo de detección de anomalías es de <1 segundo.

Gestión transparente: El estado de la producción se visualiza en tiempo real y los gerentes pueden tomar decisiones de forma remota.

Mejora de la eficiencia: El Internet de las cosas optimiza la programación de recursos y aumenta la eficiencia de la producción entre un 20% y un 30%.

Trazabilidad de la calidad: El registro de datos apoya la trazabilidad de los defectos y el tiempo de posicionamiento se acorta en un 70%.

Desafíos técnicos

Seguridad de los datos: Se requiere cifrado avanzado (como AES-256) y control de acceso para evitar fugas.

Integración del sistema: El protocolo de dispositivos multimarca no está unificado y requiere interfaces personalizadas.

Dependencia de la red: las interrupciones de 5G o Ethernet pueden afectar al rendimiento en tiempo real.

Costos de implementación: Las implementaciones de sensores y plataformas en la nube requieren una alta inversión inicial.

4.1.3 Aplicación de la inteligencia artificial en la optimización de procesos

Principio de proceso

La inteligencia artificial (IA) analiza los datos de producción a través del aprendizaje automático (ML), el aprendizaje profundo (DL) y el aprendizaje por refuerzo (RL) para optimizar los parámetros del proceso, predecir fallos de los equipos y mejorar el control de calidad. La IA identifica la mejor combinación de variables clave como la temperatura de sinterización, las tolerancias de mecanizado, etc., lo que reduce el coste de prueba y error.

Requisitos del equipo:

Plataforma de computación de IA: clúster de GPU (potencia de cómputo > 100 TFLOPS) o TPU para ejecutar modelos ML/DL.

Sistema de adquisición de datos: sensor de alta frecuencia (por encima de 1 kHz) para recoger datos como temperatura, presión, tasa de defectos, etc.

Herramientas de desarrollo de modelos: TensorFlow, PyTorch o AutoML, que admite la iteración rápida.

Interfaz de interacción humano-computadora: admite la recomendación de parámetros de proceso y alarma anormal, y el tiempo de respuesta es < 0,5 segundos.

Almacenamiento de datos: soporte >10⁵ registros de proceso, período de almacenamiento > 5 años.

Parámetros del proceso

Tipos de modelos: Red Neuronal Convolucional (CNN, Análisis de Imágenes), Red Neuronal Recurrente (RNN, Series Temporales), Aprendizaje por Refuerzo (Optimización de Procesos).

Datos de entrenamiento: >10⁶ registros, que abarcan la sinterización, el procesamiento, las pruebas y otros procesos.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Objetivos de optimización:

Tasa de rechazo: <0,3%.

Consumo de energía: reducción del 10% al 20%.

Eficiencia de producción: aumento del 15% al 25%.

Precisión de la predicción: La tasa de predicción de fallas es del >95% y el error de optimización de parámetros es del <1%.

Frecuencia de actualización: El modelo se actualiza semanal o mensualmente para adaptarse a nuevos datos.

Ventajas tecnológicas

Optimización del proceso: la IA recomienda la temperatura de sinterización y los parámetros de procesamiento óptimos, y la tasa de desperdicio se reduce al 0,2%.

Mantenimiento predictivo: La predicción de fallos en los equipos reduce el tiempo de inactividad hasta en un 80%.

Control adaptativo: Ajuste el proceso en tiempo real en respuesta a los cambios en las materias primas o el entorno.

Ahorro de costos: Optimice el consumo de energía y el uso de materiales, reduciendo los costos de producción entre un 10 y un 15 por ciento.

Desafíos técnicos

Calidad de los datos: Se requieren datos multidimensionales de alta calidad, y el costo de recopilación es alto.

Modelos complejos: el entrenamiento de modelos DL requiere mucha potencia de cálculo y tiempo.

Interpretabilidad: Los parámetros recomendados por la IA deben ser verificados por los ingenieros para garantizar la fiabilidad.

Barreras técnicas: el desarrollo de la IA requiere equipos interdisciplinarios, lo que dificulta la implementación de las pymes.

4.1.4 Decisiones de fabricación basadas en datos

Principio de proceso

La toma de decisiones de fabricación basada en datos utiliza el análisis de big data y el control estadístico de procesos (SPC) para analizar los datos de producción (por ejemplo, tamaño, tasa de defectos, consumo de energía) de los datos de producción en tiempo real para guiar la mejora de procesos, la asignación de recursos y la gestión de la calidad. Estas decisiones aumentan la productividad, reducen los costos y garantizan la calidad del producto.

Requisitos del equipo:

Plataforma de big data: Basada en Hadoop o Spark, procesa terabytes de datos con un tiempo de análisis de < 1 hora.

Software SPC: Minitab o JMP, analice las fluctuaciones de calidad, controle la precisión del gráfico $\pm 0.01\%$.

Herramientas de visualización de datos: Tableau o Power BI para generar informes en tiempo real y gráficos de control.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Sistema de computación en la nube: AWS o Azure, que admite el almacenamiento de datos a nivel de petabytes y la computación paralela.

Sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS): Integra IA y SPC para proporcionar recomendaciones automatizadas para la toma de decisiones.

Parámetros del proceso

Tipos de datos: tolerancias dimensionales, tasas de defectos, consumo de energía, estado de funcionamiento del equipo, características de la materia prima.

Frecuencia: en tiempo real (<1 segundo) o por lotes (cada hora o por día).

Límite de control: límite superior e inferior de SPC (por ejemplo, $\pm 3\sigma$), tasa de defectos < 0,5%.

Tipos de informes: Diagrama de Pareto, gráfico de control, histograma, gráfico de dispersión.

Ciclo de toma de decisiones: en tiempo real (procesos críticos) o diario (análisis resumido).

Ventajas tecnológicas

Toma de decisiones precisas: El análisis de datos reduce el tiempo de localización de problemas de calidad en un 60%.

Optimización de recursos: aumento del 15 al 20 por ciento en la utilización de equipos y materias primas.

Mejora de la calidad: SPC controla la tasa de defectos de lote por debajo del 0,3%.

Ajuste dinámico: Los datos en tiempo real permiten una respuesta rápida a los cambios en la demanda del mercado.

Desafíos técnicos

Integración de datos: Los datos de múltiples fuentes deben estar estandarizados y ser complejos de procesar.

Complejidad del análisis: Los terabytes de datos requieren algoritmos eficientes y potencia de cálculo.

Requisitos de personal: Se requiere que los científicos e ingenieros de datos colaboren, y el costo de la capacitación es alto.

Estabilidad del sistema: La plataforma en la nube debe tener una alta disponibilidad para evitar la pérdida de datos.

4.2 Tecnología de ahorro de energía y protección del medio ambiente del crisol de tungsteno

La tecnología de ahorro de energía y protección del medio ambiente reduce el consumo de energía y el impacto ambiental de la producción de crisoles de tungsteno al optimizar el diseño del horno de sinterización, la recuperación de calor residual, la producción baja en carbono y la tecnología limpia, y logra el objetivo de fabricación ecológica.

4.2.1 Diseño de horno de sinterización de alta eficiencia

Principio de proceso

Los hornos de sinterización de alta eficiencia reducen las pérdidas de calor y mejoran la eficiencia energética al optimizar los elementos calefactores, el aislamiento y los sistemas de control de

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

temperatura. Los hornos de sinterización modernos utilizan campos térmicos simulados y control inteligente para garantizar la uniformidad de la temperatura y el mínimo consumo de energía.

Requisitos del equipo:

Elemento calefactor: tungsteno o grafito de alta pureza, resistente a 2600 °C, vida útil > 5000 horas.
Aislamiento térmico: Zirconia (ZrO₂) o compuestos de fibra de carbono, conductividad térmica < 0,1 W/m·K.

Control de temperatura: controlador PID, precisión ± 1 °C, termómetro infrarrojo integrado.

Sistema de vacío: Bomba turbomolecular, grado de vacío 10⁻⁵ Pa, evita la oxidación.

Software de simulación: ANSYS o COMSOL para simular campos térmicos y distribuciones de energía.

Parámetros del proceso

Temperatura de sinterización: 1800 °C a 2400 °C, gradiente controlado (±5 °C).

Velocidad de calentamiento: 5 a 15 °C/min, equilibrando la eficiencia y la tensión.

Tiempo de retención: de 2 a 12 horas, dependiendo del tamaño del crisol.

Consumo de energía: 10 kWh por kilogramo de < de tungsteno (horno de alta eficiencia), 15 a 20 kWh para hornos convencionales.

Eficiencia térmica: >80%, optimizada por el aislamiento térmico y el campo térmico.

Ventajas tecnológicas

Bajo consumo de energía: Los hornos de sinterización de alta eficiencia reducen el consumo de energía entre un 20 y un 30 por ciento.

Alta uniformidad: desviación del campo térmico < 10 °C, lo que reduce la tasa de defectos.

Larga vida útil: 50% más de vida útil de los elementos calefactores y el aislamiento.

Respetuoso con el medio ambiente: Reducir la electricidad y las emisiones, en línea con los estándares de fabricación ecológica.

Desafíos técnicos

Costo del equipo: alta inversión en horno de sinterización de alta eficiencia, período de amortización de 3 a 5 años.

Diseño complejo: La simulación de campo térmico requiere un equipo profesional y soporte de software.

Requisitos de mantenimiento: los materiales aislantes de alta temperatura deben reemplazarse regularmente, lo cual es costoso.

Barreras técnicas: los sistemas de control avanzados deben personalizarse y desarrollarse.

4.2.2 Recuperación de calor residual y reciclaje de energía

Principio de proceso

La recuperación de calor residual captura el calor residual generado durante la sinterización y el procesamiento a través de intercambiadores de calor y sistemas de almacenamiento de energía para

precalentar materias primas, calentar fluidos de limpieza o calefacción. El reciclaje de energía convierte la energía térmica recuperada en energía eléctrica o mecánica, lo que reduce aún más el consumo de energía.

Requisitos del equipo:

Intercambiador de calor: tipo placa o tubular, eficiencia de transferencia de calor > 90%, resistencia de 1000 °C.

Sistema de almacenamiento de energía: almacenamiento de calor de material de cambio de fase (PCM) o sales fundidas con una densidad de almacenamiento de energía de > 200 kJ/kg.

Generadores termoeléctricos: basados en el efecto Seebeck, la eficiencia de conversión es del 10% al 15%.

Sistema de tuberías: acero inoxidable resistente a altas temperaturas, pérdida de calor <5%.

Sistema de control: controlador PLC, monitoreo en tiempo real del flujo de calor y distribución de energía.

Parámetros del proceso

Temperatura de calor residual: 300 °C a 1000 °C (escape del horno de sinterización), 100 °C a 200 °C (enfriamiento del procesamiento).

Tasa de recuperación: El intercambiador de calor recupera entre el 70% y el 90% del calor residual.

Tiempo de almacenamiento de energía: de 6 a 24 horas para satisfacer la demanda intermitente.

Eficiencia de generación de energía: 10% a 12% para generadores termoeléctricos, generando de 0,1 a 0,2 kWh por kilogramo de calor residual.

Vida útil del sistema: 10 años > intercambiador de calor, 5000 ciclos > material de almacenamiento de energía.

Ventajas tecnológicas

Reducción del consumo de energía: La recuperación de calor residual reduce el consumo total de energía entre un 15 y un 25 por ciento.

Ahorro de costes: Reducción de las facturas de electricidad y combustible, periodo de amortización de 2 a 4 años.

Beneficios medioambientales: Reducción de las emisiones de CO₂, de 0,5 a 1 tonelada por tonelada de tungsteno.

Flexibilidad: El calor residual se puede utilizar para una variedad de propósitos, mejorando la eficiencia energética.

Desafíos técnicos

Inversión en equipos: Los intercambiadores de calor y los sistemas de almacenamiento de energía son costosos y requieren una recuperación a largo plazo.

Pérdida de calor: La pérdida de calor en las tuberías y los procesos de almacenamiento de energía debe minimizarse.

Integración del sistema: La recuperación de calor residual debe integrarse a la perfección en las líneas de producción existentes.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Mantenimiento complejo: Los intercambiadores de calor de alta temperatura deben limpiarse e inspeccionarse regularmente.

4.2.3 Producción baja en carbono y fabricación ecológica

Principio de proceso

La producción baja en carbono reduce la huella de carbono de la producción de crisoles de tungsteno mediante el uso de energía renovable, procesos optimizados y una menor dependencia de los combustibles fósiles. La fabricación ecológica combina la tecnología limpia y la gestión medioambiental para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.

Requisitos del equipo:

Sistemas de energías renovables: solar (fotovoltaica, eficiencia >20%) o eólica (potencia >5 MW).

Horno de sinterización bajo en carbono: calentamiento eléctrico en lugar de gas, la eficiencia > 90%.

Sistema de captura de carbono: absorción química o separación de membranas, tasa de captura > 80%.

Equipo de monitorización ambiental: analizador de emisiones (CO₂, NO_x) con una precisión de ± 0,1 ppm.

Sistema de Gestión ISO 14001: Una plataforma digital que registra las emisiones de carbono y los datos medioambientales.

Parámetros del proceso

Mix energético: >50% energías renovables y 20% <combustibles fósiles.

Emisiones de carbono: 1 tonelada de CO₂ por tonelada de < de tungsteno (bajo en carbono), de 2 a 3 toneladas para la producción convencional.

Tasa de captura: Los sistemas de captura de carbono recuperan entre el 80% y el 90% de las emisiones.

Frecuencia de monitoreo: en tiempo real (datos de emisiones), mensual (informe ambiental).

Ciclo de certificación: ISO 14001 auditada anualmente, huella de carbono evaluada trimestralmente.

Ventajas tecnológicas

Bajas emisiones: reducción del 50% al 70% de la huella de carbono, en línea con los objetivos globales de reducción de emisiones.

Valor de marca: La fabricación ecológica mejora la imagen corporativa y atrae a clientes preocupados por el medio ambiente.

Apoyo a las políticas: En línea con la política de neutralidad de carbono, recibir subsidios o incentivos fiscales.

Sostenibilidad: Reducir el consumo de recursos y alargar la vida útil de la cadena industrial.

Desafíos técnicos

Costes energéticos: La inversión en infraestructuras de energías renovables es elevada, con un periodo de amortización de 5 a 10 años.

Transformación tecnológica: Los equipos bajos en carbono necesitan transformar las líneas de

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

producción existentes, lo que afecta la capacidad de producción a corto plazo.

Costo de captura: Los sistemas de captura de carbono son costosos de operar y deben optimizarse para lograr su eficiencia.

Presión regulatoria: Los estándares globales de emisiones de carbono son diferentes y deben adaptarse a los requisitos de varios países.

4.2.4 Tecnologías de producción menos contaminantes

Principio de proceso

Las tecnologías de producción más limpias permiten una producción respetuosa con el medio ambiente al reducir los gases de escape, los desechos líquidos y los desechos sólidos, y optimizar los procesos de limpieza, procesamiento y postratamiento. Estas tecnologías incluyen agentes de limpieza no tóxicos, circulación de agua muerta y sistemas de filtración de alta eficiencia.

Requisitos del equipo:

Equipo de limpieza: Limpiador ultrasónico (40 a 80 kHz) que utiliza agentes de limpieza neutros o de base biológica.

Sistema de circulación de agua: Purificador de ósmosis inversa (RO) con > 95% de recuperación.

Equipos de tratamiento de gases residuales: adsorción de carbón activado o combustión catalítica, eficiencia de tratamiento > 99%.

Equipo de tratamiento de residuos sólidos: incinerador o compresor de alta temperatura, la tasa de tratamiento es del >90%.

Sistema de monitoreo: Monitoreo de emisiones en tiempo real con una precisión de ± 0.01 ppm.

Parámetros del proceso

Agente de limpieza: pH 6 a 8, biodegradable > 90%.

Tasa de recuperación de agua: >95%, calidad del agua purificada < 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tratamiento de gases residuales: $\text{NO}_x < 10$ ppm, $\text{COV}_s < 5$ ppm.

Reducción de residuos sólidos: 50 kg por tonelada de < de tungsteno (producción más limpia), 100 kg para > convencional.

Frecuencia de monitoreo: en tiempo real (gases de escape, líquido residual), diaria (residuos sólidos).

Ventajas tecnológicas

Protección del medio ambiente: reducción del 70% al 90% en el vertido de residuos, en línea con la normativa medioambiental.

Ahorro de costos: El reciclaje de agua y materiales reduce los gastos operativos en un 20%.

Salud y seguridad: Los productos de limpieza no tóxicos reducen los riesgos para la salud laboral.

Cumplimiento: Cumple con estándares internacionales como REACH y RoHS.

Desafíos técnicos

Costos técnicos: Alta inversión en equipos de limpieza y sistemas de monitoreo.

Adaptación del proceso: Los agentes de limpieza y los sistemas de circulación deben ser compatibles con los procesos existentes.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Regulación compleja: Muchos países tienen diferentes estándares ambientales y necesitan ser flexibles y adaptables.

Rendimiento equilibrado: Los detergentes deben ser eficaces y respetuosos con el medio ambiente.

4.3 Crisol de tungsteno, economía circular y gestión de recursos

La Economía Circular y la Gestión de Recursos logra la eficiencia de los recursos y la sostenibilidad ambiental en la producción de crisoles de tungsteno a través del reciclaje de residuos, la eliminación de gases y líquidos, la optimización de la cadena de suministro y la evaluación del ciclo de vida.

4.3.1 Reciclaje y reutilización de chatarra de tungsteno

Principio de proceso

El reciclaje de chatarra de tungsteno convierte los desechos de procesamiento, los crisoles al final de su vida útil y los materiales reciclados en polvo de tungsteno de alta pureza mediante clasificación física, purificación química y tratamiento metalúrgico, que se puede reutilizar en la producción. El proceso de reciclaje reduce la extracción de materia prima, reduciendo costos e impacto ambiental.

Requisitos del equipo:

Equipo de clasificación: separador magnético y separador de corrientes de Foucault para separar el tungsteno y otros metales.

Equipo de purificación química: tanque de lixiviación ácida y columna de intercambio iónico, pureza > 99,95%.

Equipo metalúrgico: horno de fusión al vacío u horno de arco eléctrico, temperatura de procesamiento > 3000 °C.

Equipo de preparación de polvo: molino de bolas y secador por pulverización con tamaño de partícula de 5 a 20 µm.

Equipo de detección: ICP-MS (impureza < 10 ppm), analizador de tamaño de partícula (precisión ± 0,1 µm).

Parámetros del proceso

Tasa de recuperación: >90% (chatarra de tungsteno), >95% (chatarra de alta pureza).

Pureza: Polvo de tungsteno reciclado >99,95%, impurezas (Fe, Ni) < 50 ppm.

Tamaño de partícula: de 5 a 20 µm, apto para sinterización e impresión 3D.

Consumo de energía: 5 MWh por tonelada de tungsteno < recuperado, 10 MWh > minería convencional.

Tiempo de procesamiento: 1 a 2 días para clasificación y purificación, 3 a 5 días para tratamiento metalúrgico.

Ventajas tecnológicas

Ahorro de recursos: El reciclaje de tungsteno reduce la extracción de mineral entre un 80% y un 90%.

Reducción de costes: entre el 50% y el 60% del coste del reciclaje de nuevos materiales.

Beneficios medioambientales: Reducción de los residuos mineros y del consumo de energía,

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

reducción del 70% de las emisiones de CO₂.

Sistema Dead Loop: Permite el reciclaje de residuos a nuevos crisoles.

Desafíos técnicos

Control de impurezas: Los elementos no tungstenos en la chatarra deben eliminarse de manera eficiente.

Técnicamente complejo: La purificación química y el tratamiento metalúrgico requieren un control preciso.

Diversidad de residuos: La composición de los residuos de diferentes fuentes varía mucho, lo que requiere procesos flexibles.

Economía: Las instalaciones de reciclaje a pequeña escala tienen economías de escala bajas y deben centralizarse.

4.3.2 Tratamiento de gases residuales y residuos líquidos en el proceso de producción

Principio de proceso

El tratamiento de gases de escape y residuos utiliza tecnologías de adsorción, catálisis, filtración y neutralización para eliminar los contaminantes (por ejemplo, NO_x, COV, residuos ácidos) generados durante la sinterización, el procesamiento y la limpieza para garantizar que las emisiones cumplan con los estándares ambientales.

Requisitos del equipo:

Tratamiento de gases residuales: torre de adsorción de carbón activado (tasa de adsorción >99%), horno de combustión catalítica (tasa de tratamiento > 98%).

Tratamiento de residuos: reactor de neutralización (pH 6 a 8), sistema de filtración por membranas (recuperación > 90%).

Equipo de filtración: Filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA), tamaño de partícula < 0,3 μm.

Equipo de monitoreo: cromatografía de gases, espectrómetro de masas (GC-MS, precisión ±0,01 ppm), medidor de pH (precisión ± 0,01).

Control automático: sistema PLC, ajuste en tiempo real de los parámetros de procesamiento.

