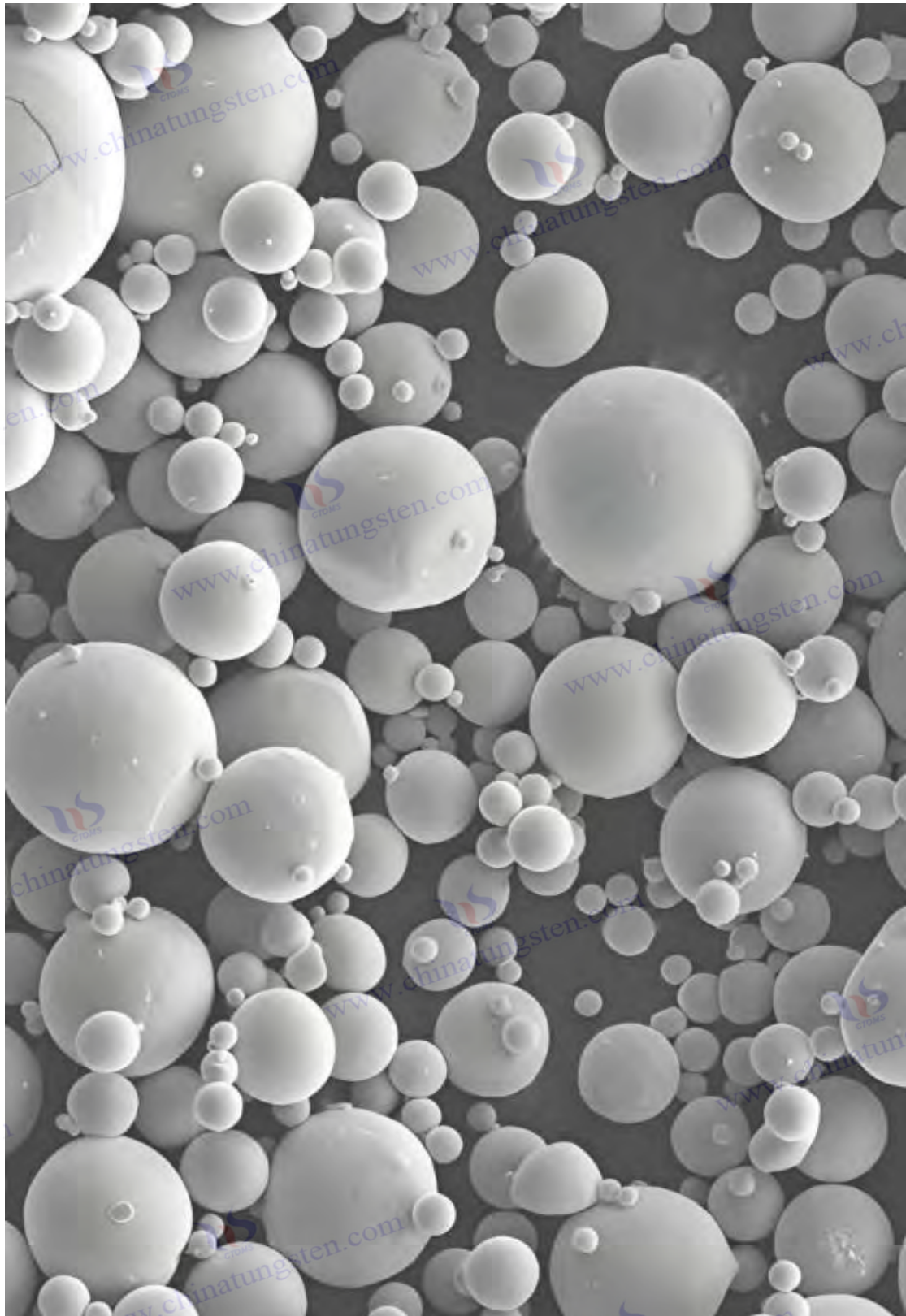




COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Lista completa de usos del polvo de tungsteno