Parámetros del proceso

Gas de escape:

NO_x: <10 ppm, COV: <5 ppm.

Tasa de tratamiento: >99% (combustión catalítica), >95% (adsorción).

Frecuencia de emisión: monitorización continua, registro horario.

Licor de desecho:

pH: 6,5 a 7,5 (después de la neutralización).

Metales pesados: <0,1 ppm (tungsteno, níquel, etc.).

Recuperación: >90% (agua), >80% (químicos).

Consumo de energía: <0,5 kWh por tonelada de gases de escape, <1 kWh por tonelada de licor residual.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Ventajas tecnológicas

Emisiones conformes: Cumple con los estándares de la EPA, la UE y GB sin multas ambientales.
Recuperación de recursos: El agua y los productos químicos en el líquido residual se pueden reutilizar, lo que reduce los costos.
Protección del medio ambiente: reducción del 90% de las emisiones contaminantes y protección del ecosistema.
Gestión automática: el monitoreo en tiempo real reduce los costos de mano de obra y mejora la eficiencia.

Desafíos técnicos

Costos de eliminación: Equipos de alta eficiencia y altos costos químicos.
Diversidad de contaminantes: La composición de los gases residuales y los líquidos residuales en diferentes procesos es compleja, lo que requiere la combinación de múltiples tecnologías.
Requisitos de monitoreo: El monitoreo continuo requiere equipos y profesionales de alta precisión.
Mantenimiento del sistema: Los filtros y los reactores deben reemplazarse regularmente, lo que aumenta los costos operativos.

4.3.3 Gestión sostenible de la cadena de suministro

Principio de proceso

La gestión sostenible de la cadena de suministro reduce la huella de carbono, el desperdicio de recursos y el impacto ambiental al optimizar la adquisición de materias primas, la logística y la colaboración con proveedores. Estas medidas incluyen la contratación ecológica, la optimización logística y la evaluación ambiental de los proveedores.

Equipos y herramientas

Sistema de gestión de la cadena de suministro: SAP u Oracle SCM para integrar datos de compras, inventario y logística.
Herramientas de análisis de huella de carbono: SimaPro o GaBi para calcular las emisiones de carbono de la cadena de suministro.
Software de optimización logística: Route4Me u OptimoRoute, para planificar rutas de transporte bajas en carbono.
Sistema de Evaluación Ambiental: Plataforma certificada ISO 14001 para evaluar el desempeño ambiental de los proveedores.
Tecnología Blockchain: Registra el origen de las materias primas para garantizar la transparencia y la trazabilidad.

Parámetros de implementación

Compras ecológicas: > el 80% de las materias primas provienen de fuentes sostenibles (por ejemplo, tungsteno reciclado o minerales bajos en carbono).
Huella de carbono: 0,5 toneladas de CO₂ por tonelada < de emisiones de tungsteno en la cadena de suministro.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Eficiencia logística: reducción del 20% en el consumo de energía del transporte y del 90% > la utilización de vehículos.

Evaluación de proveedores: Auditada anualmente, la puntuación ambiental es de > 85 sobre 100.

Transparencia de datos: Los registros de blockchain cubren el 95% de > cadena de suministro.

Ventajas tecnológicas

Suministro bajo en carbono: reducción del 50% al 70% de las emisiones de carbono de la cadena de suministro.

Optimización de costes: 15% a 20% de ahorro en logística y gestión de inventarios.

Cumplimiento: Cumplir con los requisitos ecológicos regulatorios y de los clientes.

Mejora de la marca: La cadena de suministro sostenible mejora la imagen de responsabilidad social corporativa.

Desafíos técnicos

Coordinación compleja: La cadena de suministro global requiere la colaboración de múltiples partes y es difícil de gestionar.

Recopilación de datos: Es difícil estandarizar los datos ambientales de los proveedores y se necesita una plataforma unificada.

Costo inicial: alta inversión en compras verdes y sistema blockchain.

Diferencias regulatorias: Las normas ambientales varían de un país a otro, lo que requiere flexibilidad para adaptarse.

4.3.4 Análisis del ciclo de vida (ACV)

Principio de proceso

La evaluación del ciclo de vida (ACV) guía la mejora de procesos y el diseño sostenible mediante la cuantificación del impacto ambiental (por ejemplo, consumo de energía, emisiones, consumo de recursos) de los crisoles de tungsteno desde la extracción de la materia prima hasta el reciclaje al final de su vida útil. El ACV abarca las fases de materias primas, producción, uso y eliminación.

Equipos y herramientas

Software de ACV: SimaPro, GaBi u OpenLCA para datos multidimensionales.

Base de datos: Ecoinvent o ELCD, que proporciona datos medioambientales sobre materiales y energía.

Plataforma informática: Un ordenador de alto rendimiento que procesa terabytes de datos y tarda < 1 día en analizarse.

Sistema de Indicadores Ambientales: ReCiPe o TRACI, evalúa la huella de carbono, huella hídrica, etc.

Herramientas de generación de informes: Tableau o Excel para generar informes y gráficos de ACV.

Parámetros de implementación

Alcance de la evaluación: De la cuna a la tumba, incluyendo minería, producción, uso, reciclaje.

Indicadores Ambientales:

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Huella de carbono: <2 toneladas de CO₂ por tonelada de tungsteno.

Consumo de energía: <20 MWh.

Huella hídrica: <500 m³.

Fuentes de datos: datos internos (80%), base de datos Ecoinvent (20%).

Período de análisis: anualmente o por lanzamiento de un nuevo producto.

Incertidumbre: El error de datos es del <10%, lo que se verifica mediante simulación de Monte Carlo.

Ventajas tecnológicas

Evaluación integral: El ACV revela los puntos críticos ambientales a lo largo del ciclo de vida y guía las mejoras.

Apoyo a la toma de decisiones: Proporcionar datos cuantitativos para optimizar diseños y procesos.

Cumplimiento: Cumple con las normas ISO 14040/14044 y cumple con los requisitos del cliente.

Competencia en el mercado: Los productos con un bajo impacto ambiental son más atractivos.

Desafíos técnicos

Complejidad de los datos: La recopilación e integración de datos en varias etapas lleva mucho tiempo.

Precisión del modelo: La base de datos externa puede desviarse de la situación real y debe verificarse.

Requisitos profesionales: El ACV requiere conocimientos de ciencias e ingeniería ambiental, y el equipo tiene un umbral alto.

Alto costo: El software, las bases de datos y los análisis son caros y difíciles de pagar para las pymes.

4.4 Exploración de la tecnología de vanguardia del crisol de tungsteno

La exploración de tecnología de vanguardia promueve avances en el rendimiento de los crisoles de tungsteno a través de la introducción de nanomateriales, aleaciones de alta entropía, computación cuántica y fabricación biomimética para satisfacer las necesidades de futuras aplicaciones de alta tecnología.

4.4.1 Polvo de nano tungsteno y crisol de tungsteno ultrafino

Principio de proceso

El nanopolvo de tungsteno (tamaño de partícula < 100 nm) se prepara por deposición de vapor o reducción química para la sinterización de crisoles de tungsteno de grano ultrafino (< de grano 1 μm). La estructura de grano ultrafino mejora la fuerza, la tenacidad y la resistencia al choque térmico del crisol, lo que lo hace adecuado para entornos extremos como los reactores de fusión nuclear.

Requisitos del equipo:

Preparación de nanopolvo: reactor de deposición química de vapor (CVD) a 800 °C a 1200 °C.

Equipo de sinterización: Horno de prensado isostático en caliente (HIP) con presión de 100 a 200 MPa y temperatura de 1800°C a 2200°C.

Manejo de polvo: dispersor ultrasónico para evitar la aglomeración de nano polvo.

Equipos de detección: microscopio electrónico de transmisión (TEM, resolución<0,1 nm),

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

analizador de tamaño de partícula (precisión \pm 1 nm).

Sala limpia: ISO clase 4 (clase 10) para evitar la contaminación por nano polvo.

Parámetros del proceso

Tamaño de partícula de polvo: 10 a 100 nm, uniformidad \pm 5 nm.

Condiciones de sinterización:

Temperatura: 1800° C a 2000° C (crecimiento reducido del grano).

Presión: 150 MPa (HIP).

Duración: 1 a 3 horas.

Tamaño de grano: 0,5 a 1 μ m (grano ultrafino), convencional $>$ 10 μ m.

Densidad: $>$ 99,5%, porosidad $<$ 0,1%.

Mejora del rendimiento: resistencia $>$ 1000 MPa (tradicional $<$ 800 MPa), resistencia al choque térmico $>$ 1000 ciclos.

Ventajas tecnológicas

Alto rendimiento: aumento del 30 al 50 por ciento en la resistencia y tenacidad de los crisoles de grano ultrafino.

Resistente a ambientes extremos: 2 veces más resistente al choque térmico y a la radiación, apto para aplicaciones nucleares.

Estructura fina: el nanopolvo soporta geometrías complejas y es adecuado para la impresión 3D.

Larga vida útil: La vida útil se prolonga en un 50%, lo que reduce el costo de reemplazo.

Desafíos técnicos

Costo del polvo: El precio del polvo de nano tungsteno es de 5 a 10 veces mayor que el del polvo ordinario.

Problema de agregación: el nanopolvo es fácil de aglomerar y se requiere una tecnología de dispersión especial.

Dificultad de sinterización: los cristales ultrafinos necesitan controlar con precisión la temperatura y la presión, y los requisitos del equipo son altos.

A gran escala: La aplicación a gran escala de la producción y sinterización de nanopolvos aún no se ha realizado.

4.4.2 Aleaciones de alta entropía y crisoles compuestos

Principio de proceso

Las aleaciones de alta entropía (HEA) están compuestas por cinco o más metales (por ejemplo, tungsteno, molibdeno, niobio, tantalio, circonio) en proporciones casi equimolares y tienen una excelente resistencia a altas temperaturas, resistencia a la oxidación y resistencia a la fluencia. Los crisoles compuestos combinan tungsteno con cerámica (por ejemplo, SiC, ZrC) o materiales de carbono (por ejemplo, grafeno) para mejorar la resistencia a la corrosión y la estabilidad térmica.

Requisitos del equipo:

Preparación de la aleación: horno de fusión por arco al vacío, temperatura $>$ 3000 °C, grado de vacío

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

10^{-5} Pa.

Moldeo compuesto: horno de sinterización de prensado en caliente con presión de 50 a 100 MPa y temperatura de 2000 °C.

Mezcla de polvo: molino planetario, uniformidad $\pm 1\%$.

Equipos de prueba: XRD (análisis de fase), SEM (microestructura), máquina de prueba de alta temperatura (prueba de rendimiento).

Equipo de procesamiento: máquina de corte por láser (precisión $\pm 0,01$ mm), rectificadora CNC (rugosidad superficial $Ra < 0,1 \mu\text{m}$).

Parámetros del proceso

Aleaciones de alta entropía:

Composición: W-Mo-Nb-Ta-Zr (relación molar 1:1:1:1:1).

Tiempos de fusión: de 3 a 5 veces para garantizar la uniformidad.

Rendimiento: Resistencia > 1500 MPa (2000 °C), temperatura antioxidante > 1800 °C.

Composites:

Composición: tungsteno + 20% SiC o 5% grafeno.

Condiciones de sinterización: 2000° C, 80 MPa, 2 horas.

Propiedades: dureza $> HV 3000$, conductividad térmica > 100 W/m · K.

Densidad: $> 99\%$, porosidad $< 0,5\%$.

Ventajas tecnológicas

Rendimiento ultra alto: los crisoles HEA son dos veces más fuertes que el tungsteno puro a 2000 °C.

Versatilidad: Los materiales compuestos combinan dureza, conductividad térmica y resistencia a la corrosión.

Resistente a ambientes extremos: adecuado para la industria de fusión, aeroespacial y química.

Flexibilidad de diseño: Proporciones ajustables de aleación y compuestos para satisfacer necesidades específicas.

Desafíos técnicos

Dificultad de preparación: el HEA debe derretirse muchas veces y el control de la composición es complejo.

Problemas de compatibilidad: Los materiales compuestos tienen grandes diferencias en los coeficientes de expansión térmica, lo que puede provocar fácilmente grietas.

Alto costo: Los metales de alta pureza y las nanocerámicas son caros.

Dificultad de procesamiento: El moldeo y el posprocesamiento de materiales de alta dureza requieren procesos especiales.

4.4.3 Aplicación de la computación cuántica en el diseño de materiales

Principio de proceso

La computación cuántica utiliza qubits y algoritmos cuánticos, como los solucionadores intrínsecos cuánticos variacionales (VQE), para simular el comportamiento a nivel atómico de los materiales

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

del crisol de tungsteno y optimizar las proporciones de aleación, las estructuras cristalinas y las predicciones de rendimiento. La computación cuántica es cientos de veces más rápida que la computación clásica, lo que acelera el desarrollo de nuevos materiales.

Requisitos del equipo:

Calculadoras cuánticas: procesadores cuánticos superconductores (>100 qubits) como IBM Quantum o Google Sycamore.

Cluster de computación clásico: asiste al procesamiento de datos, con una potencia de cálculo de > 1 PFLOPS.

Software de simulación: Qiskit, Cirq o PennyLane para computación híbrida cuántica-clásica.

Base de datos: Materials Project, que proporciona datos de tungsteno y aleaciones.

Equipo de prueba: fuente de luz de radiación de sincrotrón (para verificar los resultados de la simulación), TEM (estructura de nivel atómico).

Parámetros del proceso

Qubits: de 50 a 200 qubits con una tasa de error del <0,1%.

Escala de simulación: >10⁴ átomos, tiempo de simulación < 1 hora (cálculos clásicos > 1 semana).

Algoritmos: VQE (optimización estructural), Quantum Monte Carlo (predicción de rendimiento).

Precisión: Error de cálculo de energía < 0,01 eV, error estructural < 0,1 Å.

Entrada de datos: Datos de estructuras cristalinas y electrónicas para tungsteno, aleaciones y materiales compuestos.

Ventajas tecnológicas

Diseño rápido: Los ciclos de desarrollo de nuevos materiales se han acortado de años a meses.

Alta precisión: El error de rendimiento de predicción de la simulación cuántica es del <1%, que es mejor que el de los métodos clásicos.

Sistemas complejos: Simule aleaciones y nanoestructuras de alta entropía, superando los límites de la informática clásica.

Impulsado por la innovación: Acelere el alto rendimiento de los crisoles de tungsteno para satisfacer las necesidades futuras.

Desafíos técnicos

Escasez de equipos: Las calculadoras cuánticas son limitadas en número y su acceso es caro.

Madurez tecnológica: La computación cuántica se encuentra actualmente en sus primeras etapas y la tasa de error debe reducirse aún más.

Requisitos de datos: La simulación requiere datos experimentales de alta calidad, que son difíciles de obtener.

Profesionales: La computación cuántica requiere conocimientos interdisciplinarios de física, computación y ciencia de los materiales.

4.4.4 Materiales bioinspirados y fabricación biomimética

Principio de proceso

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Los materiales bioinspirados imitan las estructuras de alto rendimiento de la naturaleza (por ejemplo, la estructura en capas de las conchas, el diseño poroso de los huesos) para desarrollar materiales a base de tungsteno con autorcuración, ligereza y alta resistencia. La fabricación biomimética utiliza la impresión 3D y la tecnología de autoensamblaje para replicar estructuras biológicas y crear nuevos crisoles de tungsteno.

Requisitos del equipo:

Equipo de impresión 3D: impresora SLM multimaterial, que soporta compuestos de tungsteno y cerámica.

Sistema autoensamblable: plataforma de nanomanipulación para controlar la estructura a nivel molecular (precisión < 1 nm).

Software de diseño biomimético: BioMimicry o CAD para simular estructuras biológicas.

Equipos de detección: AFM (estructura de superficie, resolución < 0,1 nm), micro CT (estructura interna).

Equipo experimental: máquina de prueba de alta temperatura (prueba de rendimiento de autorreparación), máquina de prueba de fatiga.

Parámetros del proceso

Composición del material: tungsteno + nanocerámicas (por ejemplo, ZrC) o polímeros, proporción de 10:1 a 5:1.

Parámetros de impresión:

Espesor de la capa: 10 a 50 μm .

Potencia del láser: 500 a 1000 W.

Velocidad de impresión: 0,5 a 2 m/s.

Automontaje:

Temperatura: 25 °C a 100 °C (autoensamblaje molecular).

Tiempo: 1 a 24 horas.

Tamaño de la estructura: 1 nm a 100 μm .

Rendimiento:

Resistencia: >1200 MPa.

Tasa de autocuración: >80% (reparación de microfisuras).

Peso: 10% a 20% más ligero que el tungsteno puro.

Ventajas tecnológicas

Alto rendimiento: la estructura biomimética aumenta la resistencia y la tenacidad entre un 30% y un 40%.

Autocuración: las microfisuras se reparan automáticamente y la vida útil se prolonga 2 veces.

Ligereza: Los diseños porosos o en capas reducen el peso en un 15% y reducen el consumo de energía.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Respetuoso con el medio ambiente: Los materiales biomiméticos reducen el consumo de recursos y están en línea con la fabricación ecológica.

Desafíos técnicos

Técnicamente complejo: El diseño biomimético y el autoensamblaje requieren tecnología interdisciplinaria.

Dificultad de fabricación: La precisión del control de la estructura a nanoescala es extremadamente alta.

Alto costo: la inversión en equipos de impresión 3D y autoensamblaje es grande y la comercialización es difícil.

Ciclo de verificación: los nuevos materiales deben probarse durante mucho tiempo y la aplicación y la promoción son lentas.



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

1

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Capítulo 5 Aplicaciones del crisol de tungsteno

Los crisoles de tungsteno desempeñan un papel clave en una serie de campos de alta tecnología debido a su alto punto de fusión (3422 °C), excelente resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y alta dureza. Este capítulo explorará en detalle la amplia gama de usos de los crisoles de tungsteno en la industria metalúrgica, la industria electrónica y de semiconductores, la industria química, la investigación científica, la industria aeroespacial y de defensa, la industria energética y las aplicaciones emergentes e interdisciplinarias, y proporcionará un análisis en profundidad de los requisitos del proceso, los indicadores de rendimiento, los beneficios y los desafíos de cada escenario de aplicación.

5.1 Industria metalúrgica

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la industria metalúrgica para procesos de fundición a alta temperatura, preparación de aleaciones y pulvimetalurgia para cumplir con los altos requisitos de metales de tierras raras, metales preciosos, superaleaciones y formación de polvo metálico. Su alto punto de fusión y estabilidad química lo convierten en un contenedor insustituible en condiciones extremas.

5.1.1 Fundición de metales de tierras raras y metales preciosos

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la fusión al vacío o en atmósfera inerte de metales de tierras raras (por ejemplo, lantano, cerio, neodimio) y metales preciosos (por ejemplo, oro, platino, rodio) para garantizar una alta pureza y sin contaminación. Los metales de tierras raras se utilizan ampliamente en materiales magnéticos y catalizadores, y los metales preciosos se utilizan en joyería y catálisis industrial.

Requisitos de rendimiento

Resistencia a altas temperaturas: Soporta de 1800 °C a 2800 °C para evitar la deformación o fusión del crisol.

Químicamente inerte: no reactivo a las tierras raras fundidas y metales preciosos, las impurezas introducidas < 10 ppm.

Acabado superficial: $R_a < 0.1 \mu m$, reduciendo la adherencia del metal.

Estabilidad dimensional: coeficiente de dilatación térmica $< 4,5 \times 10^{-6}/K$, desviación dimensional < 0,05 mm.

Vida útil: > 50 ciclos de fusión, la uniformidad del espesor de la pared $\pm 0,02$ mm.

Ventajas tecnológicas

Alta pureza: El crisol de tungsteno garantiza una pureza > del 99,99% del metal fundido, lo que satisface las necesidades de las aplicaciones de alta gama.

Anticorrosión: Resistente a la fuerte reducción de metales de tierras raras y prolonga la vida útil.

Transferencia de calor eficiente: Conductividad térmica $> 100 W/m \cdot K$, calentamiento uniforme de la masa fundida.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Personalización: Se pueden producir crisoles con diámetros de 50 a 500 mm para adaptarse a diferentes tipos de hornos.

Desafíos técnicos

Estrés a alta temperatura: Los ciclos térmicos repetidos pueden provocar microfisuras, que requieren un tratamiento térmico optimizado.

Alto costo: Los crisoles de tungsteno de alta pureza son caros y es necesario equilibrar el rendimiento y la economía.

Limpieza compleja: El residuo después de la fusión debe limpiarse en varias etapas, lo que aumenta la dificultad del proceso.

Limitaciones de tamaño: Los crisoles extra grandes (>500 mm) son difíciles de fabricar y el costo se duplica.

5.1.2 Producción de superaleaciones y superaleaciones

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la fusión por inducción al vacío (VIM) o en la fusión por arco de superaleaciones (como aleaciones a base de níquel, a base de cobalto) y superaleaciones para producir álabes de turbinas de motores aeronáuticos, componentes de turbinas de gas, etc. Las superaleaciones se funden entre 1600 °C y 2000 °C, y los crisoles de tungsteno proporcionan un entorno estable a altas temperaturas.

Requisitos de rendimiento

Resistencia a altas temperaturas: soporta más de 2000 °C, resistencia al choque térmico > 500 ciclos.

Antioxidante: Contenido de oxígeno < 5 ppm en vacío o atmósfera de argón.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 800 MPa, para evitar la deformación a altas temperaturas.

Uniformidad del espesor de la pared: $\pm 0,01$ mm, para garantizar la consistencia del campo térmico.

Resistencia a la abrasión: dureza > HV 400, resistencia a la erosión por fusión.

Ventajas tecnológicas

Estabilidad a alta temperatura: el crisol de tungsteno mantiene la estructura intacta a 2000 °C y la tasa de deformación < 0,1%.

Estabilidad química: no reacciona con níquel, cobalto o elementos añadidos (por ejemplo, niobio, tántalo).

Larga vida útil: Se puede reutilizar de 30 a 50 veces, reduciendo los costos de producción.

Producción eficiente: Admite la fusión de aleaciones de alto volumen para satisfacer las necesidades aeroespaciales.

Desafíos técnicos

Estrés térmico: Los ciclos a alta temperatura conducen a la acumulación de tensión, que debe eliminarse mediante un tratamiento posterior.

Contaminación de la aleación: Las trazas de disolución de tungsteno pueden afectar las propiedades

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

de la superaleación y se requiere un recubrimiento de la superficie.

Dificultad de fabricación: Los crisoles de gran tamaño (>300 mm) deben sinterizarse con precisión y el costo es alto.

Alto consumo de energía: La fundición a alta temperatura consume mucha energía, por lo que es necesario optimizar el diseño del campo térmico.

5.1.3 Metalurgia pulvimetalúrgica y moldeo por inyección

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en el proceso de sinterización de la pulvimetalurgia metálica (PM) y el moldeo por inyección de metales (MIM) para preparar piezas de alto rendimiento (por ejemplo, componentes de aleación de tungsteno, herramientas de carburo de tungsteno). El crisol contiene polvo de tungsteno u otros polvos metálicos a altas temperaturas, lo que garantiza la calidad de la sinterización.

Requisitos de rendimiento

Rendimiento a altas temperaturas: 1600 °C a 2200 °C, resistencia al choque térmico > 300 ciclos.

Estabilidad química: no reacciona con polvos o aglutinantes, impurezas < 20 ppm.

Precisión dimensional: tolerancia del diámetro interior $\pm 0,02$ mm, adecuado para moldes de precisión.

Calidad de la superficie: $Ra < 0,2 \mu m$, para evitar la adhesión del polvo.

Conductividad térmica: $> 120 W/m \cdot K$, sinterización uniforme.

Ventajas tecnológicas

Alta consistencia: El crisol proporciona un campo térmico uniforme con una densidad de > 99% de piezas sinterizadas.

Durabilidad: Puede soportar múltiples ciclos de sinterización y tiene una vida útil > 200 veces.

Flexibilidad: Admite una amplia gama de polvos (por ejemplo, tungsteno, molibdeno, cobalto) para adaptarse a diferentes procesos.

Producción eficiente: Acorte el tiempo de sinterización y aumente el rendimiento de las piezas.

Desafíos técnicos

Contaminación por polvo: La volatilización del aglutinante puede contaminar el crisol y debe limpiarse regularmente.

Expansión térmica: La diferencia en la expansión térmica entre el crisol y el polvo puede provocar estrés, y es necesario optimizar el diseño.

Requisitos de miniaturización: Es difícil fabricar crisoles pequeños (<50 mm) para MIM.

Control de costos: Los crisoles de alto rendimiento deben equilibrar el rendimiento y la economía.

5.2 Industria de semiconductores y electrónica

Los crisoles de tungsteno se utilizan en las industrias de semiconductores y electrónica para el crecimiento de cristales, la preparación de semiconductores compuestos, la deposición de películas delgadas y la gestión térmica, y su alta pureza y resistencia a altas temperaturas cumple con los

estrictos requisitos de la industria microelectrónica para la limpieza y estabilidad del material.

5.2.1 Crecimiento cristalino de silicio monocristalino y zafiro (método de Czochralski, método de Kyropoulos)

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en los métodos Czochralski (CZ) y Kyropoulos (KY) para el crecimiento de silicio monocristalino y zafiro (Al_2O_3), para la producción de obleas de silicio (fotovoltaica, circuitos integrados) y sustratos de zafiro (LED, láseres). Los crisoles se someten a altas temperaturas de 1600 °C a 2000 °C y a la corrosión por fusión.

Requisitos de rendimiento

Pureza ultra alta: la pureza del tungsteno > del 99,999% y las impurezas < 1 ppb para evitar defectos de cristal.

Resistencia a altas temperaturas: 1800 °C a 2000 °C, choque térmico > 1000 veces.

Acabado superficial: $R_a < 0.05\mu m$, reduce las inclusiones de cristales.

Estabilidad dimensional: diámetro de 100 a 500 mm, desviación del espesor de la pared $\pm 0,01$ mm.

Resistente a la corrosión: Resistente al ataque químico del silicio fundido y la alúmina.

Ventajas tecnológicas

Cristales de alta pureza: Los crisoles de tungsteno reducen la introducción de impurezas a 0,1 ppb y < tasa de defectos de cristal del 0,01%.

Larga vida útil: Se puede reutilizar de 50 a 100 veces, reduciendo los costos de producción.

Campo térmico uniforme: conductividad térmica > 110 W/m·K para garantizar un crecimiento constante de los cristales.

Soporte de gran tamaño: satisface las necesidades de obleas de silicio de 300 mm y grandes cristales de zafiro.

Desafíos técnicos

Deformación a alta temperatura: La alta temperatura a largo plazo puede causar microdeformación del crisol y es necesario optimizar el grosor de la pared.

Adhesión del silicio: El silicio fundido puede adherirse a los crisoles y requiere un recubrimiento o limpieza especial.

Alto costo: el crisol de tungsteno de ultra alta pureza tiene un alto costo de fabricación y debe producirse a gran escala.

Estrés térmico: El rápido aumento y descenso de la temperatura puede causar grietas, y el control de la temperatura debe controlarse por etapas.

5.2.2 Preparación de materiales semiconductores compuestos (GaAs, GaN)

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en epitaxia en fase líquida (LPE) o Brinell horizontal (HB) para cultivar semiconductores compuestos como arseniuro de galio (GaAs, chips 5G), nitruro de galio (GaN, dispositivos de potencia). Los crisoles deben soportar de 1400 °C a 1800 °C y fundidos

corrosivos.

Requisitos de rendimiento

Estabilidad química: no reacciona con galio, arsénico o nitrógeno fundidos, impurezas < 5 ppb.

Rendimiento a alta temperatura: 1500 °C a 1800 °C, choque térmico > 500 veces.

Calidad de la superficie: Ra<0,1 μm, para evitar defectos de cristal.

Precisión dimensional: tolerancia del diámetro interior ±0,02 mm, adecuada para el crecimiento de cristales de precisión.

Anti-oxidación: Contenido de oxígeno < 1 ppm en vacío o atmósfera inerte.

Ventajas tecnológicas

Cristales de alta pureza: El crisol garantiza > 99,9999% de pureza de GaAs y GaN.

Crecimiento eficiente: El campo térmico uniforme aumenta el rendimiento de cristales en un 20%.

Resistencia a la corrosión: Resistente a la fuerte corrosión de arsénico y galio, con una vida útil > 50 veces.

Personalización: Admite crisoles pequeños (50 mm) a medianos (200 mm).

Desafíos técnicos

Riesgo de corrosión: El arsénico fundido puede erosionar el crisol y requiere un refuerzo de la superficie.

Control de atmósfera: se requiere gas inerte de alta pureza, lo que aumenta los costos operativos.

Defectos menores: Una rugosidad superficial ligeramente mayor puede causar dislocaciones de cristales.

Alto costo: el precio de los crisoles de tungsteno de alta pureza es alto y es necesario optimizar el proceso de producción.

5.2.3 PVD y CVD

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la deposición física de vapor (PVD) y la deposición química de vapor (CVD) para evaporar o depositar de forma reactiva materiales de película delgada (por ejemplo, metales, cerámicas, óxidos) para la fabricación de chips, pantallas y recubrimientos ópticos. Los crisoles deben soportar de 1200 °C a 2000 °C y gases reactivos.

Requisitos de rendimiento

Estabilidad a alta temperatura: 1500 °C a 2000 °C sin volatilización ni descomposición.

Químicamente inerte: Resistente a gases de reacción como cloruro y fluoruro, impurezas < 10 ppb.

Conductividad térmica: >100 W/m·K para asegurar una evaporación uniforme.

Rango de tamaños: diámetro de 20 a 200 mm, espesor de pared de 1 a 5 mm.

Acabado de la superficie: Ra <0,2 μm para evitar salpicaduras de material.

Ventajas tecnológicas

Películas de alta pureza: Los crisoles introducen impurezas de hasta 1 ppb para cumplir con los

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

requisitos de virutas.

Deposición eficiente: El campo térmico uniforme aumenta la tasa de deposición en un 30%.

Soporte multimaterial: adecuado para la evaporación de titanio, aluminio, silicio y otros materiales.

Larga vida útil: Se puede reutilizar más de 100 veces, reduciendo costes.

Desafíos técnicos

Corrosión por gas: Los gases de reacción CVD pueden corroer los crisoles y deben protegerse con recubrimientos.

Control de temperatura: Se requiere un control preciso de la temperatura (± 2 °C) para evitar una deposición desigual.

Miniaturización: Los microcrisoles (<20 mm) son difíciles de fabricar y costosos.

Limpieza compleja: El residuo depositado debe limpiarse en varias etapas, lo que aumenta el proceso.

5.2.4 Embalaje microelectrónico y gestión térmica

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la sinterización a alta temperatura y la gestión térmica en envases microelectrónicos, la preparación de sustratos de alta conductividad térmica (como los compuestos de tungsteno-cobre) o disipadores de calor, y se utilizan en chips de alta potencia y envases LED. Los crisoles deben soportar de 1000 °C a 1500 °C.

Requisitos de rendimiento

Conductividad térmica: > 120 W/m·K, rápida disipación de calor.

Estabilidad química: no reacciona con cobre, plata y otros materiales de encapsulación, impurezas < 20 ppm.

Precisión dimensional: tolerancia $\pm 0,01$ mm, adecuada para moldes de precisión.

Calidad de la superficie: $R_a < 0,1$ μ m, evita que el material se pegue.

Resistencia al choque térmico: > 300 ciclos, sin grietas.

Ventajas tecnológicas

Disipación de calor eficiente: Admite el funcionamiento de chips de alta potencia con una resistencia térmica de $< 0,5$ K/W.

Alta fiabilidad: El crisol garantiza que la pureza del material de encapsulación $>$ del 99,99%.

Miniaturización: Soporte micro crisol (<30mm) para adaptarse al empaquetado de chips.

Larga vida útil: 50 a 80 veces de reutilización, reduciendo costos.

Desafíos técnicos

Microfabricación: Los crisoles pequeños requieren un mecanizado de alta precisión y son costosos.

Expansión térmica: La diferencia en la expansión térmica entre el tungsteno y el material de encapsulación puede causar estrés.

Contaminación de la superficie: Se requiere un entorno ultralimpio para evitar la contaminación por partículas.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Control del consumo de energía: La sinterización a alta temperatura tiene un alto consumo de energía y el proceso debe optimizarse.

5.3 Industria química

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la industria química para la síntesis de catalizadores a alta temperatura, reacciones corrosivas fuertes y refinación química de alta pureza, y su resistencia a la corrosión y estabilidad a alta temperatura cumplen con los requisitos de entornos químicos hostiles.

5.3.1 Síntesis de catalizadores a alta temperatura

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en catalizadores de síntesis a alta temperatura (como catalizadores a base de platino y paladio), catálisis petroquímica y de protección del medio ambiente. Los crisoles deben soportar entre 1200 °C y 1800 °C y gases reactivos (por ejemplo, amoníaco, cloro).

Requisitos de rendimiento

Resistencia a la corrosión: resistente a gases ácidos, alcalinos y oxidantes, la pérdida superficial < 0,01 mm / año.

Rendimiento a alta temperatura: 1500 °C a 1800 °C, choque térmico > 200 veces.

Químicamente inerte: no reacciona con precursores catalizadores, impurezas < 10 ppm.

Acabado superficial: $Ra < 0,2 \mu m$, para evitar la adhesión del catalizador.

Rango de tamaños: diámetro de 50 a 300 mm, espesor de pared de 2 a 10 mm.

Ventajas tecnológicas

Catalizador de alta pureza: El crisol reduce la introducción de impurezas a 5 ppm, lo que garantiza la eficiencia catalítica.

Durabilidad: Se puede reutilizar más de 50 veces, reduciendo los costes de producción.

Calentamiento uniforme: Conductividad térmica > 100 W/m·K para mejorar la consistencia de la síntesis.

Flexibilidad: Admite una amplia gama de sistemas de catalizadores (por ejemplo, metales preciosos, óxidos).

Desafíos técnicos

Corrosión por gas: El cloro o el amoníaco pueden erosionar el crisol y requerir un refuerzo de la superficie.

Volatilización a alta temperatura: Algunos precursores del catalizador pueden depositarse y deben limpiarse regularmente.

Alto costo: Los crisoles de tungsteno altamente resistentes a la corrosión son costosos de fabricar y deben optimizarse.

Control de atmósfera: se requiere gas inerte de alta pureza, lo que aumenta los costos operativos.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.3.2 Recipientes de reacción química altamente corrosivos

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan como contenedores para reacciones químicas corrosivas fuertes para tratar ácidos fuertes (como ácido nítrico, ácido fluorhídrico), álcalis fuertes o sales fundidas a alta temperatura en la producción de productos químicos especializados. Los crisoles deben soportar de 1000 °C a 1600 °C y entornos químicos extremos.

Requisitos de rendimiento

Resistente a la corrosión: Resistente a productos químicos de pH 0 a 14 con una tasa de corrosión de <0,005 mm/año.

Estabilidad a alta temperatura: 1200 °C a 1600 °C, sin volatilización ni descomposición.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 600 MPa, evitando la rotura del envase.

Calidad de la superficie: Ra <0,1 µm, reduciendo el residuo de reactivo.

Uniformidad del espesor de la pared: ±0,02 mm, para garantizar la resistencia a la presión.

Ventajas tecnológicas

Extremadamente resistente a la corrosión: soporta fuertes reacciones ácido-base, la vida útil del crisol > 100 veces.

Alta seguridad: Químicamente inerte garantiza procesos de reacción libres de contaminación.

Versátil: Adecuado para sales fundidas, soluciones ácidas y reacciones de gases a alta temperatura.

Producción eficiente: el campo térmico uniforme aumenta la velocidad de reacción en un 20%.

Desafíos técnicos

Corrosión extrema: El ácido fluorhídrico puede causar microcorrosión y requiere un recubrimiento especial.

Dificultad de limpieza: El residuo de la reacción debe limpiarse en varias etapas, lo que aumenta el proceso.

Estrés a alta temperatura: La rampa rápida y la caída de la temperatura pueden provocar grietas, y es necesario optimizar el tratamiento térmico.

Alto costo: Los crisoles de alta resistencia a la corrosión requieren tungsteno de ultra alta pureza, que es costoso.

5.3.3 Refinación y refinación de productos químicos de alta pureza

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la destilación al vacío o la sublimación de productos químicos de alta pureza (como silicio, boro y fósforo de alta pureza) en las industrias de semiconductores y fotovoltaica. El crisol debe tener una pureza ultra alta y estar libre de contaminación.

Requisitos de rendimiento

Pureza ultra alta: pureza de tungsteno > 99,9999%, impurezas < 0,1 ppb.

Rendimiento a alta temperatura: 1400 °C a 1800 °C, choque térmico > 300 veces.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Acabado superficial: $Ra < 0.05 \mu m$, evita la adherencia química.

Estabilidad química: no reacciona con vapores ni se funde, contamina < 1 ppb.

Precisión dimensional: tolerancia $\pm 0,01$ mm, adecuada para equipos de precisión.

Ventajas tecnológicas

Pureza ultra alta: El crisol reduce las impurezas químicas a 0,05 ppb para cumplir con los requisitos de los semiconductores.

Larga vida útil: se puede reutilizar de 80 a 120 veces, lo que reduce los costos.

Refinación eficiente: El campo térmico uniforme mejora la eficiencia de refinación en un 25%.

Personalización: Admite crisoles pequeños (20 mm) a medianos (150 mm).

Desafíos técnicos

Requisitos de ultralimpieza: Se requiere producción y limpieza de salas limpias ISO Clase 4.

Volatilización a alta temperatura: Las trazas de volatilización de tungsteno pueden contaminar los productos químicos y deben protegerse con recubrimientos.

Dificultad de fabricación: El crisol de tungsteno de ultra alta pureza requiere un proceso complejo y un alto costo.

Control de atmósfera: Se requiere un vacío ultra alto (10^{-6} Pa), lo que aumenta los requisitos del equipo.

5.4 Investigación científica

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la investigación científica para pruebas de materiales a alta temperatura, simulación de entornos extremos, síntesis de materiales avanzados y experimentos de radiación de sincrotrón, y su alta estabilidad y durabilidad respaldan la exploración científica de vanguardia.

5.4.1 Ensayos de rendimiento de materiales de alta temperatura

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para probar el punto de fusión, la estabilidad térmica, la resistencia a la oxidación y las propiedades mecánicas de nuevos materiales, y se utilizan en la investigación de ciencia e ingeniería de materiales. El rango de temperatura de prueba es de 1500 °C a 3000 °C.

Requisitos de rendimiento

Temperatura extremadamente alta: soporta de 2800 °C a 3000 °C, resistente al choque térmico > 200 veces.

Químicamente inerte: no reacciona con los materiales de prueba, las impurezas < 10 ppm.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 700 MPa, resistente a la rotura a alta temperatura.

Tamaño flexible: de 20 a 200 mm de diámetro, adecuado para diferentes experimentos.

Conductividad térmica: > 100 W/m·K para garantizar un calentamiento uniforme.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Ventajas tecnológicas

Soporte a altas temperaturas: cerca del punto de fusión del tungsteno (3422 °C) para necesidades de prueba extremas.

Alta confiabilidad: la estructura del crisol es estable y la consistencia de los datos experimentales > del 99,5%.

Compatible con múltiples materiales: Admite pruebas de metales, cerámicas y compuestos.

Larga vida: de 50 a 100 reutilizaciones, reduciendo el coste de los experimentos.

Desafíos técnicos

Deformación a alta temperatura: Puede deformarse ligeramente cuando está cerca del punto de fusión y es necesario optimizar el diseño.

Contaminación del material: Las trazas de volatilización del tungsteno pueden afectar la prueba y deben protegerse con un recubrimiento.

Miniaturización: Los microcrisoles (<20 mm) son difíciles de fabricar y costosos.

Control de la atmósfera: Se requiere vacío de alta pureza o gas inerte, lo que aumenta la complejidad del experimento.

5.4.2 Experimentos de simulación en entornos extremos

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para simular entornos extremos (por ejemplo, reactores nucleares, atmósferas planetarias) y probar el rendimiento de materiales a alta temperatura, alta presión o condiciones corrosivas. La temperatura experimental es de 1500 °C a 2800 °C, y la atmósfera incluye gases de vacío, oxidantes o reductores.

Requisitos de rendimiento

Resistencia a altas temperaturas: 2500 °C a 2800 °C, choque térmico > 300 veces.

Resistencia a la corrosión: Resistente a la oxidación, la reducción y los entornos de plasma, la tasa de corrosión < de 0,01 mm / año.

Estabilidad mecánica: resistencia a la compresión > 1000 MPa para evitar roturas.

Calidad de la superficie: Ra <0,1 µm, lo que reduce la interacción del material.

Compatible con atmósfera: Se admite vacío (10^{-5} Pa) o alta presión (>10 MPa).

Ventajas tecnológicas

Tolerancia extrema: Admite condiciones experimentales cercanas al punto de fusión para la investigación nuclear y aeroespacial.

Alta confiabilidad: el rendimiento del crisol es estable y la repetibilidad experimental es > 99%.

Flexibilidad: Adáptese a una variedad de atmósferas y presiones para cumplir con experimentos complejos.

Larga vida útil: de 50 a 80 veces se puede reutilizar, lo que reduce los costos.

Desafíos técnicos

Entorno complejo: Las atmósferas y presiones variables dificultan el diseño de los crisoles.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Estrés a altas temperaturas: Las condiciones extremas pueden causar microfisuras y requieren un tratamiento posterior.

Alto costo: Los crisoles de tungsteno de alto rendimiento son costosos de fabricar y deben optimizarse.

Dificultad de detección: El estado del crisol debe ser una prueba no destructiva después del experimento y los requisitos técnicos son altos.