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

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

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

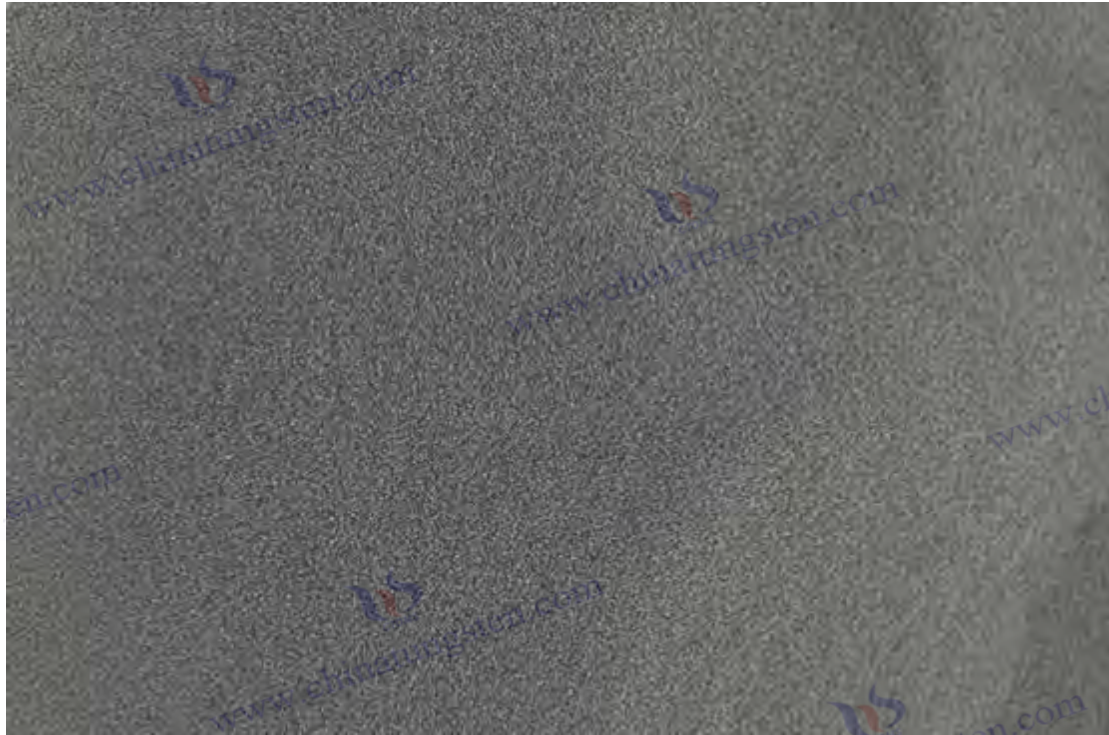
El Dr. Hanns y su equipo en CTIA GROUP, con más de 30 años de experiencia en la industria, han escrito y publicado análisis de conocimiento, tecnología, precios del tungsteno y tendencias del mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, compartiéndolos libremente con la industria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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



CONTENIDO

Prefacio

Propiedades físicas y químicas únicas y valor de aplicación del polvo de tungsteno

Objetivo del artículo: Revelar exhaustivamente los usos multidisciplinarios del polvo de tungsteno.

Fuentes de datos y métodos de investigación

Capítulo 1: Características básicas y aplicaciones del polvo de tungsteno

1.1 Propiedades físicas del polvo de tungsteno

1.1.1 Alto punto de fusión (3422 °C) y resistencia a altas temperaturas

1.1.2 Alta densidad (19,25 g/cm³) y ventajas de calidad

1.1.3 Base microscópica de la dureza y la resistencia al desgaste

1.1.4 Conductividad térmica y propiedades eléctricas

1.2 Propiedades químicas del polvo de tungsteno

1.2.1 Resistencia a la corrosión (estabilidad en entornos ácidos y alcalinos)

1.2.2 Antioxidación y comportamiento químico a alta temperatura

1.2.3 Inercia química y potencial catalítico

1.3 Forma y clasificación del polvo de tungsteno

1.3.0 Propiedades físicas y químicas y usos de las partículas de tungsteno

1.3.0.1 Definición y rango de tamaño de partículas de tungsteno (generalmente >100 μm)

1.3.0.2 Propiedades físicas de las partículas de tungsteno (alta densidad y resistencia a altas temperaturas)

1.3.0.3 Estabilidad química y características superficiales de las partículas de tungsteno

1.3.0.4 Usos principales de las partículas de tungsteno (relleno de soldadura, material de contrapeso)

1.3.0.5 Casos de aplicación de partículas de tungsteno (escenarios industriales y militares)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1.3.1 Características y usos del polvo grueso de tungsteno (5-50 μm)