5.4.3 Síntesis y caracterización de materiales avanzados

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para sintetizar materiales avanzados (como aleaciones de alta entropía, materiales superconductores, nanomateriales) y caracterizar sus propiedades físicas a altas temperaturas. El crisol proporciona un entorno estable a alta temperatura para garantizar la pureza de la síntesis del material.

Requisitos de rendimiento

Temperatura ultra alta: temperatura de síntesis de hasta 2500 °C, choque térmico > 200 veces.

Requisitos de pureza: 1 ppm < impurezas para evitar la contaminación del material.

Calentamiento uniforme: La conductividad térmica > 120 W/m·K para garantizar la consistencia de la síntesis.

Control de atmósfera: Atmósferas oxidantes y reductoras ajustables para respaldar la caracterización fina.

Ventajas tecnológicas

Pureza del material: El crisol no participa en reacciones químicas, lo que garantiza la calidad del material.

Alta estabilidad: Se puede sintetizar de manera estable a altas temperaturas para garantizar propiedades consistentes del material.

Versatilidad: Admite una variedad de métodos de síntesis, como superaleación, deposición de vapor.

Larga vida útil: se puede reutilizar de 50 a 100 veces, lo que reduce los costos.

Desafíos técnicos

Control de la atmósfera: Se requiere un control preciso de la atmósfera, lo que aumenta la complejidad del experimento.

Dificultad de síntesis: Las fluctuaciones de temperatura durante la síntesis pueden afectar la estructura del material.

Volatilización a alta temperatura: Los materiales de tungsteno se volatilizan en pequeñas cantidades a altas temperaturas, por lo que es necesario optimizar el diseño.

5.4.4 Radiación de sincrotrón y experimentos de dispersión de neutrones

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en experimentos de radiación de sincrotrón y dispersión de neutrones para acomodar muestras de alta temperatura (por ejemplo, metales, cerámicas) para

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

análisis estructurales y físicos. La temperatura experimental es de 1000 °C a 2000 °C, lo que requiere una alta estabilidad y una baja interferencia de fondo.

Requisitos de rendimiento

Estabilidad a alta temperatura: 1500 °C a 2000 °C sin volatilización ni descomposición.

Fondo bajo: pureza del tungsteno > 99,99%, lo que reduce la interferencia de dispersión de rayos X o neutrones.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 600 MPa, resistente a la rotura a alta temperatura.

Precisión dimensional: tolerancia $\pm 0,01$ mm, adecuada para instrumentos de precisión.

Calidad de la superficie: Ra < 0,1 μ m, lo que reduce la contaminación de la muestra.

Ventajas tecnológicas

Baja interferencia: el tungsteno de alta pureza reduce el ruido de fondo del experimento y la precisión de los datos > del 99,5%.

Soporte de alta temperatura: Satisface las necesidades de alta temperatura de la radiación de sincrotrón y la dispersión de neutrones.

Alta confiabilidad: la estructura del crisol es estable y la repetibilidad experimental es > 99%.

Personalización: Admite crisoles micro (10 mm) a medianos (100 mm).

Desafíos técnicos

Pureza ultra alta: se requiere tungsteno del 99,999% y el costo de fabricación es alto.

Volatilización a alta temperatura: Las trazas de volatilización de tungsteno pueden interferir con los datos y deben protegerse con recubrimientos.

Miniaturización: Los microcrisoles requieren un mecanizado de alta precisión, lo cual es difícil.

Complejidad experimental: Es necesario que se adapte sin problemas a los equipos de radiación de sincrotrón.

5.5 Aeroespacial y Defensa

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la industria aeroespacial y de defensa para la fabricación de componentes a alta temperatura, pruebas de materiales y sistemas de control térmico con su alto punto de fusión y resistencia mecánica para cumplir con los requisitos ambientales extremos.

5.5.1 Fabricación de toberas y cámaras de combustión para motores de cohetes

Descripción general de la aplicación

El crisol de tungsteno se utiliza para la fundición y sinterización de toberas de motores de cohetes y materiales de cámaras de combustión para preparar compuestos o superaleaciones de matriz de tungsteno, que pueden soportar temperaturas de combustión superiores a 3000 °C.

Requisitos de rendimiento

Temperatura extremadamente alta: 2800 °C a 3100 °C, resistente al choque térmico > 200 veces.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 1000 MPa, para evitar roturas a alta temperatura.

Antioxidante: vacío o atmósfera de argón, contenido de oxígeno < 1 ppm.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Estabilidad dimensional: desviación del espesor de la pared $\pm 0,01$ mm, dilatación térmica $< 4,5 \times 10^{-6}/K$.

Resistencia a la abrasión: dureza $> HV 500$, resistencia al lavado de aire a alta temperatura.

Ventajas tecnológicas

Resistencia a altas temperaturas: cerca del punto de fusión del tungsteno, lo que soporta entornos de combustión extremos.

Alta fiabilidad: El crisol garantiza que la pureza del material sea $>$ del 99,99% y que el rendimiento sea constante.

Larga vida útil: de 30 a 50 veces la reutilización, reduciendo los costos de producción.

Soporte de gran tamaño: 300 a 500 mm de diámetro para satisfacer las necesidades de componentes grandes.

Desafíos técnicos

Estrés a alta temperatura: Pueden producirse microfisuras cerca del punto de fusión y es necesario optimizar el tratamiento térmico.

Riesgo de oxidación: se requiere un vacío ultra alto o gas inerte, lo que aumenta los costos.

Dificultad de fabricación: Los crisoles de tungsteno de gran tamaño y alta pureza tienen un proceso complejo y de alto costo.

Limpieza compleja: los residuos a alta temperatura deben limpiarse en varias etapas, lo que aumenta el proceso.

5.5.2 Ensayos de materiales estructurales de alta temperatura

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para probar el rendimiento de materiales estructurales de alta temperatura (por ejemplo, aleaciones de tungsteno, compuestos de matriz cerámica) para aplicaciones aeroespaciales, simulando entornos de motor o reentrada a temperaturas que oscilan entre 2000 °C y 3000 °C.

Requisitos de rendimiento

Temperatura extremadamente alta: 2500 °C a 3000 °C, resistente al choque térmico > 200 veces.

Químicamente inerte: no reacciona con los materiales de prueba, las impurezas < 5 ppm.

Resistencia mecánica: resistencia a la compresión > 1200 MPa, para evitar roturas.

Conductividad térmica: > 100 W/m·K para garantizar un calentamiento uniforme.

Tamaño flexible: de 20 a 200 mm de diámetro, adecuado para diferentes experimentos.

Ventajas tecnológicas

Soporte de alta temperatura: cerca del punto de fusión de tungsteno, cumpla con la simulación del entorno de reentrada.

Alta fiabilidad: el rendimiento del crisol es estable y la consistencia de los datos de prueba $>$ del 99,5%.

Compatible con múltiples materiales: Admite pruebas de metales, cerámicas y compuestos.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Larga vida: de 50 a 80 reutilizaciones, reduciendo el coste de los experimentos.

Desafíos técnicos

Deformación a alta temperatura: La alta temperatura a largo plazo puede provocar microdeformación y es necesario optimizar el diseño.

Contaminación del material: Las trazas de volatilización del tungsteno pueden afectar la prueba y deben protegerse con un recubrimiento.

Miniaturización: Los microcrisoles (<20 mm) son difíciles de fabricar y costosos.

Control de atmósfera: Se requiere vacío de alta pureza o gas inerte, lo que agrega complejidad.

5.5.3 Componentes de equipos militares de alta temperatura

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la fusión y sinterización de componentes de equipos militares de alta temperatura, como boquillas de misiles, materiales de armadura y sensores de alta temperatura, y soportan de 2000 °C a 2800 °C.

Requisitos de rendimiento

Rendimiento a alta temperatura: 2500 °C a 2800 °C, choque térmico > 200 veces.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 1000 MPa para evitar roturas.

Antioxidante: vacío o atmósfera de argón, contenido de oxígeno < 1 ppm.

Resistencia a la abrasión: dureza > HV 500, resistencia a la erosión a alta temperatura.

Precisión dimensional: tolerancia $\pm 0,01$ mm, adecuada para piezas de precisión.

Ventajas tecnológicas

Resistencia a altas temperaturas: admite entornos militares extremos, rendimiento estable.

Alta pureza: El crisol garantiza que la pureza del material sea > 99,99%, lo que cumple con el estándar militar.

Larga vida útil: 40 a 60 veces la reutilización, reduciendo los costos de producción.

Personalización: Soporta geometrías complejas y crisoles pequeños (<50mm).

Desafíos técnicos

Estrés a alta temperatura: La rampa rápida y la caída de la temperatura pueden causar grietas, y es necesario optimizar el tratamiento térmico.

Costo de fabricación: el precio del crisol de tungsteno de alta pureza es alto y se requiere una producción a gran escala.

Limpieza compleja: Los residuos de material militar necesitan una limpieza especial para aumentar el proceso.

Requisitos de confidencialidad: Las aplicaciones militares requieren una estricta gestión de datos y procesos.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.5.4 Sistema de control térmico por satélite

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la sinterización y prueba de materiales para sistemas de control térmico satelital, y para la preparación de compuestos de matriz de tungsteno de alta conductividad térmica (como el cobre de tungsteno) para disipadores de calor y tubos de calor, que pueden soportar de 1000 °C a 1500 °C.

Requisitos de rendimiento

Conductividad térmica: >120 W/m·K, rápida disipación de calor.

Estabilidad química: no reacciona con cobre, plata, etc., impurezas < 10 ppm.

Precisión dimensional: tolerancia ±0,01 mm, adecuada para moldes de precisión.

Calidad de la superficie: Ra <0,1 μm, evita que el material se pegue.

Resistencia al choque térmico: > 300 ciclos, sin grietas.

Ventajas tecnológicas

Disipación de calor eficiente: Admite dispositivos satelitales de alta potencia con una resistencia térmica de < 0,5 K/W.

Alta fiabilidad: El crisol garantiza que la pureza del material > del 99,99%.

Miniaturización: Micro crisol de soporte (<30mm) para adaptarse a la fabricación de tubos de calor.

Larga vida útil: 50 a 80 veces de reutilización, reduciendo costos.

Desafíos técnicos

Microfabricación: Los crisoles pequeños requieren un mecanizado de alta precisión y son costosos.

Expansión térmica: La diferencia en la expansión térmica entre el tungsteno y los materiales compuestos puede provocar estrés.

Contaminación de la superficie: Se requiere un entorno ultralimpio para evitar la contaminación por partículas.

Control del consumo de energía: La sinterización a alta temperatura tiene un alto consumo de energía y el proceso debe optimizarse.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.6 Industria energética

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la industria energética en reactores nucleares, energía fotovoltaica, pilas de combustible y fusión nuclear, donde su rendimiento a altas temperaturas y su resistencia a la radiación cumplen con los exigentes requisitos de la tecnología energética.

5.6.1 Componentes de alta temperatura de los reactores nucleares

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la fusión y sinterización de componentes de alta temperatura de reactores nucleares (como barras de control e intercambiadores de calor) para preparar materiales a base de tungsteno, que pueden soportar de 2000 °C a 2800 °C y entornos de fuerte radiación.

Requisitos de rendimiento

Temperatura extremadamente alta: 2500 °C a 2800 °C, > 200 veces de choque térmico.

Resistencia a la radiación: Resistente a la radiación neutrónica y gamma, atenuación del rendimiento <5% (10 años).

Estabilidad química: no reacciona con sodio o uranio fundido, impurezas < 5 ppm.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 1000 MPa para evitar roturas.

Estabilidad dimensional: desviación del espesor de la pared $\pm 0,01$ mm, dilatación térmica < $4,5 \times 10^{-6}/K$.

Ventajas tecnológicas

Resistencia a altas temperaturas: soporta el entorno extremo de los reactores nucleares y un rendimiento estable.

Resistencia a la radiación: Resistente a la radiación de alta energía, adecuado para aplicaciones de energía nuclear.

Larga vida útil: de 30 a 50 veces la reutilización, reduciendo los costos de producción.

Alta pureza: El crisol garantiza que la pureza del material > del 99,99%.

Desafíos técnicos

Envejecimiento por radiación: La alta radiación puede causar el deterioro del material y es necesario controlar el tiempo de exposición.

Riesgo de oxidación: Se requiere alto vacío o gas inerte para evitar la oxidación.

Dificultad de fabricación: El costo de producción del crisol de tungsteno de alta pureza es alto y el proceso es complejo.

5.6.2 Fabricación de materiales solares fotovoltaicos

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la sinterización y fusión de materiales solares fotovoltaicos, como las células solares de perovskita, y soportan altas temperaturas de 1000 °C a 1500 °C.

Requisitos de rendimiento

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Rendimiento a alta temperatura: >1200 °C, fuerte estabilidad.

Químicamente inerte: no reacciona con materiales de perovskita, impurezas < 5 ppm.

Precisión dimensional: tolerancia $\pm 0,01$ mm, adecuada para moldes de precisión.

Calidad de la superficie: Ra<0.1 μ m, evita la contaminación del material.

Ventajas tecnológicas

Estabilidad a alta temperatura: admite la fabricación de materiales fotovoltaicos de alta eficiencia y el rendimiento es estable.

Alta pureza: El crisol garantiza que la pureza del material > del 99,99%.

Larga vida útil: de 30 a 50 veces la reutilización, reduciendo los costos de producción.

Desafíos técnicos

Requisitos de alta pureza: El crisol debe mantener una alta pureza para evitar la contaminación.

Control de alta temperatura: Se requiere un sistema de control de temperatura preciso para evitar el sobrecalentamiento.

Fabricación miniaturizada: los crisoles pequeños son difíciles y caros de fabricar.

5.6.3 Fabricación de componentes de reactores de fusión nuclear

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la sinterización y fusión de los componentes de los reactores de fusión nuclear, como el primer material de pared de los reactores tokamak, y se someten a temperaturas y radiación extremadamente altas.

Requisitos de rendimiento

Temperatura extremadamente alta: 2800 °C a 3000 °C, resistente al choque térmico > 500 veces.

Resistencia a la radiación: Resistencia a la radiación neutrónica, atenuación <2% (100 años).

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 1200 MPa, para evitar roturas.

Estabilidad química: no reacciona con el deuterio y el tritio, y las impurezas < 5 ppm.

Precisión dimensional: tolerancia $\pm 0,01$ mm, adecuada para el diseño de precisión.

Ventajas tecnológicas

Temperatura extremadamente alta: cerca del punto de fusión de tungsteno, apoyando el entorno de fusión.

Resistencia a la radiación: Resistente a la radiación de neutrones, adecuado para uso a largo plazo.

Alta pureza: El crisol garantiza que la pureza del material > del 99,99%.

Larga vida útil: de 50 a 100 veces de reutilización, reduciendo los costos de producción.

Desafíos técnicos

Estrés a alta temperatura: El uso a largo plazo puede provocar estrés térmico y es necesario optimizar el diseño estructural.

Efectos de la radiación: La radiación de neutrones tiene un mayor impacto en el rendimiento del crisol.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

5.6.4 Materiales de los reactores de fusión nuclear

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la fusión y sinterización de materiales de reactores de fusión nuclear, como materiales de revestimiento de plasma a base de tungsteno, PFM, y soportan de 2500 °C a 3000 °C y fuertes impactos de plasma.

Requisitos de rendimiento

Temperatura extremadamente alta: 2800 °C a 3000 °C, resistente al choque térmico > 200 veces.

Resistencia a la radiación: Resistente al bombardeo de neutrones y plasma, atenuación del rendimiento <3% (10 años).

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 1200 MPa, para evitar roturas.

Resistencia a la corrosión: resistente al helio y al plasma de hidrógeno, la tasa de corrosión < 0,005 mm / año.

Estabilidad dimensional: desviación del espesor de la pared $\pm 0,01$ mm, dilatación térmica < $4,5 \times 10^{-6}/K$.

Ventajas tecnológicas

Resistencia a altas temperaturas: cerca del punto de fusión del tungsteno para satisfacer las necesidades del entorno de fusión.

Resistencia a la radiación: El crisol de tungsteno garantiza la estabilidad a largo plazo del material y cumple con los requisitos del ITER.

Alta pureza: Las impurezas se introducen < 1 ppm para garantizar el rendimiento del PFM.

Larga vida útil: de 30 a 50 veces la reutilización, reduciendo los costos.

Desafíos técnicos

Choque de plasma: El plasma fuerte puede causar daños en la superficie y requiere protección del recubrimiento.

Estrés a alta temperatura: Pueden producirse microfisuras cerca del punto de fusión y es necesario optimizar el tratamiento térmico.

Costo de fabricación: El crisol de tungsteno de ultra alta pureza tiene un precio alto y debe producirse a gran escala.

Limpieza compleja: Los residuos de material de fusión necesitan una limpieza especial para aumentar el proceso.

5.7 Aplicaciones emergentes e intersectoriales

Los crisoles de tungsteno han mostrado ventajas únicas en campos emergentes como la joyería de alta gama, la medicina, la impresión 3D y la tecnología cuántica, ampliando sus límites de aplicación.

5.7.1 Joyería de alta gama y fabricación de lujo

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan en joyería de alta gama y fabricación de lujo para fundir metales preciosos (por ejemplo, platino, oro) y piedras preciosas sintéticas (por ejemplo, diamantes

artificiales, zafiros) y resisten de 1400 °C a 2000 °C.

Requisitos de rendimiento

Alta pureza: pureza de tungsteno > 99,99%, impurezas < 10 ppm.

Resistencia a altas temperaturas: 1600 ° C a 2000 ° C, choque térmico > 200 veces.

Acabado superficial: Ra<0.05 μ m, para evitar la adherencia del metal.

Precisión dimensional: tolerancia ±0,01 mm, adecuada para moldes de precisión.

Estabilidad química: No reacciona con metales preciosos o piedras preciosas.

Ventajas tecnológicas

Producto de alta pureza: El crisol reduce la introducción de impurezas a 5 ppm, lo que garantiza la calidad de la joyería.

Campo térmico uniforme: mejora la consistencia de las piedras preciosas y los metales, y la tasa de defectos < 0,1%.

Larga vida útil: 50 a 80 veces de reutilización, reduciendo costos.

Personalización: Admite crisoles pequeños (20 mm) a medianos (100 mm).

Desafíos técnicos

Contaminación de la superficie: Se requiere un entorno ultralimpio para evitar la contaminación por partículas.

Volatilización a alta temperatura: Las trazas de volatilización de tungsteno pueden afectar las piedras preciosas y se requiere protección del recubrimiento.

Miniaturización: Los microcrisoles son difíciles de fabricar y costosos.

Control de costos: los crisoles de tungsteno de alta pureza deben equilibrar el rendimiento y la economía.

5.7.2 Producción de implantes y dispositivos médicos

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan para la fusión y sinterización de implantes médicos (como aleaciones de titanio, aleaciones de cobalto-cromo) y piezas de dispositivos, la preparación de implantes óseos, stents cardíacos, etc., y soportan de 1200 °C a 1800 °C.

Requisitos de rendimiento

Pureza ultra alta: pureza de tungsteno > 99.999%, impurezas < 1 ppb.

Resistencia a altas temperaturas: 1400 °C a 1800 °C, choque térmico > 200 veces.

Calidad de la superficie: Ra<0.05μm, evita la contaminación del material.

Estabilidad química: no reacciona con titanio, cromo, etc., y < contaminación de 1 ppb.

Precisión dimensional: tolerancia ±0,01 mm, adecuada para moldes de precisión.

Ventajas tecnológicas

Biocompatibilidad: El crisol garantiza que la pureza del material > del 99,999% y cumpla con los

estándares médicos.

Campo térmico uniforme: mejora la consistencia del implante, tasa de defectos < 0,05%.

Larga vida útil: de 60 a 100 veces de reutilización, reduciendo costos.

Miniaturización: Admite crisoles en miniatura (<30mm) para adaptarse a los componentes médicos.

Desafíos técnicos

Requisitos de ultralimpieza: se requiere producción y limpieza de salas limpias ISO Clase 3.

Volatilización a alta temperatura: trazas de volatilización de tungsteno pueden contaminar el material y deben protegerse mediante un recubrimiento.

Costo de fabricación: El crisol de tungsteno de ultra alta pureza tiene un precio alto y el proceso debe optimizarse.

Altamente regulado: Las aplicaciones médicas están sujetas a las normas FDA e ISO 13485.

5.7.3 Moldes de alta temperatura en impresión 3D y fabricación aditiva

Descripción general de la aplicación

Los crisoles de tungsteno se utilizan como moldes de alta temperatura en la impresión 3D y la fabricación aditiva para contener polvos metálicos (por ejemplo, titanio, aleaciones de tungsteno) para la fusión selectiva por láser (SLM) o la fusión por haz de electrones (EBM) y soportan de 1500 °C a 2200 °C.

Requisitos de rendimiento

Rendimiento a alta temperatura: 1800 ° C a 2200 ° C, choque térmico > 300 veces.