- 1.3.1.1 Distribución del tamaño de partículas y características morfológicas del polvo grueso de tungsteno
- 1.3.1.2 Fluidéz y densidad aparente del polvo de tungsteno crudo
- 1.3.1.3 Resistencia a altas temperaturas y al desgaste del polvo de tungsteno grueso
- 1.3.1.4 Usos principales del polvo de tungsteno crudo (aleación de alta gravedad específica, electrodo de tungsteno)
- 1.3.1.5 Casos de aplicación industrial del polvo de tungsteno grueso

1.3.2 Características y usos del polvo de tungsteno de partículas medianas (4-8 μm)

- 1.3.2.1 Rango de tamaño de partícula y método de preparación de polvo de tungsteno de grano medio
- 1.3.2.2 Propiedades físicas del polvo de tungsteno de partículas medianas (densidad, dureza)
- 1.3.2.3 Fluidéz y propiedades de sinterización del polvo de tungsteno de grano medio
- 1.3.2.4 Usos principales del polvo de tungsteno de grano medio (aleación dura, pulverización térmica)
- 1.3.2.5 Ejemplos de aplicación de polvo de tungsteno de grano medio (herramientas y recubrimientos)

1.3.3 Escenarios de aplicación del polvo fino de tungsteno (0,1-5 μm)

- 1.3.3.1 Distribución del tamaño de partículas y actividad superficial del polvo fino de tungsteno
- 1.3.3.2 Alta superficie específica y reactividad del polvo fino de tungsteno
- 1.3.3.3 Tecnología de preparación y desafíos del polvo fino de tungsteno
- 1.3.3.4 Usos principales del polvo fino de tungsteno (alambre de tungsteno, catalizador)
- 1.3.3.5 Casos de investigación científica e industrial de polvo fino de tungsteno

1.3.4 Ventajas especiales del polvo de nano tungsteno (<100 nm)

- 1.3.4.1 Efecto cuántico y características del polvo de nanotungsteno
- 1.3.4.2 Alta actividad y dispersabilidad del polvo de nano tungsteno
- 1.3.4.3 Proceso de preparación de polvo de nano tungsteno (método de solución, método de fase gaseosa)
- 1.3.4.4 Usos principales del polvo de nano tungsteno (electrónica, medicina)
- 1.3.4.5 Casos de aplicación de vanguardia del polvo de nanotungsteno

1.3.5 Diferencias en el uso de polvos de tungsteno esféricos e irregulares

- 1.3.5.1 Preparación y ventajas morfológicas del polvo de tungsteno esférico
- 1.3.5.2 Características y rentabilidad del polvo de tungsteno irregular
- 1.3.5.3 Aplicación de polvo de tungsteno esférico en la impresión 3D
- 1.3.5.4 Aplicación de polvo de tungsteno irregular en la metalurgia tradicional
- 1.3.5.5 Comparación de casos reales de diferencias morfológicas

1.4 Base científica e industrial del uso del polvo de tungsteno

- 1.4.1 La posición central de la pulvimetalurgia
- 1.4.2 Impulsado por requisitos de alta temperatura y alta densidad
- 1.4.3 Diversidad de la tecnología de procesamiento de polvo de tungsteno
- 1.4.4 Evolución industrial de las aplicaciones del polvo de tungsteno
- 1.4.5 Casos de aplicación del polvo de tungsteno en la investigación científica

Capítulo 2: Aplicación del polvo de tungsteno en industrias tradicionales

2.1 Fabricación de carburo cementado

- 2.1.1 Materias primas sintéticas de polvo de carburo de tungsteno (WC)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 2.1.2 Herramientas de carburo WC-Co (corte, fresado, taladrado)
- 2.1.3 Herramientas de minería y perforación (brocas, taladros de roca)
- 2.1.4 Moldes y piezas resistentes al desgaste (matrices de estampación, boquillas de arenado)
- 2.1.5 Optimización del rendimiento y casos de aplicación del carburo cementado
- 2.2 Aleación de alta gravedad específica**
 - 2.2.1 Uso de aleación de tungsteno-níquel-hierro (W-Ni-Fe) como contrapeso
 - 2.2.2 Aplicaciones de conducción y disipación de calor de la aleación de tungsteno-cobre (W-Cu)
 - 2.2.3 Contrapesos aeroespaciales (giroscopios, bloques de equilibrio)
 - 2.2.4 Componentes de alta densidad en la industria automotriz
 - 2.2.5 Proceso de fabricación y casos de aleaciones de alta gravedad específica
- 2.3 Materiales de filamentos y electrodos de tungsteno**
 - 2.3.1 Dibujo y aplicación de filamentos de tungsteno (lámparas incandescentes y halógenas)
 - 2.3.2 Electrodo de tungsteno para soldadura por arco de argón (resistencia a altas temperaturas y estabilidad del arco)
 - 2.3.3 Mejora del rendimiento del alambre de tungsteno dopado (Th, La, Ce)
 - 2.3.4 Uso de electrodos de tungsteno en el corte por plasma
 - 2.3.5 Casos de producción industrial de alambre y electrodos de tungsteno
- 2.4 Materiales refractarios y componentes de alta temperatura**
 - 2.4.1 Crisol de tungsteno (fusión a alta temperatura y crecimiento de cristales)
 - 2.4.2 Placas y varillas de tungsteno (revestimiento de hornos de alta temperatura)
 - 2.4.3 Recubrimiento refractario a base de tungsteno (horno e incinerador)
 - 2.4.4 Efecto de refuerzo del polvo de tungsteno en ladrillos refractarios
 - 2.4.5 Escenarios típicos de aplicación de materiales refractarios

Capítulo 3: Aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación y tecnología avanzadas

3.1 Fabricación aditiva (impresión 3D)

- 3.1.1 Preparación de polvo de tungsteno esférico y requisitos de impresión 3D
- 3.1.2 Fabricación de componentes de tungsteno mediante fusión selectiva por láser (SLM)
- 3.1.3 Productos de tungsteno de alta densidad mediante fusión por haz de electrones (EBM)
- 3.1.4 Piezas estructurales complejas de tungsteno (boquillas aeroespaciales, disipadores de calor)
- 3.1.5 Casos de aplicación y tendencias del polvo de tungsteno para impresión 3D

Capítulo 4: El uso del polvo de tungsteno en el ámbito militar y de protección

4.1 Materiales militares

- 4.1.1 Núcleo perforante de aleación de tungsteno (alta densidad y penetración)
- 4.1.2 Material de blindaje a base de tungsteno (resistencia al impacto de W-Ni-Fe)
- 4.1.3 Aplicación superdura de polvo de tungsteno en cuchillos militares
- 4.1.4 Fabricación y uso de balas de fragmentación de aleación de tungsteno
- 4.1.5 Casos típicos de aplicación del polvo de tungsteno militar

4.2 Blindaje contra la radiación

- 4.2.1 Alta eficiencia del polvo de tungsteno en el blindaje contra rayos gamma
- 4.2.2 Materiales a base de tungsteno para la protección contra la radiación de neutrones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 4.2.3 Componentes de blindaje de la industria nuclear (reactores y recipientes)
- 4.2.4 Tecnología de preparación de materiales de blindaje compuestos de polvo de tungsteno
- 4.2.5 Análisis de caso práctico de blindaje radiológico
- 4.3 Aplicaciones en entornos extremos y de alta temperatura**
 - 4.3.1 Uso de polvo de tungsteno resistente al calor en toberas de cohetes
 - 4.3.2 Refuerzo de tungsteno en estructuras resistentes al desgaste de naves espaciales
 - 4.3.3 Recubrimiento protector de alta temperatura a base de tungsteno (carcasa de misil)
 - 4.3.4 Prueba de rendimiento del polvo de tungsteno en entornos extremos
 - 4.3.5 Estudio de caso de aplicaciones militares de alta temperatura

Capítulo 5: Aplicación del polvo de tungsteno en los campos médico y biológico

5.1 Dispositivos médicos

- 5.1.1 Aplicación del polvo de tungsteno en colimadores de radioterapia
- 5.1.2 Herramientas quirúrgicas a base de tungsteno (cuchillos y brocas)
- 5.1.3 Refuerzo de tungsteno en herramientas dentales (resistencia al desgaste y precisión)
- 5.1.4 Aplicación de polvo de tungsteno en el blindaje contra rayos X
- 5.1.5 Estudio de caso de polvo de tungsteno para dispositivos médicos

5.2 Materiales biocompatibles

- 5.2.1 Recubrimiento del dispositivo de implante modificado con polvo de tungsteno
- 5.2.2 Potencial de los materiales de reparación ósea a base de tungsteno
- 5.2.3 El papel auxiliar del polvo de tungsteno en la obtención de imágenes biológicas
- 5.2.4 Pruebas y estándares de biocompatibilidad
- 5.2.5 Ejemplos de aplicación del polvo de tungsteno en el campo biológico