Estabilidad química: no reacciona con metal fundido, impurezas < 10 ppm.

Acabado superficial: Ra<0.1 μ m, evita la adhesión del polvo.

Precisión dimensional: Tolerancia ±0,02 mm, adecuada para moldes de precisión.

Resistencia a la abrasión: dureza > HV 400, resistencia al lavado con polvo.

Ventajas tecnológicas

Alta precisión: el crisol admite moldes geométricos complejos y la precisión de moldeo > del 99,5%.

Campo térmico uniforme: aumenta la densidad de las piezas impresas en 3D en un >99,8%.

Larga vida útil: 50 a 80 veces de reutilización, reduciendo costos.

Soporte multimaterial: adecuado para tungsteno, titanio, níquel y otros polvos.

Desafíos técnicos

Contaminación por polvo: El polvo fundido puede adherirse al crisol y necesitar ser recubierto o limpiado.

Estrés a alta temperatura: La rampa rápida y la caída de la temperatura pueden causar grietas, y es necesario optimizar el tratamiento térmico.

Miniaturización: Los micromoldes (< 50 mm) son difíciles de fabricar y costosos.

Alto consumo de energía: La impresión 3D a alta temperatura consume mucha energía y es necesario optimizar el proceso.

5.7.4 Tecnología cuántica y preparación de materiales superconductores

Descripción general de la aplicación

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Los crisoles de tungsteno se utilizan en la síntesis y sinterización de tecnología cuántica y materiales superconductores (como itrio-bario-cobre-oxígeno, YBCO), para la preparación de chips de computación cuántica y bobinas superconductoras, que soportan de 1200 °C a 1800 °C.

Requisitos de rendimiento

Pureza ultra alta: pureza de tungsteno > 99,9999%, impurezas < 0,1 ppb.

Resistencia a altas temperaturas: 1400 °C a 1800 °C, choque térmico > 200 veces.

Acabado superficial: Ra<0.05µm, evita la contaminación del material.

Estabilidad química: No reacciona con óxidos o cobre, la contaminación < 0,5 ppb.

Precisión dimensional: la tolerancia ± 0,01 mm, adecuada para experimentos de precisión.

Ventajas tecnológicas

Pureza ultra alta: El crisol introduce impurezas de hasta 0,05 ppb, cumpliendo con los requisitos de los chips cuánticos.

Campo térmico uniforme: mejora la consistencia de los materiales superconductores y la tasa de defectos < 0.01%.

Larga vida útil: de 60 a 100 veces de reutilización, reduciendo costos.

Miniaturización: Soporte de crisol en miniatura (<20mm) para adaptarse a dispositivos cuánticos.

Desafíos técnicos

Requisitos de ultralimpieza: se requiere producción y limpieza de salas limpias ISO Clase 3.

Volatilización a alta temperatura: trazas de volatilización de tungsteno pueden contaminar el material y deben protegerse mediante un recubrimiento.

Costo de fabricación: El crisol de tungsteno de ultra alta pureza tiene un precio alto y el proceso debe optimizarse.

Complejidad experimental: Debe combinarse sin problemas con equipos superconductores, lo que aumenta la dificultad.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com



Crisoles de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 6 Ventajas, desventajas y desafíos del crisol de tungsteno

Los crisoles de tungsteno se utilizan ampliamente en campos de alta temperatura debido a sus excelentes propiedades, pero también enfrentan desafíos en la fabricación y la aplicación. En este capítulo se analizan sus fortalezas, limitaciones y áreas de mejora.

6.1 Análisis de la ventaja del crisol de tungsteno

6.1.1 Punto de fusión ultra alto y estabilidad térmica

Características: Punto de fusión de tungsteno 3422 °C, coeficiente de expansión térmica 4.5×10^{-6} / K, 3000 °C aún mantiene la estabilidad estructural.

Ventajas: Resistente al calor extremo, ciclos de choque térmico > 500 veces, adecuado para fusión nuclear, aeroespacial, etc.

Aplicación: Crecimiento de silicio monocristalino, fusión de superaleaciones, campo térmico uniforme, tasa de deformación <0.1%.

6.1.2 Excelente inercia química

Características: Resistente a ácidos y álcalis, metal fundido y gas reactivo, tasa de corrosión <0,01 mm / año.

Ventajas: No reacciona con silicio fundido, galio, platino, etc., y las impurezas se introducen en <1 ppb.

Aplicación: crecimiento de cristales semiconductores, refinación química de alta pureza, pureza > 99.999%.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

6.1.3 Alta fiabilidad y larga vida útil

Características: resistencia a la tracción > 800 MPa, dureza > HV 400, vida útil 50-100 veces.

Ventajas: Rendimiento estable bajo uso repetido, consistencia de lote > 99.5%.

Aplicación: Producción de obleas de silicio fotovoltaico, síntesis de catalizadores, reducción de costos de reemplazo.

6.1.4 Capacidad de adaptación a entornos extremos

Características: Resistente a la radiación y al impacto de plasma, atenuación del rendimiento <5% (10 años).

Ventajas: Soporta condiciones extremas como reactores nucleares y simulaciones de atmósferas planetarias.

Aplicación: material PFM de fusión nuclear, prueba aeroespacial de alta temperatura, operación estable > 1000 horas.

6.2 Limitaciones y desafíos de los crisoles de tungsteno

6.2.1 Altos costos de fabricación y procesamiento

Problema: Los crisoles de tungsteno de alta pureza necesitan una sinterización compleja y mecanizado CNC, y el costo es de 5 a 10 veces mayor que el de los crisoles ordinarios.

Impacto: Difícil de pagar para las pequeñas y medianas empresas, período de amortización de 3 a 5 años.

Desafío: Es necesario optimizar el proceso para reducir los costos de materias primas y energía.

6.2.2 Fragilidad y dificultad de procesamiento a temperatura ambiente

Problema: El tungsteno tiene una alta dureza (HV 400) a temperatura ambiente, es fácil de quebrar y se requieren herramientas de diamante para el procesamiento.

Impacto: Los crisoles micro o complejos son difíciles de procesar, con una tasa de desecho del >5%.

Desafío: Desarrollar aleaciones de tungsteno con mayor tenacidad o nuevas tecnologías de procesamiento.

6.2.3 Restricciones de fabricación para crisoles de gran tamaño

Problema: Un crisol con un diámetro de >500 mm requiere un horno de sinterización grande, y la uniformidad del espesor de la pared $\pm 0,05$ mm es difícil de garantizar.

Impacto: Largo ciclo de producción, multiplicando los costes, limitando las aplicaciones fotovoltaicas y metalúrgicas.

Reto: Mejorar el equipo de sinterización y mejorar la consistencia de los crisoles grandes.

6.2.4 Suministro de materias primas y riesgos geopolíticos

Problema: el mineral de tungsteno se concentra globalmente, la oferta se ve afectada por la geopolítica y el precio fluctúa en > 20%.

Impacto: La escasez de materias primas puede interrumpir la producción y los costos de manera incontrolable.

Desafío: Establecer un sistema de reciclaje para reducir la dependencia de los minerales en bruto.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

6.3 Dirección de mejora del crisol de tungsteno

6.3.1 Optimización de costes y producción a gran escala

Dirección: Adopte la línea de montaje automática y la recuperación de calor residual para reducir el consumo de energía en un 20% -30%.

El objetivo: reducir los costes de producción al 50% del nivel actual y reducir el periodo de amortización a 2 años.

Tecnología: Horno de sinterización modular, optimización de IA de los parámetros del proceso.

6.3.2 Desarrollo de nuevos materiales y procesos compuestos

Dirección: Investigación y desarrollo de materiales compuestos de aleación de alta entropía y tungsteno-cerámica a base de tungsteno, con un aumento del 30% en la tenacidad.

Objetivo: Reducir la fragilidad a temperatura ambiente y prolongar la vida útil hasta 150 veces.

Tecnología: sinterización de polvo de nano tungsteno, crisol compuesto de impresión 3D.

6.3.3 Mejora de la precisión y eficiencia del mecanizado

Dirección: Procesamiento láser, se introduce CNC de ultraprecisión y la tolerancia $\pm 0,005$ mm.

Objetivo: Reducción de la tasa de desperdicio al <2 % y aumento de la eficiencia del procesamiento en un 50 %.

Tecnología: Procesamiento asistido por robot, sistema de detección en tiempo real.

6.3.4 Fabricación inteligente y automatizada

Dirección: Integre el Internet de las cosas y la IA, controle la temperatura y la presión en tiempo real, y el error es del <1 %.

Objetivo: Aumento del 30% en la eficiencia de la producción y $99,9\% >$ la consistencia de la calidad.

Tecnología: línea de producción en red 5G, sistema de toma de decisiones basado en datos.



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Capítulo 7 Precauciones para el uso del crisol de tungsteno

El uso de crisoles de tungsteno debe seguir estrictamente las especificaciones para garantizar la seguridad, la eficiencia y la longevidad. En este capítulo se describen los requisitos de instalación, entorno, mantenimiento y solución de problemas.

7.1 Especificaciones de instalación y operación del crisol de tungsteno

7.1.1 Inspección y preparación de los crisoles antes de la instalación

Inspección: No hay grietas ni arañazos en la superficie visual, y la tolerancia dimensional \pm de 0,01 mm.

Limpieza: Limpieza ultrasónica (40 kHz) con etanol de alta pureza con $<$ residual de 0,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Preparación: Asegúrese de que el horno esté limpio, que el vacío sea de $<10^{-5}$ Pa y que la pureza del gas inerte sea $> 99,999\%$.

Instalación: Con una abrazadera especial, el control de fuerza $<$ de 500 N para evitar daños mecánicos.

7.1.2 Procedimientos de seguridad en el funcionamiento a alta temperatura

Protección: Use guantes y gafas resistentes a altas temperaturas y aisle el área de operación.

Control de temperatura: velocidad de calentamiento 5-15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, máximo 3000 $^{\circ}\text{C}$, error ± 2 $^{\circ}\text{C}$.

Monitoreo: Registro en tiempo real de temperatura y presión, respuesta de alarma anormal $<$ 1 segundo.

Emergencia: Equipado con un sistema de extinción de incendios, enfríe $>$ 2 horas después de un corte de energía antes de abrir el horno.

7.1.3 Prevenir el estrés térmico y los daños mecánicos

Estrés térmico: aumento y descenso de la temperatura en etapas, tiempo de hidratación de 2 a 12 horas, ciclo de choque térmico $<$ 500 veces.

Daños mecánicos: Evite el impacto con objetos duros, la fuerza de cierre $<$ 300 N.

Protección: El uso de juntas cerámicas reduce la tensión de contacto y la tasa de deformación $<$ 0.1%.

7.2 Requisitos medioambientales para el uso de crisoles de wolframio

7.2.1 Control de temperatura y atmósfera

Temperatura: 1500-3000 $^{\circ}\text{C}$, precisión de control de temperatura ± 1 $^{\circ}\text{C}$, uniformidad de campo térmico ± 5 $^{\circ}\text{C}$.

Atmósfera: vacío (10^{-6} Pa) o argón de alta pureza (contenido de oxígeno $<$ 1 ppm).

Monitoreo: Termómetro infrarrojo (precisión $\pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$), analizador de gases (precisión $\pm 0,01$ ppm).

7.2.2 Evitar el contacto con materiales incompatibles

Contraindicaciones: agentes oxidantes fuertes (como el ácido nítrico), metales alcalinos fundidos, para evitar la corrosión.

Protección: Recubrimiento de la superficie (por ejemplo, SiC, WC), tasa de corrosión $<$ 0,005

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

mm/año.

Aislamiento: Liner con grafito de alta pureza o circonio con impurezas introducidas < 1 ppb.

7.2.3 Evitar la contaminación y la introducción de impurezas

Limpieza: Operado en una sala limpia ISO Clase 4 con un < de partículas de 0,1 µm.

Limpieza: Ultrasonidos, agua desionizada (conductividad < 1 µS/cm) antes de cada uso.

Almacenamiento: Sellado al vacío, humedad < 30%, evita oxidación o adsorción.

7.3 Mantenimiento del crisol de tungsteno durante su uso

7.3.1 Inspección y limpieza periódicas

Inspección: Después de cada 10 usos, compruebe si hay grietas y deformaciones con una resolución de microscopio de < 1 µm.

Limpieza: Ultrasonidos (40-80 kHz) + detergente neutro con < residuo de 0,05 µg/cm².

Frecuencia: Limpiar después de cada uso y revisar minuciosamente cada mes.

7.3.2 Monitoreo de daños superficiales y grietas

Monitoreo: Escaneo láser (precisión ± 0,01 mm), detección de grietas > 0,1 mm.

Registro: Profundidad del daño, ubicación, período de archivo > 5 años.

Tratamiento: Molienda de daños menores (Ra < 0,1 µm), raspado de grietas severas.

7.3.3 Evaluación y optimización de la vida útil

Evaluación: Registre el número de usos, la temperatura, la atmósfera y el < 5% de error de predicción de la vida.

Optimización: Ajuste la velocidad de rampa (< 10 °C/min) para prolongar la vida útil hasta 80 veces.

Reemplazo: Reemplace cuando la pérdida de espesor de la pared > 10% o la grieta > 0,2 mm.

7.4 Solución de problemas del crisol de tungsteno

7.4.1 Problemas comunes (grietas, deformación, contaminación)

Grieta: Debido a la tensión térmica o al impacto mecánico, la longitud > de 0,1 mm.

Deformación: La desviación del espesor de la pared a alta temperatura > 0,05 mm, lo que afecta el campo térmico.

Contaminación: El residuo superficial > 0,1 µg/cm², lo que afecta a la pureza del material.

7.4.2 Diagnóstico de averías y métodos de reparación

Diagnóstico: Ensayos no destructivos de rayos X (resolución < 0,01 mm) para analizar la profundidad de la grieta.

Reparación: Esmerilado de grietas menores + recubrimiento, recalibración del crisol de deformación (tolerancia ± 0,02 mm).

Tratamiento de la contaminación: limpieza en varias etapas (ultrasonidos + decapado) con < residual de 0,01 µg/cm².

7.4.3 Procedimientos de respuesta de emergencia y parada

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Emergencia: Detenga el horno inmediatamente si se encuentran grietas o fugas, y enfríe durante > 2 horas.

Apagado: Apagado, gas argón (> 99,999%), presión 0,1 MPa.

Registros: tiempo de fallo, causas y medidas de tratamiento, y el período de archivo > 5 años.



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 8 Transporte y almacenamiento de crisoles de tungsteno

Como contenedor metálico valioso y de alto rendimiento, los crisoles de tungsteno requieren medidas de gestión especiales durante el transporte y el almacenamiento para garantizar que los productos no se dañen físicamente, se corroan u otros problemas de calidad antes y después de la entrega. Este capítulo presentará las especificaciones básicas de funcionamiento y las precauciones que deben seguirse en el proceso de circulación de crisoles de tungsteno.

6.1 Requisitos de transporte del crisol de tungsteno

El crisol de tungsteno debe evitarse en la medida de lo posible las vibraciones, colisiones y compresiones severas durante el transporte para evitar deformaciones, rupturas o arañazos en la superficie. Para ello, el embalaje de transporte debe estar hecho de materiales fuertes, secos y a prueba de golpes, como cajas de madera, almohadillas de espuma, almohadillas blandas, etc. Al mismo tiempo, las señales de advertencia como "frágil" y "no pesar" deben estar claramente marcadas para atraer la atención del personal de transporte.

Si se trata de un transporte de larga distancia o transbordo múltiple, se recomienda utilizar una caja de madera especial o una caja de metal para el embalaje, y colocar una capa amortiguadora dentro del paquete para absorber el impacto externo. Además, debe evitarse durante el transporte para evitar mezclarse con productos corrosivos, húmedos o volátiles para evitar daños químicos.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

6.2 Condiciones de almacenamiento del crisol de tungsteno

Al almacenar un crisol de tungsteno, debe colocarse en un ambiente seco, ventilado y limpio, y evitar la luz solar directa y la alta humedad para evitar la oxidación de la superficie o el óxido por humedad. El lugar de almacenamiento debe estar lejos de productos químicos corrosivos como ácidos fuertes, álcalis fuertes y sales para evitar reacciones de contacto.

Cuando se almacena en el almacén, el crisol de tungsteno debe colocarse en su embalaje original o envolverse en un material suave para evitar arañazos en la superficie. Para el almacenamiento a largo plazo, es aconsejable inspeccionar regularmente para asegurarse de que el embalaje está en buenas condiciones y que la humedad ambiental está debidamente controlada.

6.3 Precauciones para la manipulación de crisoles de wolframio

Al manipular crisoles de tungsteno, deben manipularse con cuidado para evitar una manipulación brutal. En el caso de crisoles más grandes, se deben utilizar herramientas auxiliares, como cintas de elevación y camiones, para garantizar la seguridad de las personas y los productos. Al mismo tiempo, la manipulación debe ser realizada por personal que esté familiarizado con las características del producto para evitar daños causados por un funcionamiento incorrecto.

Al sacar el crisol de tungsteno del paquete de transporte, primero se debe confirmar que la estructura del embalaje sea estable para evitar deslizamientos accidentales o daños causados por un desembalaje accidental.

6.4 Documentación y marcado de crisoles de tungsteno

Con el fin de fortalecer la gestión, cada lote de crisol de tungsteno debe ir acompañado de registros de transporte, documentos de almacenamiento y etiquetas de productos necesarias, incluido el modelo, la cantidad, el número de lote de producción, la fecha de llegada y otra información, a fin de facilitar la trazabilidad posterior y la gestión de la calidad. La etiqueta debe estar firmemente adherida y no debe desprenderse ni difuminarse.

6.5 Manejo de excepciones de crisol de tungsteno

Si el embalaje está dañado, la superficie del producto está rayada, deformada, etc., debe suspenderse inmediatamente y se debe notificar al personal de gestión pertinente para su eliminación durante el transporte o el almacenamiento. Si es necesario, los daños deben informarse o volver a probarse de acuerdo con el proceso para garantizar que el uso posterior del producto cumpla con los requisitos básicos de calidad.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 9 Crisol de tungsteno: sostenibilidad y reciclaje

Como componente industrial de alto valor y resistente a altas temperaturas, la sostenibilidad y el reciclaje de los crisoles de tungsteno son cruciales para la conservación de los recursos, la protección del medio ambiente y los beneficios económicos. Este capítulo analiza en detalle la gestión del ciclo de vida, el reciclaje, el cumplimiento de las regulaciones ambientales y las prácticas de economía circular de los crisoles de tungsteno, combinado con la experiencia de las empresas globales de productos de tungsteno y la información de la industria proporcionada por Chinatungsten Online, analiza los detalles técnicos, los desafíos del proceso y las futuras direcciones de desarrollo, y tiene como objetivo promover la transformación ecológica de la industria de crisoles de tungsteno.

9.1 Gestión del ciclo de vida del crisol de tungsteno

La gestión del ciclo de vida abarca todo el proceso del crisol de tungsteno, desde la extracción de materias primas hasta la producción, el uso y el reciclaje, con el objetivo de reducir el impacto ambiental, optimizar el uso de los recursos y mejorar la sostenibilidad.

9.1.1 Evaluación del ciclo completo desde la producción hasta el uso

Principio de proceso

La evaluación del ciclo de vida (ACV) identifica los eslabones clave y optimiza el diseño cuantificando el consumo de recursos, el uso de energía y las emisiones ambientales de los crisoles de tungsteno en cada etapa. El ciclo de vida del crisol de tungsteno incluye la extracción de materias primas, la refinación, la producción, el transporte, el uso y el reciclaje.

Proceso de evaluación

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Minería de materias primas: minería de mineral de tungsteno (wolframita o scheelita), pureza de beneficio > 99,5%, consumo de energía de aproximadamente 5000 kWh por tonelada de concentrado de tungsteno.

Refinación y producción: preparación de polvo de tungsteno (pureza>99.999%), sinterización (temperatura 1800-2500 °C), consumo de energía de aproximadamente 10-15 MWh / tonelada crisol.

Transporte: aéreo o marítimo, con una emisión media de carbono de 0,5-2 kg CO₂/tonelada·km.

Uso: Aplicación a alta temperatura (1500-3000 °C), vida útil 50-100 veces, consumo de energía de mantenimiento de aproximadamente 0.1-0.5 MWh / tiempo.

Reciclaje: Recogida de residuos de crisol, limpieza, trituración y purificación química, con un consumo energético de unos 5-8 MWh/tonelada.

Parámetros técnicos

Consumo de recursos: 1,5-2 toneladas de mineral de tungsteno por tonelada de crisol, y alrededor de 10-15 toneladas de subproductos (relaves).

Eficiencia energética: el 70% del consumo de energía en la etapa de producción representa todo el ciclo, y el 50% del consumo de energía < el consumo de energía de producción en la etapa de recuperación.

Emisiones: Emisiones de unas 20-30 toneladas de CO₂ por tonelada de producción de crisol, y <5 toneladas de emisiones durante la fase de uso.

Duración del ciclo de vida: alrededor de 2-5 años desde la producción hasta el desguace, dependiendo de la frecuencia de uso.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El ACV identifica enlaces de alto consumo de energía (como la sinterización), que pueden reducir el consumo de energía en un 20% después de la optimización; Prolongue la vida útil del crisol (> 80 ciclos) y reduzca los requisitos de recursos.

Desafío: Alto impacto ambiental en la etapa de minería y refinación, alto costo de tratamiento de relaves; La recopilación de datos de ACV debe coordinarse a lo largo de la cadena de suministro, que es muy compleja.

9.1.2 Análisis de impacto ambiental y huella de carbono

Principio de proceso

El análisis de la huella de carbono cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero de los crisoles de tungsteno a lo largo del ciclo, combinado con la evaluación del impacto ambiental (recursos hídricos, suelo, ecología) para proporcionar una base para el diseño ecológico. El impacto ambiental de los crisoles de tungsteno proviene principalmente de la producción intensiva de energía y la extracción de minerales.

Analizar el contenido

Huella de carbono:

Minería: El CO₂ se emite entre 5 y 8 toneladas por tonelada de concentrado de tungsteno, y la fuente de energía son principalmente los combustibles fósiles.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Producción: La sinterización y el procesamiento emiten entre 15 y 20 toneladas de CO₂, y la electricidad representa el >80%.

Transporte: 0,5-1 kg de CO₂/tonelada·km desde el transporte aéreo y 0,1-0,2 kg de CO₂/tonelada·km desde el mar.

Uso: Las emisiones indirectas (electricidad) del funcionamiento a alta temperatura son de aproximadamente 0,05-0,2 toneladas de CO₂/hora.

Reciclaje: La purificación química emite entre 3 y 5 toneladas de CO₂, lo que representa el 25% de las emisiones de producción.

Otros impactos ambientales:

Recursos hídricos: El beneficio consume entre 50 y 100 m³ por tonelada de concentrado de tungsteno, y las aguas residuales deben tratarse a <50 mg/L de DQO.

Suelo y ecología: Se requiere la extracción y destrucción de tierras de alrededor de 0,1-0,5 hm²/10.000 toneladas de mina, por lo que se requiere una restauración ecológica.

Residuos sólidos: los residuos de relaves y sinterización son de aproximadamente 10-20 toneladas / tonelada de crisol, que deben tratarse de manera inocua.

Parámetros técnicos

Huella de carbono total: emisiones de CO₂ de aproximadamente 25-35 toneladas por tonelada de ciclo de crisol, y la etapa de producción representa el 60%-70%.

Consumo de agua: crisol de 100-200 m³/tonelada en todo el ciclo, 10 m³ < en la etapa de recuperación.

Tasa de recuperación de residuos sólidos: La tasa de recuperación de relaves es del >50% y la tasa de recuperación de crisoles de residuos es del >90%.

Restauración ecológica: La tasa de recuperación de tierras es > del 80% y el período de restauración es de 3 a 5 años.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El análisis de la huella de carbono guía la producción baja en carbono (por ejemplo, el uso de energías renovables), lo que puede reducir las emisiones entre un 15% y un 20%; El reciclaje de aguas residuales reduce el consumo de agua en un 30%.

Desafío: Es difícil reducir significativamente el consumo de energía de la producción de tungsteno de alta pureza; Los datos de emisiones de carbono de la cadena de suministro global no son uniformes y la precisión del análisis es limitada.

9.1.3 Diseño y fabricación sostenibles

Principio de proceso

El diseño sostenible reduce el consumo de recursos y el impacto ambiental, prolonga la vida útil del crisol de tungsteno y mejora la reciclabilidad al optimizar la selección de materiales, los procesos de fabricación y la combinación de productos.

Medidas de diseño

Optimización del material: El uso de polvo de tungsteno de alta pureza (pureza > 99,999%) reduce

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

las impurezas y mejora la vida útil del crisol hasta 100 veces.

Diseño estructural: la uniformidad del espesor de la pared $\pm 0,01$ mm, reduce el estrés térmico, reduce la tasa de grietas $< 0,1\%$.

Proceso de ahorro de energía: Sinterización por plasma (reducción del 20% en el consumo de energía) o recuperación de calor residual (aumento del 15% en la eficiencia).

Diseño modular: el crisol se ensambla en secciones, lo que es conveniente para el reemplazo parcial y reduce la tasa de desperdicio en un 50%.

Energía verde: Más del 70% de la electricidad utilizada para la producción proviene de la energía eólica o solar, y las emisiones de carbono se reducen en un 30%.

Tecnología de fabricación

Impresión 3D: Control preciso de la forma del crisol, utilización del material $> 95\%$, residuos $< 5\%$.
Sinterización automática: la IA optimiza la curva de temperatura (error $\pm 1^\circ\text{C}$), reduciendo el consumo de energía en un 10%.

Tratamiento de superficies: recubrimiento de SiC o WC (espesor 0.05-0.1 mm), mejora la resistencia a la corrosión, prolonga la vida útil en un 30%.

Inspección de calidad: Ensayos no destructivos de rayos X (resolución $< 0,01$ mm), tasa de defectos $< 0,05\%$.

Parámetros técnicos

Utilización del material: $> 90\%$, chatarra $<$ crisol de 0,1 toneladas/tonelada.

Consumo de energía: El consumo de energía de producción $<$ de 12 MWh/tonelada, que es un 15% menor que el proceso tradicional.

Vida útil: Promedio de 80-120 ciclos, tasa de desperdicio $< 5\%$.

Emisiones de carbono: La fabricación ecológica reduce las emisiones de CO₂ a 15-20 toneladas/tonelada de crisoles.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El diseño sostenible prolonga la vida útil del crisol en un 50% y reduce las emisiones de carbono de todo el ciclo en un 20%; Diseño modular para facilitar el reciclaje.

Reto: Alta inversión en equipos de impresión 3D y energía verde, aumentando el costo inicial en un 20%; Es necesario verificar la estabilidad del nuevo proceso durante un largo período de tiempo.

9.2 Reciclaje y reutilización de crisoles de tungsteno

El reciclaje y la reutilización están en el corazón de la sostenibilidad de los crisoles de tungsteno, y los crisoles de desecho se transforman en productos de alto valor a través de procesos de reciclaje eficientes y control de calidad, lo que reduce el desperdicio de recursos.

9.2.1 Proceso de reciclaje de crisoles de tungsteno

Principio de proceso

La recuperación de crisoles de tungsteno extrae el tungsteno (pureza $> 99,9\%$) de los crisoles de desecho mediante la trituración física, la purificación química y el reprocesamiento para preparar

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

nuevos productos (como polvo de tungsteno, crisoles o aleaciones).

Proceso de reciclaje

Recolección y clasificación: Los crisoles de residuos se clasifican por tamaño (20-500 mm), pureza (>99,9%) y grado de contaminación y se transportan al centro de reciclaje.

Limpieza: Limpieza ultrasónica (40-80 kHz), agua desionizada (conductividad <1 $\mu\text{S}/\text{cm}$), eliminación de < residuales de 0,01 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de la superficie.

Trituración: trituradora hidráulica (presión > 100 MPa), tamaño de partícula 0,1-5 mm, eficiencia de trituración > 95%.

Purificación química:

Lixiviación ácida: se utilizó HNO_3 o HCl (concentración 5-10 mol/L) para disolver las impurezas y la tasa de recuperación del tungsteno fue del >98%.

Precipitación: Se adicionó NH_4OH para generar paratungstato de amonio (APT) con una pureza de > 99,95%.

Calcinación: 800-1000 $^\circ\text{C}$, se genera WO_3 , contenido de oxígeno <0,1 ppm.

Reducción: Se preparó atmósfera de H_2 (900-1100 $^\circ\text{C}$), polvo de tungsteno (tamaño de partícula 0,5-5 μm), pureza > 99,999%.

Reprocesamiento: sinterización o prensado para formar nuevos crisoles u otros productos de tungsteno.

Parámetros técnicos

Recuperación: Recuperación de tungsteno >95% e impurezas < 10 ppm.

Consumo de energía: 5-8 MWh/tonelada de energía reciclada, lo que representa el 50% del consumo de energía de producción.

Tratamiento de residuos: Neutralizar los residuos ácidos a pH 6-8 con DQO <50 mg/L.

Ciclo de procesamiento: 15-30 días para la recuperación de un solo lote, con una capacidad de producción de 0,5-2 toneladas/mes.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El proceso de reciclaje reduce el desperdicio de recursos al <5% y reduce la demanda de mineral en bruto en un 30%; El polvo de tungsteno de alta pureza se puede utilizar directamente en la producción de nuevos crisoles.

Desafío: La contaminación de los crisoles de desecho (por ejemplo, silicio, residuos de galio) aumenta la dificultad de la purificación; Los costos de tratamiento de líquidos residuales de purificación química son altos.

9.2.2 Estado actual y desafíos de la tecnología de reciclaje

statu quo

Tecnologías principales: hidrometalurgia (lixiviación ácida + precipitación) y pirometalurgia (tostado a alta temperatura + reducción), tasa de recuperación del 90% al 98%.

Equipo: trituradora automática (eficiencia > 95%), horno de alta temperatura (control de temperatura ± 1 $^\circ\text{C}$), sistema de intercambio iónico (pureza > 99,99%).

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Escala: La capacidad mundial de reciclaje es de aproximadamente 5.000-10.000 toneladas / año, lo que representa el 20% de la demanda de productos de tungsteno.

Aplicación: El tungsteno reciclado se utiliza en crisoles, aleaciones, herramientas duras y la calidad es cercana al tungsteno virgen.

Desafíos técnicos

Separación de impurezas: El crisol de residuos contiene trazas de silicio, galio y platino, y el costo de separación representa el 30% del costo de recuperación.

Alto consumo de energía: el consumo de energía de la purificación química y la reducción de alta temperatura es de 5-8 MWh / tonelada, y el proceso debe optimizarse.

Crisoles pequeños: los crisoles con un diámetro de <50 mm son difíciles de triturar y la eficiencia de recuperación es < del 90%.

Tratamiento de líquidos residuales: se generan entre 0,5 y 1 m³ de líquido residual por tonelada de crisol de residuos, y se requiere una neutralización de varias etapas para tratarlo a DQO<50 mg/L.

Dirección de mejora

Nuevas tecnologías: purificación electroquímica (reducción del 20% en el consumo de energía), tostado por plasma (aumento del 15% en la eficiencia).

Automatización: la IA controla los parámetros de purificación (error < 0,1%) y la tasa de recuperación aumenta al >98%.

Química verde: purificación por concentración de baja acidez (<5 mol/L), reduciendo la cantidad de líquido residual en un 50%.

Equipos a pequeña escala: Desarrollo de micro trituradora, adecuada para crisoles de pequeño tamaño, con una eficiencia del >95%.

Parámetros técnicos

Eficiencia de reciclaje: 90%-98% actualmente, 99% objetivo >.

Objetivo de consumo de energía: <5 MWh/tonelada, un 30% inferior a la situación actual.

Vertido de líquidos residuales: <0,3 m³ /ton, DQO<30 mg/L.

Contenido de impurezas: 5 ppm de impurezas de polvo de tungsteno < recuperan para cumplir con aplicaciones de alta pureza.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La tecnología de reciclaje reduce la extracción de mineral en bruto en un 30% y el impacto ambiental en un 20%; El polvo de tungsteno de alta pureza satisface las necesidades de los semiconductores.

Desafío: La industrialización de nuevas tecnologías tarda de 3 a 5 años en demostrarse; La inversión en pequeños equipos de reciclaje de crisoles es alta y es difícil para las pequeñas y medianas empresas promoverlos.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

9.2.3 Control de calidad de productos reciclados

Principio de proceso

El control de calidad de los productos reciclados garantiza que los productos de tungsteno reciclado (por ejemplo, crisoles, aleaciones) tengan las mismas propiedades (pureza, resistencia, longevidad) que los productos vírgenes para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de alta tecnología.

Medidas de control de calidad

Análisis químico: ICP-MS detecta pureza de polvo de tungsteno (>99,999%), impurezas <1 ppb (Si, Fe, C).

Prueba física: análisis láser del tamaño de partícula (tamaño de partícula 0,5-5 μ m), inspección microscópica de la uniformidad del grano (desviación <5%).

Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción > 800 MPa, dureza > HV 400, choque térmico > 500 ciclos.

Calidad superficial: rugosidad Ra <0,05 μ m, residuo superficial <0,01 μ g/cm².

Ensayos no destructivos: TC de rayos X (resolución <0,01 mm), tasa de defectos <0,05%.

Proceso de verificación

Pruebas por lotes: 10%-20% de muestreo por lote, tasa de aprobación > 99,5%.

Prueba de rendimiento: uso simulado a alta temperatura (1500-3000 °C), prueba de vida útil > 80 veces.

Certificación: Cumple con ISO 9001, ASTM B760 (norma para productos de tungsteno), registros > 5 años.

Sistema de trazabilidad: RFID o blockchain registra el lote de recuperación y los parámetros del proceso, y la tasa de trazabilidad > 99,9%.

Parámetros técnicos

Pureza: La pureza del crisol recuperado > del 99,999%, que es comparable al original.

Vida útil: 80-100 veces, lo que representa el 90% del crisol original.

Tasa de defectos: <0,1%, grieta <0,1 mm.

Precisión de detección: 0,1 ppb para análisis químicos <, 0,01 μ m para medición física.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El estricto control de calidad garantiza que el rendimiento del crisol de reciclaje alcance más del 90% del original y el costo se reduzca en un 30%; Los sistemas de trazabilidad aumentan la confianza de los clientes.

Desafío: Alta inversión en equipos de prueba de alta precisión, que representan el 15% del costo de recuperación; Las trazas de impurezas pueden afectar a las aplicaciones de semiconductores y requieren una mayor optimización.

9.3 Cumplimiento de la normativa medioambiental del crisol de tungsteno

La producción, el reciclaje y la eliminación de residuos de crisoles de tungsteno están sujetos a las normativas medioambientales internacionales y nacionales para garantizar operaciones respetuosas

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

con el medio ambiente y que cumplan con la normativa.

9.3.1 Regulaciones ambientales internacionales y nacionales

Principio de proceso

La normativa medioambiental regula la extracción de recursos, las emisiones de producción, el tratamiento de residuos y el reciclaje en la industria de los crisoles de tungsteno, con el objetivo de reducir el daño ecológico y la contaminación y garantizar el desarrollo sostenible.

Regulaciones Internacionales

REACH: Reglamento de la UE para limitar los productos químicos peligrosos (por ejemplo, hexafluoruro de azufre) en la producción de tungsteno con < volátiles de 0,1 ppm.

RoHS: Restricción de sustancias tóxicas en productos de tungsteno en equipos electrónicos, contenido de plomo y cadmio < 0.01%.

Convenio de Basilea: Control del transporte transfronterizo de residuos de tungsteno, se requiere licencia de exportación, tasa de cumplimiento > 99%.

ISO 14001: Sistema de gestión ambiental, emisiones de carbono, aguas residuales, residuos sólidos requieren una auditoría anual.

Normativa Doméstica

Ley de Protección del Medio Ambiente de la República Popular China: la tasa de tratamiento de relaves es del > del 80% y la DQO de las aguas residuales es de < 50 mg / L.

"Ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos": Los crisoles de residuos deben reciclarse por separado y la tasa de recuperación es > del 90%.

"Ley de Promoción de la Producción Más Limpia": el consumo de energía de producción < 15 MWh/tonelada, y la energía verde representa el >30%.

"Condiciones estándar de la industria del tungsteno": la tasa de recuperación minera es del >85% y la tasa de recuperación de beneficios es del >90%.

Requisitos de implementación

Proceso de cumplimiento: Presentar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) con un período de aprobación de < 3 meses.

Monitoreo: Monitoreo en línea de gases residuales ($SO_2 < 200 \text{ mg/m}^3$) y aguas residuales (pH 6-9) con una precisión del $\pm 0,01\%$.

Registros: Los datos medioambientales se archivan durante 5 años > y la transparencia > del 95%.

Sanción: Se impondrá una multa de 10-1 millón de yuanes por descarga ilegal, y el permiso será revocado en casos graves.

Parámetros técnicos

Tasa de cumplimiento: > 99.5%, tasa de aprobación de auditoría anual > 98%.

Norma de emisiones: $CO_2 < 30$ toneladas/tonelada crisol, aguas residuales < 100 m^3 /tonelada.

Tasa de recuperación: >90% de los crisoles de residuos, >50% de los relaves.

Frecuencia de monitoreo: diaria para gases residuales y aguas residuales, mensual para residuos

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

sólidos.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La operación conforme reduce los riesgos legales y mejora la competitividad en el mercado; Las regulaciones impulsan el desarrollo de tecnologías verdes.

Desafío: Las diferencias regulatorias entre varios países aumentan los costos de cumplimiento; Las pequeñas y medianas empresas no pueden permitirse el costo de la monitorización de alta frecuencia.

9.3.2 Normas de eliminación y vertido de residuos

Principio de proceso

Los materiales de desecho (relaves, líquidos residuales, gases residuales) generados por la producción y el reciclaje de crisoles de tungsteno deben tratarse de acuerdo con las normas para reducir la contaminación ambiental y cumplir con los requisitos de emisiones.

Tipos de chatarra y eliminación

Relaves: escoria de residuos de beneficio, que contiene < 0,5% de tungsteno, se requiere una membrana impermeable (espesor > 1 mm) para el almacenamiento y la tasa de recuperación es del >50%.

Líquido residual: líquido residual de decapado (pH<2), neutralizado a pH 6-9, DQO<50 mg/L, metales pesados<0,1 mg/L.

Gases residuales: gas residual de sinterización (que contiene SO₂, NO_x), vertido después de la desulfuración y desnitrificación, SO₂<200 mg/m³, NO_x<100 mg/m³.

Residuos sólidos: fragmentos de crisol de residuos, la tasa de recuperación es del >90% y la parte no reciclable se deposita en vertederos de forma inofensiva.

Tecnología de procesamiento

Relaves: flotación + separación magnética, > recupera el 50% del tungsteno, y el resto se utiliza para materiales de construcción (resistencia > 10 MPa).

Líquido residual: neutralización multietapa + intercambio iónico, tasa de reciclaje de líquidos residuales > 80%.

Gases de escape: desulfuración húmeda (eficiencia > 95%), desnitrificación SCR (eficiencia > 90%).

Residuos sólidos: trituración + purificación química, tasa de recuperación de tungsteno >95%, solidificación de residuos (lixiviación de metales pesados<0,01 mg/L).

Parámetros técnicos

Tasa de disposición de relaves: >80%, tungsteno recuperado > 0.3%.

Descarga de líquidos residuales: DQO <50 mg/L, metales pesados <0,05 mg/L, tasa de circulación >80%.

Emisión de gases residuales: SO₂ <150 mg/m³, NO_x <80 mg/m³, partículas <10 mg/m³.

Tasa de recuperación de residuos sólidos: >90%, tasa de vertedero <5%.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Ventajas y desafíos

Ventajas: El tratamiento eficiente de los residuos reduce la contaminación ambiental en un 80%, el reciclaje ahorra recursos en un 30%; Cumplir con las leyes y regulaciones para mejorar la imagen corporativa.

Desafío: Alta inversión en equipos de tratamiento de líquidos y gases residuales, que representan el 20% de los costos operativos; La tecnología de recuperación de relaves debe optimizarse aún más.

9.3.3 Certificación y auditoría de cumplimiento

Principio de proceso

La certificación y auditoría de cumplimiento verifica el cumplimiento de las empresas de crisoles de tungsteno en términos de protección del medio ambiente, calidad y seguridad, y garantiza el cumplimiento de las regulaciones y los requisitos del cliente.

Tipo de Certificación

ISO 14001: Sistema de Gestión Ambiental, que abarca la producción, el reciclaje, la eliminación de residuos, ciclo de certificación de 3 años.

ISO 9001: Sistema de gestión de calidad, pureza del crisol, tasa de aprobación de la prueba de rendimiento > 99,5%.

OHSAS 18001: Seguridad y Salud en el Trabajo, Índice de Accidentes < 0,1%, Cobertura de Capacitación para Empleados 100%.

Certificación verde: como la etiqueta ambiental de China, < de emisiones de carbono crisol de 25 toneladas / tonelada.

Proceso de auditoría

Auditoría Interna: Inspección trimestral de datos ambientales y registros de disposición de residuos, con una tasa de cobertura del > del 95%.

Auditoría externa: organización de terceros (como SGS, TÜV), auditoría anual, tasa de cumplimiento > 98%.

Envío de datos: Gases residuales, aguas residuales, datos de descarga de residuos sólidos, carga en tiempo real al departamento de protección ambiental, error <1%.

Rectificación: Si se encuentran elementos de incumplimiento, el período de rectificación será de < de 30 días y la tasa de aprobación de la revisión será > del 99%.

Parámetros técnicos

Tasa de aprobación de la certificación: >98%, válida de 3 a 5 años.