5.3 Potencial médico del polvo de nanotungsteno

- 5.3.1 Aplicación del polvo de nanotungsteno en la administración de fármacos
- 5.3.2 Investigación del cáncer mediante terapia fototérmica con polvo de tungsteno
- 5.3.3 Propiedades antibacterianas y usos del polvo de nanotungsteno
- 5.3.4 Método de preparación de polvo de tungsteno mediante nanotecnología
- 5.3.5 Perspectivas futuras de las aplicaciones médicas del polvo de nanotungsteno

Capítulo 6: Aplicación del polvo de tungsteno en bienes de consumo y en el sector cultural

6.1 Productos deportivos y de ocio

- 6.1.1 Aplicación de polvo de tungsteno de alta densidad en palos de golf
- 6.1.2 Pesos de los aparejos de pesca (Ventajas ambientales de los plomos de tungsteno)
- 6.1.3 Fabricación de precisión de dardos de aleación de tungsteno
- 6.1.4 Tecnología de mejora del tungsteno para equipos deportivos
- 6.1.5 Lanzamiento de bala con núcleo de tungsteno
- 6.1.6 Núcleo de tungsteno de disco
- 6.1.7 Mancuernas y discos de barra de aleación de tungsteno
- 6.1.8 Jabalina de aleación de tungsteno
- 6.1.9 Punta de flecha de aleación de tungsteno
- 6.1.10 Balas deportivas de aleación de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

- 6.1.11 Balas de aleación de tungsteno para escopetas y armas de caza
- 6.1.12 Contrapeso sumergible de aleación de tungsteno
- 6.1.13 Peso del punto óptimo de la raqueta de tenis de aleación de tungsteno
- 6.1.14 Estudio de caso de polvo de tungsteno para artículos deportivos

6.2 Joyería y decoración de aleación de tungsteno

- 6.2.1 Joyas de oro y tungsteno (anillos, collares) hechas de polvo de tungsteno
- 6.2.2 Resistencia al desgaste y propiedades estéticas de la aleación de tungsteno
- 6.2.3 Aplicación precisa de polvo de tungsteno en piezas de relojería
- 6.2.4 Proceso de polvo de tungsteno para la fabricación de joyas
- 6.2.5 Casos típicos de joyería de polvo de tungsteno

6.3 Arte y pigmentos

- 6.3.1 Durabilidad y efectos de color de los pigmentos de polvo de tungsteno
- 6.3.2 Aplicación de protección contra incendios del recubrimiento artístico a base de tungsteno
- 6.3.3 Efecto de refuerzo del polvo de tungsteno en materiales de escultura
- 6.3.4 Tecnología de polvo de tungsteno para la fabricación de obras de arte

6.4 Productos de marcado de aleación de tungsteno

- 6.4.1 Propiedades del material y preparación de la aleación de tungsteno
- 6.4.2 Tarjetas de presentación de aleación de tungsteno de alta calidad
- 6.4.3 Tarjeta de oro del banco de aleación de tungsteno
 - 6.4.3.1 Características de rendimiento de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno
 - 6.4.3.2 Seguridad de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno
 - 6.4.3.3 Textura y nobleza de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno
 - 6.4.3.4 Propiedades antimagnéticas de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno
 - 6.4.3.5 Tarjeta bancaria de aleación de tungsteno con protección contra daños mecánicos
 - 6.4.3.6 Aplicación y perspectivas de mercado de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno
- 6.4.4 Placa de identificación para mascotas de aleación de tungsteno
- 6.4.5 Etiqueta de equipaje de aleación de tungsteno
- 6.4.6 Placa de identificación de soldado de aleación de tungsteno
- 6.4.7 Perspectivas de aplicación de los productos de marcado de aleación de tungsteno

6.5 Productos conmemorativos de aleación de tungsteno

- 6.5.1 Tarjeta conmemorativa de aleación de tungsteno
- 6.5.2 Tarjeta VIP chapada en oro de aleación de tungsteno
- 6.5.3 Ladrillo chapado en oro de aleación de tungsteno
- 6.5.4 Tarjeta de membresía de aleación de tungsteno
- 6.5.5 Tarjeta conmemorativa de Tungsten Alloy Company
- 6.5.6 Anillos de boda y aniversario de oro de aleación de tungsteno
- 6.5.7 Team Building y souvenirs de la conferencia
- 6.5.8 Perspectivas de aplicación de los productos conmemorativos de aleación de tungsteno
- 6.5.9 Tarjeta de cumpleaños de aleación de tungsteno
- 6.5.10 Memorial del centenario de aleación de tungsteno
- 6.5.11 Tarjeta conmemorativa del centenario de aleación de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Capítulo 7: Aplicación del polvo de tungsteno en el medio ambiente y la industria química