Frecuencia de auditoría: cada 3 meses internamente, 1 vez al año externamente.

Precisión de los datos: Seguimiento de emisiones $\pm 0,01\%$, archivado >durante 5 años.

Tasa de rectificación: La tasa de rectificación de los elementos no conformes > del 99% y el tiempo de respuesta < 7 días.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La certificación mejora la confianza del mercado y atrae inversiones verdes; Las auditorías

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

garantizan el cumplimiento y reducen el riesgo de multas.

Desafío: Altos honorarios de certificación y auditoría, que representan el 10% de los costos de gestión; La coordinación multiestándar aumenta la carga administrativa.

9.4 Práctica de economía circular de crisol de tungsteno

La economía circular maximiza el valor de los crisoles de tungsteno y reduce el desperdicio de recursos y el impacto ambiental a través de la gestión de circuito cerrado, la recuperación de recursos y la cooperación de la industria.

9.4.1 Gestión en circuito cerrado de los recursos de wolframio

Principio de proceso

La gestión de circuito cerrado integra la recuperación, reutilización y reproducción de crisoles de tungsteno para formar un sistema de reciclaje de recursos, reducir la dependencia del mineral en bruto y mejorar la eficiencia de los recursos.

Medidas de gestión

Red de reciclaje: Establecer un punto mundial de reciclaje de crisoles de residuos con una tasa de cobertura del > del 80% y una eficiencia de recogida del > del 90%.

Cadena de reutilización: El polvo de tungsteno reciclado se utiliza directamente en nuevos crisoles, aleaciones o herramientas con una tasa de reciclaje del > del 70%.

Plataforma de datos: La cadena de bloques registra el ciclo de vida del crisol (producción, reciclaje, procesamiento) y la tasa de trazabilidad > 99,9%.

Cadena de suministro ecológica: Priorizar la compra de tungsteno reciclado, reducir el uso de mineral en bruto en un 30 % y > tasa de cumplimiento de los proveedores en un 95 %.

Parámetros técnicos

Tasa de reciclaje: La tasa de reciclaje de los recursos de tungsteno > del 70% y el objetivo > del 85%.

Cobertura de reciclaje: 80% > los principales mercados y 50% > los mercados pequeños y medianos.

Integridad de los datos: Los datos del ciclo de vida se archivan durante > 5 años, con un error del < del 0,1%.

Dependencia del mineral en bruto: reducción del 30%-50%, capacidad de extracción < 5000 toneladas/año.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La gestión de circuito cerrado reduce el consumo de recursos en un 30% y las emisiones de carbono en un 20%; La plataforma de datos mejora la eficiencia de la cadena de suministro en un 25%.

Desafío: Se necesitan de 5 a 10 años para construir una red global de reciclaje, con una alta inversión inicial; Es necesario estandarizar la calidad desigual del crisol de recuperación.

9.4.2 Análisis de los beneficios económicos del reciclaje

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Principio de proceso

Los beneficios económicos del reciclaje logran el desarrollo sostenible de la industria del crisol de tungsteno al reducir el costo de las materias primas, reducir los gastos de tratamiento ambiental y crear nuevas fuentes de ingresos.

Análisis de beneficios

Ahorro de costos: el costo del tungsteno reciclado es de aproximadamente 50% -60% del tungsteno virgen, ahorrando entre 0,5 y 10,000 yuanes por tonelada.

Costos ambientales: reduzca los relaves y el tratamiento de líquidos residuales, ahorre entre un 20% y un 30% en los costos de protección del medio ambiente, alrededor de 0.1-030000 yuanes / tonelada.

Nuevos ingresos: ventas de polvo de tungsteno reciclado, margen de beneficio del 10% al 15%, ingresos anuales de hasta 50 millones de yuanes (empresas medianas).

Retorno de la inversión: El período de recuperación de la inversión del equipo de reciclaje es de 3 a 5 años y el valor presente neto (VAN) es >0.

Parámetros técnicos

Reducción de costos: el costo de reciclar crisoles < de 80,000 yuanes / tonelada, y el costo original > 150,000 yuanes / tonelada.

Margen de beneficio: El margen de beneficio en la venta de productos reciclados > 10% y el margen de beneficio integral >8%.

Escala de inversión: inversión en línea de reciclaje de tamaño mediano de 0,5 a 100 millones de yuanes, capacidad de producción de 500 a 1000 toneladas / año.

Periodo de amortización: 3-5 años, tasa interna de retorno (TIR) >15%.

Ventajas y desafíos

Ventajas: el reciclaje reduce los costos de producción en un 30% y mejora la competitividad de las empresas; Nuevas fuentes de ingresos, modelos de beneficios diversificados.

Desafío: La inversión inicial en equipos de reciclaje es alta y la presión financiera de las pequeñas y medianas empresas es alta; Es necesario mejorar la aceptación de los productos reciclados en el mercado.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Tungsten Crucible Introduction

1. Overview of Tungsten Crucibles

Tungsten crucibles are essential tools in the fields of metallurgy, chemistry, and materials science. They are particularly suitable for processes that involve melting or heating substances to extremely high temperatures. Studies have shown that tungsten crucibles perform exceptionally well in applications such as sapphire crystal growth, rare earth metal melting, vacuum coating, and high-temperature furnaces.

2. Features of Tungsten Crucibles

Ultra-high melting point: Making them ideal for extreme high-temperature environments.

High purity: purity of $\geq 99.95\%$ minimizes the impact of impurities on experiments or production processes.

Excellent corrosion resistance: Offering outstanding chemical stability.

High density and low vapor pressure: Ensuring material stability.

High strength and wear resistance: Ensuring long service life.

Low surface roughness: Reducing residue buildup and extends the crucible's lifespan.

3. Applications of Tungsten Crucibles

Rare earth metal melting: Performed in vacuum or inert gas environments to ensure material purity.

Vacuum coating: Used in thermal evaporation-deposition technology in electronics manufacturing.

High-temperature furnaces: Functions as a key component capable of withstanding environments below 2400°C.

Chemical synthesis: Suitable for handling corrosive substances such as acids and molten metals.

Metal smelting and refining: Used for melting and refining high-purity metals.

Sapphire crystal growth: Utilized for melting and holding materials like silicon, gallium arsenide, and germanium in semiconductor production at temperatures between 2000 – 2500° C.

4. Specifications of Tungsten Crucibles

Specification	Details
Material	Pure tungsten or tungsten alloy
Purity	99.95%
Diameter	20–620 mm
Height	20–500 mm
Wall Thickness	3.5–30 mm (depending on diameter)
Shape	Round, square, rectangular, stepped, or customized shapes
Surface Finish	Smooth inner and outer walls, no internal cracks

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

9.4.3 Cooperación industrial y modelos de economía circular

Principio de proceso

La cooperación industrial construye un ecosistema de economía circular mediante la integración de empresas, gobiernos e instituciones de investigación científica para promover la producción y el reciclaje sostenibles de crisoles de tungsteno.

Modelo de cooperación

Cooperación entre la industria, la universidad y la investigación: desarrollar tecnologías de recuperación de alta eficiencia (como la purificación electroquímica) con universidades e institutos de investigación, y aumentar la tasa de recuperación al >99%.

Alianza de la cadena de suministro: Cooperar con mineros, productores y recicladores para establecer una cadena de suministro de circuito cerrado, con una tasa de utilización de recursos del > del 80%.

Apoyo político: cooperar con el gobierno para luchar por subsidios de reciclaje (0,1-05,000 yuanes / tonelada), reducción de impuestos > 10%.

Estándar de la industria: formule especificaciones de recuperación de crisol de tungsteno (como pureza > 99.99%, impurezas < 5 ppm) y la tasa de promoción > 90%.

Parámetros técnicos

Cobertura de la cooperación: el 70% de los miembros de la alianza industrial >, y el 50% de las pequeñas y medianas empresas >.

Tasa de recuperación: 85% > proyectos piloto y 70% > promedio de la industria.

Tasa de promoción tecnológica: 60% de la aplicación de nuevas tecnologías de reciclaje >, y el ciclo de promoción < 3 años.

Concienciación pública: La publicidad de la economía circular cubre el 80% de > clientes objetivo, y la tasa de concienciación > el 90%.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La cooperación con la industria reduce los costos de investigación y desarrollo en un 20% y acelera la promoción de la tecnología; La política apoya un aumento del 30% en la tasa de reciclaje.

Desafíos: Es necesario coordinar la distribución de los beneficios en las fases iniciales y finales, y el costo de gestión de la alianza es elevado; Las pequeñas y medianas empresas (pymes) tienen una baja participación y necesitan incentivos.



Crisol de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 10 Normas y reglamentos del crisol de tungsteno

Como componentes industriales de alto rendimiento, los crisoles de tungsteno se fabrican, prueban y aplican según estrictos estándares y regulaciones para garantizar la calidad, el rendimiento y la seguridad. Esta sección analiza en detalle los requisitos de las Normas Nacionales Chinas (GB), la Organización Internacional de Normalización (ISO), las Normas Americanas (ASTM) y otras normas internacionales para crisoles de tungsteno, combinadas con la experiencia práctica de las empresas globales de productos de tungsteno y la información de la industria proporcionada por Chinatungsten Online, analiza los detalles técnicos, los métodos de prueba y los requisitos de cumplimiento de las normas, y proporciona orientación estandarizada para fabricantes y usuarios.

10.1 Estándar nacional chino (GB)

El Estándar Nacional Chino (GB) proporciona especificaciones técnicas detalladas para la producción, inspección y aplicación de crisoles de tungsteno, que cubren las propiedades del material, los procesos de fabricación y el control de calidad para garantizar que se satisfagan las necesidades del mercado nacional e internacional.

10.1.1 GB/T 3875-2017: Condiciones técnicas generales para los productos de tungsteno

Visión general de la norma

GB/T 3875-2017 estipula la composición química, las propiedades físicas, el proceso de fabricación y los métodos de prueba de los productos de tungsteno (incluidos crisoles de tungsteno, placas de tungsteno, varillas de tungsteno, etc.), que son adecuados para aplicaciones industriales de alta temperatura (como semiconductores, aeroespacial).

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Requisitos técnicos

Composición química: pureza del tungsteno > 99.95%, contenido de impurezas (Fe, Ni, C, etc.) < 100 ppm, elementos gaseosos (O, N) < 50 ppm.

Propiedades físicas:

Densidad: > 19,1 g/cm³ (sinterizado), > 19,25 g/cm³ (forjado).

Resistencia a la tracción: > 600 MPa (temperatura ambiente), > 300 MPa (1000 °C).

Dureza: > HV 350 (temperatura ambiente).

Calidad superficial: rugosidad Ra < 0,2 μm, sin grietas, porosidad ni inclusiones (diámetro > 0,1 mm).

Tolerancias dimensionales: diámetro ± 0,05 mm, espesor de pared ± 0,02 mm, adecuado para diámetros de crisol de 20 a 500 mm.

Proceso de fabricación: pulvimetalurgia (temperatura de sinterización 1800-2500°C), vacío o atmósfera inerte (contenido de oxígeno < 10 ppm).

Método de prueba:

Análisis químico: ICP-MS (precisión ± 0,1 ppm) para detectar impurezas, analizador de gases (precisión ± 0,01 ppm) para medir el contenido de O y N.

Prueba física: máquina de prueba universal para medir la resistencia a la tracción (error ± 1%), probador de dureza Vickers para medir la dureza (error ± 5 HV).

Inspección de superficies: microscopio óptico (resolución < 1 μm) para comprobar defectos, medidor de rugosidad superficial (precisión ± 0,01 μm).

Medidas dimensionales: telémetro láser (precisión ± 0,01 mm) con tolerancias según ISO 2768.

Requisitos de cumplimiento

Informe de inspección: Cada lote proporciona la composición química, las propiedades físicas y el informe de prueba de tamaño, que se archiva > durante 5 años.

Certificación de calidad: conforme a la norma ISO 9001, tasa de aprobación de lotes > del 99,5%.

Aplicaciones: Es adecuado para el crecimiento de silicio monocristalino, fundición de metales de tierras raras, etc., y satisface las necesidades de alta pureza (> 99,999%).

Ventajas y desafíos

Ventajas: El estándar cubre completamente el rendimiento de los productos de tungsteno, y el método de detección es preciso para garantizar la confiabilidad del crisol; Apoyar la competitividad de las exportaciones de la industria de tungsteno de China.

Desafío: Los requisitos de alta pureza aumentan los costos de producción; Es difícil para las pequeñas empresas estar equipadas con equipos de inspección de alta precisión.

10.1.2 GB/T 3459-2022: Requisitos técnicos para crisoles de tungsteno

Visión general de la norma

GB/T 3459-2022 está formulado específicamente para crisoles de tungsteno y especifica sus requisitos de diseño, fabricación, inspección y embalaje para aplicaciones de alta temperatura en las industrias de semiconductores, fotovoltaica y metalúrgica.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Requisitos técnicos

Material: Pureza de tungsteno >99.99%, impurezas (Si, Fe, Mo) <50 ppm, elementos gaseosos <20 ppm.

Rendimiento:

Resistencia a la temperatura: > 3000 ° C, choque térmico > 500 veces, sin grietas (>0,1 mm).

Conductividad térmica: > 100 W/m • K (1000 ° C), lo que garantiza un campo térmico uniforme ± 5 ° C.

Acabado superficial: Ra<0,1 μ m, para evitar la adherencia del material.

Dimensiones y construcción:

Diámetro: 20-500 mm, espesor de pared 1-10 mm, tolerancia $\pm 0,02$ mm.

Forma: redonda o personalizada, desviación del grosor del fondo < 0,05 mm.

Proceso de fabricación: prensado isostático (presión > 200 MPa), sinterización al vacío (temperatura > 2200°C, contenido de oxígeno < 5 ppm).

Embalaje: Sellado al vacío (<10 Pa), espuma resistente a los golpes (espesor > 10 mm), de acuerdo con GB/T 191.

Método de prueba:

Prueba de rendimiento: horno de alta temperatura simulado a 3000 ° C, prueba de choque térmico (tasa de aumento y caída de temperatura 10 ° C / min), detección de grietas (rayos X, resolución < 0,01 mm).

Análisis de superficies: Microscopía de fuerza atómica (AFM, precisión $\pm 0,001$ μ m) para medir la rugosidad, microscopía electrónica de barrido (SEM) para comprobar defectos microscópicos.

Inspección dimensional: Máquina de medición por coordenadas (MMC, precisión $\pm 0,005$ mm) con tolerancias según ISO 1101.

Detección química: GD-MS (espectrometría de masas de descarga incandescente, precisión $\pm 0,05$ ppm) para impurezas.

Requisitos de cumplimiento

Inspección de lotes: 5%-10% de muestreo por lote, tasa de aprobación > 99.8%.

Certificación: Debe superar pruebas de terceros (como SGS) e informar de que cumple los requisitos de CNAS.

Aplicación: Se utiliza para el crecimiento de silicio monocristalino por el método de Czochralski y la producción de cristales de zafiro, con una pureza de > 99,999%.

Ventajas y desafíos

Ventajas: Estándar optimizado para aplicaciones de alta temperatura en crisoles para garantizar un rendimiento estable; El método de detección es avanzado y admite la fabricación de alta precisión.

Desafío: Los estrictos requisitos de superficie y pureza dificultan el proceso; La inversión en equipos de prueba es alta y el costo de implementación de las pequeñas y medianas empresas es

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

alto.

10.1.3 YB/T 5174-2020: Estándar de la industria de crisoles de tungsteno

Visión general de la norma

YB / T 5174-2020 es el estándar de la industria para crisoles de tungsteno, que complementa GB/T 3459-2022, se centra en estandarizar el proceso de producción, el control de calidad y los requisitos de protección del medio ambiente, y es aplicable a las empresas de la industria de tungsteno de China.

Requisitos técnicos

Materias primas: tamaño de partícula de polvo de tungsteno 0,5-5 μm , pureza > 99,99%, contenido de O < 10 ppm.

Rendimiento:

Resistencia a la corrosión: resistente a la corrosión por silicio fundido y galio, con una tasa de corrosión de < 0,01 mm/año.

Resistencia mecánica: resistencia a la tracción > 700 MPa (temperatura ambiente), > 200 MPa (2000 ° C).

Estabilidad térmica: tasa de deformación < 0,1% a 3000 °C, coeficiente de expansión térmica < $4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$.

Fabricación: Recubrimiento CVD (SiC, espesor 0,05-0,1 mm) para mejorar la resistencia a la corrosión, pureza de la atmósfera de sinterización > 99,999%.

Protección del medio ambiente: producción de aguas residuales DQO < 50 mg / L, gas residual SO₂ < 200 mg / m³, tasa de recuperación de relaves > 50%.

Método de prueba:

Ensayo de corrosión: inmersión en silicio fundido (1600°C, 24 horas), medición de la profundidad de corrosión (precisión $\pm 0,001$ mm).

Ensayo mecánico: ensayo de tracción a alta temperatura (2000°C, error $\pm 1\%$), ensayo de dureza (error ± 5 HV).

Pruebas de protección del medio ambiente: control en línea de aguas residuales (pH 6-9, precisión $\pm 0,01$), gases de escape (partículas < 10 mg/m³).

Control de calidad: inspección completa del tamaño de cada lote (tolerancia $\pm 0,01$ mm), rendimiento de muestreo (tasa de aprobación > 99,5%).

Requisitos de cumplimiento

Registros: Producción, pruebas, archivo de datos de protección del medio ambiente > 5 años, tasa de trazabilidad > 99,9%.

Certificación: Cumple con la norma ISO 14001, la eliminación de residuos está sujeta a la aprobación local de protección del medio ambiente.

Aplicación: Es adecuado para la producción de obleas de silicio fotovoltaico y la preparación de semiconductores compuestos (como el GaN).

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Ventajas y desafíos

Ventajas: normas combinadas con requisitos de protección ambiental para promover la producción verde; Fuerte orientado a la industria y adecuado para el mercado chino.

Desafío: Alta frecuencia de pruebas de protección ambiental, aumentando los costos operativos; Es difícil para las pequeñas empresas cumplir con todos los requisitos de inspección.

10.2 Normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO)

La norma ISO proporciona una especificación global uniforme para la gestión de la calidad, la gestión ambiental y las pruebas de rendimiento a alta temperatura de los crisoles de tungsteno, lo que garantiza la consistencia y confiabilidad de los productos en el mercado internacional.

10.2.1 ISO 9001:2015: Sistema de Gestión de la Calidad

Visión general de la norma

La norma ISO 9001:2015 especifica los requisitos para un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) aplicable a la producción, inspección y gestión de la cadena de suministro de crisoles de tungsteno para garantizar la consistencia del producto y la satisfacción del cliente.

Requisitos técnicos

Control de procesos: desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de productos terminados, el proceso está documentado y la desviación es del <1%.

Objetivos de calidad: tasa de aprobación de lotes > 99,5%, tasa de reclamaciones de clientes < 0,1%.

Pruebas: La composición química (pureza > 99,99%), las dimensiones (tolerancia $\pm 0,02$ mm), el rendimiento (choque térmico > 500 veces) se registran completamente.

Mejora continua: auditoría de calidad anual, la tasa de implementación de las medidas de mejora > del 95%.

Cómo hacerlo

Gestión documental: registros electrónicos de calidad, archivo > 5 años, tasa de trazabilidad > 99,9%.

Capacitación: El > de capacitación anual de los empleados es de 20 horas, la tasa de cobertura es del 100% y la tasa de aprobación > del 95%.

Auditoría: Auditoría interna cada 6 meses, auditoría externa cada año, certificación válida por 3 años.

Comentarios de los clientes: Respuesta a las quejas < 24 horas, tasa de resolución > 98%.

Requisitos de cumplimiento

Certificación: Se requiere certificación de terceros (como TÜV, SGS) y la tasa de aprobación es del >98%.

Aplicación: Cubriendo la producción de crisoles de tungsteno, pruebas, embalaje, adecuado para semiconductores, aeroespacial.

Registros: Los datos de calidad y los informes de auditoría se archivan durante > 5 años, y la transparencia > del 90%.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Ventajas y desafíos

Ventajas: mejorar la consistencia de la calidad del producto y mejorar la competitividad en el mercado; Alto reconocimiento mundial, bueno para las exportaciones.

Desafíos: Alto costo de certificación y auditoría, difícil implementación para las pequeñas y medianas empresas; La gestión de documentos debe tener soporte digital.

10.2.2 ISO 14001:2015: Sistema de Gestión Ambiental

Visión general de la norma

La norma ISO 14001:2015 especifica los requisitos para que un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) guíe la gestión ambiental en la producción y reciclaje de crisoles de tungsteno para reducir las emisiones de carbono y la contaminación de los residuos.

Requisitos técnicos

Objetivos ambientales: emisiones de carbono < crisol de 30 toneladas/tonelada, aguas residuales DQO<50 mg/L, tasa de recuperación de relaves > 50%.

Gestión de recursos: 90% > aprovechamiento de materias primas y 15% de mejora en eficiencia energética.

Tratamiento de residuos: gases residuales SO<200 mg/m³, líquidos residuales metales pesados<0,1 mg/L, tasa de recuperación de residuos sólidos>90%.

Monitoreo: Monitoreo ambiental en línea (precisión $\pm 0.01\%$), archivo de datos > 5 años.

Cómo hacerlo

Evaluación Ambiental: Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) anual, 100% de cobertura.

Formación: La formación de los empleados en materia de protección del medio ambiente > 10 horas/año, con una tasa de cobertura del > del 95%.

Auditoría: Trimestral internamente, anualmente externamente, con una tasa de rectificación del > del 99%.

Tecnología verde: recuperación de calor residual (eficiencia > 15%), energías renovables (> 30%).

Requisitos de cumplimiento

Certificación: se requiere la certificación ISO 14001, el ciclo es de 3 años y la tasa de aprobación es del >98%.

Aplicación: Cobertura de producción, reciclaje, eliminación de residuos, REACH, cumplimiento de RoHS.

Informe: Los datos medioambientales son abiertos, la transparencia > el 95% y el archivo > 5 años.

Ventajas y desafíos

Ventajas: reducir el impacto ambiental en un 20% y mejorar la imagen verde de la empresa; El cumplimiento normativo reduce el riesgo de multas.

Desafío: Alta inversión en equipos de monitoreo ambiental, que representan entre el 10% y el 15% de los costos operativos; Las pequeñas y medianas empresas luchan por cumplir con los requisitos de auditoría de alta frecuencia.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

10.2 Normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) (continuación)

10.2.3 ISO 15730:2000: Ensayos de las propiedades a alta temperatura de materiales metálicos

Visión general de la norma

La norma ISO 15730:2000 especifica un método de ensayo para el rendimiento de materiales metálicos en entornos de alta temperatura, que es adecuado para la evaluación de la estabilidad térmica, la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión de los crisoles de tungsteno para garantizar su fiabilidad en condiciones extremas.

Requisitos técnicos

Temperatura de prueba: 1000 °C a 3000 °C, precisión de control de temperatura ± 2 °C.

Indicadores de rendimiento:

Resistencia a la tracción: > 200 MPa (2000 °C), error $\pm 1\%$.

Rendimiento de choque térmico: > 500 ciclos (tasa de aumento y caída de temperatura 10 °C/min), sin grietas ($> 0,1$ mm).

Resistencia a la corrosión: Resistente al silicio fundido y al galio, la tasa de corrosión $< 0,01$ mm/año.

Entorno de prueba: vacío ($< 10^{-5}$ Pa) o atmósfera inerte (contenido de oxígeno < 1 ppm).

Requisitos de la muestra: secciones de crisol (espesor 1-5 mm), rugosidad superficial $Ra < 0,2$ μm .

Método de prueba:

Tracción a alta temperatura: máquina de prueba universal de alta temperatura (precisión de carga $\pm 0.5\%$), pruebe la resistencia a 2000 °C.

Prueba de choque térmico: rampa rápida y horno de temperatura (velocidad 10-20 °C/min), detección de grietas por rayos X (resolución $< 0,01$ mm).

Ensayo de corrosión: ensayo de inmersión (1600-2000°C, 24 horas), análisis SEM de la profundidad de corrosión (precisión $\pm 0,001$ mm).

Registro de datos: archivo electrónico de los parámetros y resultados de las pruebas durante un período de > 5 años.

Requisitos de cumplimiento

Informes: Se proporcionan informes de rendimiento a altas temperaturas para cada lote, de acuerdo con las normas de laboratorio ISO 17025.

Certificación: El equipo de prueba debe calibrarse (error $< 0,5\%$) y los resultados se pueden rastrear.

Aplicación: Utilizado en reactores nucleares, verificación de componentes aeroespaciales a alta temperatura.

Ventajas y desafíos

Ventajas: Los métodos de prueba estándar garantizan un rendimiento constante de los crisoles a altas temperaturas para satisfacer las necesidades de aplicaciones extremas; Alto reconocimiento internacional.

Desafío: El equipo de prueba de alta temperatura es costoso, el costo de una sola prueba es de aproximadamente 0.5-10,000 yuanes y la simulación de entornos complejos requiere habilidades

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatingsten.com

profesionales.

10.3 Normas americanas (ASTM)

Las normas ASTM brindan orientación detallada sobre las especificaciones de los materiales, las pruebas de rendimiento y el análisis químico de los crisoles de tungsteno, que se utilizan ampliamente en los mercados de América del Norte y mundial.

10.3.1 ASTM B760-07 (2019): Especificación estándar para láminas, láminas y láminas de tungsteno

Visión general de la norma

ASTM B760-07 (2019) especifica la composición química, las propiedades mecánicas y los requisitos de fabricación de placas, láminas y láminas de tungsteno, y es aplicable a la producción de materias primas o componentes de crisol de tungsteno.

Requisitos técnicos

Composición química: Pureza del tungsteno >99.95%, impurezas (Fe, Ni, C) <100 ppm, O <20 ppm.

Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tracción: > 550 MPa (temperatura ambiente), > 150 MPa (1000 °C).

Elongación: >2% (temperatura ambiente), >5% (1000°C).

Dureza: > HV 300.

Calidad de la superficie: sin grietas, porosidad (>0,1 mm), rugosidad Ra <0,3 µm.

Tolerancias dimensionales: espesor ± 0,01 mm, ancho ± 0,05 mm, adecuado para espesores de pared de crisol de 1-10 mm.

Proceso de fabricación: sinterización por prensado en caliente (2000-2500°C), vacío o atmósfera de hidrógeno (contenido de oxígeno <5 ppm).

Método de prueba:

Análisis químico: ICP-OES (precisión ± 0,1 ppm) para detectar impurezas, analizador LECO para detectar O, N (precisión ± 0,01 ppm).

Ensayos mecánicos: Ensayo de tracción (ASTM E8, error ±1%), ensayo de dureza (ASTM E18, error ±5 HV).

Inspección de superficies: detección ultrasónica de defectos (resolución < 0,1 mm), rugosímetro (precisión ± 0,01 µm).

Inspección dimensional: medición láser (precisión ± 0,005 mm) de acuerdo con ANSI B46.1.

Requisitos de cumplimiento

Inspección: Se proporciona un Certificado de Material (CoA) para cada lote, que incluye la composición química y los datos de rendimiento.

Certificación: Cumple con la norma AS9100 (Sistema de Calidad Aeroespacial), con una tasa de aprobados del > del 99,5%.

Aplicación: Se utiliza como materia prima para boquillas aeroespaciales y crisoles de

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

semiconductores.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La norma regula el rendimiento de las materias primas en detalle para garantizar la consistencia de la fabricación de crisoles; El método de prueba está maduro y se puede utilizar en todo el mundo.

Desafío: Los requisitos de alta pureza aumentan los costos de refinación; Las láminas ultrafinas (<0,1 mm) son difíciles de inspeccionar.

10.3.2 ASTM E696-07 (2018): Especificación estándar para productos de tungsteno

Visión general de la norma

La norma ASTM E696-07 (2018) aborda los requisitos de rendimiento, fabricación y aceptación de los productos de tungsteno, incluidos los crisoles, y es adecuada para la industria de alta temperatura y la investigación científica.

Requisitos técnicos

Material: pureza de tungsteno > 99,99%, impurezas (Si, Mo, Fe) < 50 ppm, elementos de gas < 10 ppm.

Rendimiento:

Resistencia a la temperatura: > 3000 ° C, ciclo de choque térmico > 500 veces, tasa de deformación < 0.1%.

Resistencia a la corrosión: Resistente a metales fundidos (silicio, galio), tasa de corrosión < 0,01 mm/año.

Conductividad térmica: >100 W/m·K (1000°C).

Fabricación: pulvimetalurgia o pulverización por plasma, temperatura de sinterización > 2200 °C, pureza de la atmósfera > 99,999%.

Dimensiones: diámetro 20-500 mm, tolerancia de espesor de pared ± 0,02 mm, planitud del fondo < 0,05 mm.

Método de prueba:

Prueba de rendimiento: horno de alta temperatura (3000 °C, control de temperatura ±2 °C) uso simulado, prueba de choque térmico (ASTM E1461).

Ensayo de corrosión: inmersión en silicona fundida (1600 °C, 48 horas), medición de la pérdida de masa (precisión±0,001 g).

Inspección dimensional: MMC (precisión ±0,005 mm), análisis de superficies (SEM, precisión ± 0,001 μm).

Análisis químico: GD-MS (precisión±0,05 ppm) para detectar impurezas.

Requisitos de cumplimiento

Informes: Se proporcionan informes de rendimiento, tamaño y análisis químico para cada lote y el archivo > 5 años.

Certificación: Cumple con MIL-STD-810 (Pruebas ambientales militares) con una tasa de aprobación de > 99.8%.

[Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Aplicación: utilizado en fusión nuclear, producción de obleas de silicio fotovoltaico.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El estándar cubre el rendimiento a altas temperaturas y es adecuado para aplicaciones en entornos extremos; El método de prueba es preciso y los datos son creíbles.

Desafío: El costo de las pruebas a alta temperatura es alto, alrededor de 0.5-10,000 yuanes por una sola vez, y los estrictos requisitos de tolerancia aumentan la dificultad de fabricación.

10.3.3 ASTM E1447-09 (2016): Método para el análisis químico de materiales de tungsteno

Visión general de la norma

ASTM E1447-09 (2016) especifica un método de análisis químico para materiales de tungsteno para detectar la pureza y el contenido de impurezas de los crisoles de tungsteno para garantizar que se cumplan las aplicaciones de alta pureza.

Requisitos técnicos

Elementos de detección: Fe, Ni, Si, Mo, C, O, N, etc., límite de detección <0,1 ppm.

Pureza: Tungsteno >99,99%, impurezas totales <50 ppm, elementos gaseosos <10 ppm.

Preparación de la muestra: secciones de crisol (0,5-1 g), lavado superficial (< residual 0,01 μ g/cm²).

Precisión: error relativo <1%, repetibilidad > 99,5%.

Método de prueba:

ICP-MS: Detección de impurezas metálicas (Fe, Ni, Si), precisión \pm 0,1 ppm, límite de detección < 0,01 ppm.

Análisis LECO: se midió el contenido de C, O, N, la precisión fue de \pm 0.01 ppm y el límite de detección fue de 0.005 ppm.

GD-MS: Análisis de tungsteno de alta pureza con un límite de detección de < 0,05 ppm cubriendo > 20 elementos.

Tratamiento de la muestra: solubilización ácida (HNO₃+HCl, concentración 5 mol/L), limpieza ultrasónica (40 kHz).

Requisitos de cumplimiento

Laboratorio: se requiere acreditación ISO 17025, intervalo de calibración del equipo < 6 meses.

Informe: Resultados del análisis, métodos, errores, archivado >durante 5 años, > tasa de trazabilidad del 99,9%.

Aplicación: Se utiliza para la verificación de crisoles de tungsteno fotovoltaicos y semiconductores de alta pureza.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El análisis de alta precisión garantiza que la pureza del crisol sea > 99,999%, lo que satisface las necesidades de los semiconductores; Estandarización metodológica, reconocimiento global.

Desafío: El costo del equipo GD-MS es alto y el > de un solo dispositivo es de 10 millones de

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

yuanes; La preparación de muestras requiere un entorno ultralimpio, lo que aumenta los costos.

10.4 Otras normas internacionales

Otras normas internacionales (por ejemplo, JIS de Japón, DIN de Alemania, EN europea) proporcionan especificaciones complementarias para la fabricación, inspección y análisis de crisoles de tungsteno para mercados y aplicaciones específicos.

10.4.1 JIS H 4701:2015: Productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno

Visión general de la norma

JIS H 4701:2015 especifica la composición química, las propiedades y los requisitos de fabricación de los productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno, incluidos los crisoles, para la industria de alta temperatura en el mercado japonés.

Requisitos técnicos

Composición química: Pureza del tungsteno > 99.95%, impurezas (Fe, Ni, C) < 100 ppm, O < 20 ppm.

Rendimiento:

Resistencia a la tracción: > 600 MPa (temperatura ambiente), > 200 MPa (1000 ° C).

Dureza: > HV 350, choque térmico > 500 ciclos.

Rugosidad superficial: Ra < 0,2 μm, sin grietas (> 0,1 mm).

Fabricación: Prensado isostático en caliente (HIP, presión > 150 MPa), temperatura de sinterización 2000-2500 ° C.

Dimensiones: diámetro 20-300 mm, tolerancia ± 0,05 mm, espesor de pared 1-8 mm.

Método de prueba:

Análisis químicos: ICP-OES (precisión ± 0,1 ppm), análisis de gases (precisión ± 0,01 ppm).

Ensayos mecánicos: ensayo de tracción (JIS Z 2241, error ± 1%), ensayo de dureza (JIS Z 2245).

Inspección de superficies: microscopía óptica (resolución < 1 μm), detección ultrasónica de defectos (resolución < 0,1 mm).

Inspección dimensional: medición láser (precisión ± 0,01 mm) de acuerdo con JIS B 0405.

Requisitos de cumplimiento

Informes: Se proporciona un certificado de material para cada lote, de acuerdo con JIS Z 9001.

Certificación: Se requiere la verificación de JQA (Asociación Japonesa de Garantía de Calidad) y la tasa de aprobación es > 99.5%.

Aplicación: utilizado en la preparación de semiconductores compuestos (GaAs, GaN), instrumentos de precisión.

Ventajas y desafíos

Ventajas: El estándar es adecuado para el mercado asiático y el método de detección es simple y eficiente; Admite la producción de crisoles pequeños (< 50 mm).

Desafíos: Altos costos de certificación en el mercado japonés y altas barreras de entrada para las pequeñas y medianas empresas; El ciclo de actualización estándar es largo (5-10 años).

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

10.4.2 DIN EN 10204:2004: Documentos de inspección para productos metálicos

Visión general de la norma

La norma DIN EN 10204:2004 especifica el tipo y el contenido de los documentos de inspección para productos metálicos, incluidos los crisoles de tungsteno, lo que garantiza la trazabilidad de la calidad y la idoneidad para el mercado europeo.

Requisitos técnicos

Tipo de archivo:

2.1: Declaración de conformidad, confirmando que el producto cumple con los requisitos del pedido.

2.2: Informe de prueba, que proporciona datos de composición química y rendimiento.

3.1: Certificado de Inspección, emitido por el personal autorizado del fabricante, con los resultados detallados de las pruebas.

3.2: Certificado de inspección de terceros (por ejemplo, TÜV) que verifique la independencia.

Contenido: Aplicación: Composición química (> 99,99%), dimensiones ($\pm 0,02$ mm), rendimiento (choque térmico > 500 ciclos).

Registros: datos de inspección, número de lote, fecha de prueba, archivado > 5 años.

Cómo hacerlo

Registro de datos: archivo electrónico, formato PDF o XML, tasa de trazabilidad > 99,9%.

Verificación: Auditoría del fabricante o de un tercero (como SGS), tasa de aprobación > del 99,5 %.

Idioma: inglés o alemán, fuente > 12 pt, legible.

Distribución: Se proporciona versión en papel o electrónica con la mercancía, y el plazo de entrega < de 7 días.

Requisitos de cumplimiento

Certificación: Cumple con la norma EN ISO/IEC 17050 y el documento tiene una validez de > 3 años.

Aplicación: Utilizado en la industria aeroespacial, crisol de tungsteno semiconductor exportado a Europa.

Auditoría: Revisión anual de documentos, tasa de error < 0,1%, tasa de rectificación > 99%.

Ventajas y desafíos

Ventajas: La documentación estándar aumenta la confianza de los clientes y simplifica el acceso al mercado de la UE; La digitalización reduce los costes de gestión.

Desafío: El certificado tipo 3.2 debe ser verificado por un tercero, y el costo es de aproximadamente 0.5-10,000 yuanes / lote; El multilingüismo exige un aumento de los costes de traducción.

10.4.3 EN 10276-1:2000: Análisis químico de materiales de alta temperatura

Visión general de la norma

La norma EN 10276-1:2000 especifica métodos para el análisis químico de materiales de alta temperatura, como el tungsteno, para garantizar que el contenido de pureza e impurezas cumpla con los requisitos para aplicaciones de alta temperatura.

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Requisitos técnicos

Elementos de detección: Fe, Ni, Si, Mo, C, O, N, Límite de detección <0,1 ppm.

Pureza: Tungsteno >99,99%, impurezas totales <50 ppm, elementos gaseosos <10 ppm.

Muestra: secciones de crisol (0,5-2 g) con < residual de 0,01 μ g/cm².

Precisión: error relativo <1%, repetibilidad > 99,5%.

Método de prueba:

ICP-MS: Detección de impurezas metálicas con una precisión de $\pm 0,1$ ppm y un límite de detección de 0,01 ppm.

TGA-MS: Medición del contenido de O y N, precisión $\pm 0,01$ ppm, límite de detección 0,005 ppm.

XRF: Análisis rápido ($\pm 0,5$ ppm) para el cribado inicial.

Tratamiento de la muestra: soluble en ácido (HNO₃, 5 mol/L), limpieza ultrasónica (40 kHz).

Requisitos de cumplimiento

Laboratorio: Se requiere acreditación EN ISO/IEC 17025, intervalo de calibración del equipo < 6 meses.

Informe: Resultados del análisis, métodos, errores, archivado durante 5 años, tasa de trazabilidad >> 99,9%.

Aplicación: Utilizado para reactor nuclear, verificación de crisol de tungsteno aeroespacial.

Ventajas y desafíos

Ventajas: Análisis de alta precisión para aplicaciones de alta pureza (> 99,999%); El método es compatible con ASTM y se puede utilizar en todo el mundo.

Desafío: El equipo TGA-MS es caro, con un solo > de 5 millones de yuanes; La preparación de muestras requiere una sala limpia, lo cual es costoso.



Crisoles de tungsteno CTIA GROUP LTD

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

Apéndice

A. Glosario

Crisol de tungsteno : un recipiente hecho de tungsteno de alta pureza como material principal para la fusión a alta temperatura o la manipulación de materiales.

Pulvimetalurgia: la tecnología de fabricación de productos metálicos mediante prensado de polvo, sinterización y otros procesos.

Prensado isostático : El proceso de aplicar presión uniformemente en un medio líquido o gaseoso para formar un polvo.

Método de Czochralski : un proceso utilizado para el crecimiento de cristales individuales, comúnmente utilizado en la preparación de materiales semiconductores.

Resistencia al choque térmico: La capacidad de un material para resistir el agrietamiento bajo cambios rápidos de temperatura.

Sinterización: El proceso de calentar un material en polvo por debajo de su punto de fusión para formar un sólido.

Ensayos no destructivos: ultrasonidos, rayos X y otros métodos para detectar defectos internos de los materiales sin dañar la muestra.

Prensado isostático en caliente (HIP): Una tecnología de posprocesamiento para mejorar la densidad de los materiales a altas temperaturas y presiones.

Tamaño de grano : El tamaño promedio de los cristales en la microestructura de un material, que afecta las propiedades mecánicas.

Fluencia a alta temperatura: La deformación lenta de un material bajo tensión a largo plazo a altas temperaturas.

Coefficiente de expansión térmica: La tasa de cambio en el volumen o la longitud de un material bajo un cambio en la temperatura.

Rugosidad de la superficie: Una medida de las características microgeométricas de una superficie, generalmente expresada en Ra o Rz.

B. Referencias

- [1] Documento Estándar Nacional de la República Popular China
- [2] Plataforma Nacional de Servicios Públicos de Información Normalizada (www.sac.gov.cn).
- [3] Base de datos de normas internacionales ASTM
- [4] Catálogo de Normas ISO
- [5] Chinatungsten Online, Revisión de la tecnología de sinterización de crisoles de tungsteno, 2023
- [6] Cuenta oficial de WeChat en línea de Chinatungsten, Aplicación de la sinterización de hidrógeno en la producción de crisoles de tungsteno, 2024
- [7] Chinatungsten Online, Análisis de mejora del rendimiento para la optimización de la temperatura de sinterización, 2023
- [8] Manual Técnico de Pulvimetalurgia, Imprenta de la Industria Metalúrgica, 2020
- [9] Propiedades físicas y químicas del tungsteno, Chemical Industry Press, 2019
- [10] Chinatungsten Online, Aplicación de la tecnología de sinterización por gradiente en el crisol de tungsteno, 2023

Aviso de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2024 CTIA Todos los derechos reservados 电话/TEL:0086 592 512 9696

标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V

www.ctia.com.cn

sales@chinatungsten.com

[11] Chinatungsten Online, Progreso en la tecnología de control de tamaño de crisol de tungsteno, 2022

C. Lista de herramientas y equipos de uso común

Horno de sinterización de alta temperatura (vacío, protección de la atmósfera)

Prensa isostática (prensado isostático en frío y en caliente)

Centros de mecanizado CNC (torneado, fresado, rectificado)

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF)

Detector ultrasónico

Equipo de prueba de rendimiento a alta temperatura