7.1 Catalizadores y sensores

- 7.1.1 Alta eficiencia del polvo de tungsteno en la catálisis de hidrogenación
- 7.1.2 Fotocatalizador a base de tungsteno (purificación ambiental)
- 7.1.3 Sensor de gas de polvo de tungsteno (detección de NO_x y CO)
- 7.1.4 Tecnología de preparación de polvo de tungsteno para portador de catalizador
- 7.1.5 Aplicaciones prácticas de catálisis y detección

7.2 Piezas resistentes a la corrosión y al desgaste

- 7.2.1 Aplicación de polvo de tungsteno en la protección de tuberías químicas
- 7.2.2 Diseño resistente a la corrosión de válvulas basadas en tungsteno
- 7.2.3 Cuerpo de bomba y agitador reforzados con polvo de tungsteno
- 7.2.4 Proceso de fabricación de componentes resistentes a la corrosión
- 7.2.5 Análisis de caso del polvo de tungsteno en la industria química

7.3 Materiales respetuosos con el medio ambiente

- 7.3.1 Adsorción de polvo de tungsteno en la filtración de gases de escape
- 7.3.2 Potencial de los materiales de tratamiento de agua a base de tungsteno
- 7.3.3 Durabilidad del recubrimiento ecológico de polvo de tungsteno
- 7.3.4 Tecnología de preparación de polvo de tungsteno para materiales respetuosos con el medio ambiente
- 7.3.5 Estudio de caso de la aplicación de polvo de tungsteno para la protección ambiental

Capítulo 8: Usos futuros y tendencias de desarrollo del polvo de tungsteno

8.1 Aplicaciones de vanguardia del polvo de nanotungsteno

- 8.1.1 Potencial del polvo de nanotungsteno en la tecnología cuántica
- 8.1.2 Aplicaciones fotoeléctricas y de detección del polvo de nanotungsteno
- 8.1.3 Diseño de materiales inteligentes de polvo de nanotungsteno
- 8.1.4 Desafíos de la preparación de polvo de tungsteno en nanotecnología
- 8.1.5 Perspectivas futuras del polvo de nanotungsteno

8.2 Sostenibilidad y reciclaje

- 8.2.1 Práctica industrial de reciclaje de residuos de polvo de tungsteno
- 8.2.2 Tendencias técnicas de la preparación verde de polvo de tungsteno
- 8.2.3 El papel del polvo de tungsteno en la economía circular
- 8.2.4 Estudio de caso de aplicación sostenible
- 8.2.5 Perspectivas del reciclaje de polvo de tungsteno

8.3 Campos emergentes y aplicaciones transfronterizas

- 8.3.1 Potencial del polvo de tungsteno en la electrónica flexible
- 8.3.2 Usos del polvo de tungsteno en la exploración espacial
- 8.3.3 Innovación del polvo de tungsteno en biotecnología
- 8.3.4 Tecnología de preparación de polvo de tungsteno en campos emergentes
- 8.3.5 Tendencias futuras de las aplicaciones transfronterizas

Apéndice A: Tabla de consulta rápida de propiedades físicas y químicas del polvo de tungsteno

Apéndice B: Normas internacionales relacionadas con el uso de polvo de tungsteno (China, ASTM,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO)

Norma nacional china para polvo de tungsteno GB/T 3458-2006 Polvo de tungsteno

Apéndice C: Lista de patentes de áreas de aplicación del polvo de tungsteno

Apéndice E: Guía de seguridad del polvo de tungsteno, Especificación del factor de seguridad del material del polvo de tungsteno (MSDS)

Hoja de datos de seguridad del material para polvo de tungsteno

Apéndice F: Glosario relacionado con el polvo de tungsteno en chino, inglés, japonés, coreano, alemán y ruso

F.1 Conceptos y propiedades básicas

F.2 Método de preparación

F.3 Áreas de aplicación

F.4 Seguridad y gestión

F.5 Composición química y derivados



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Prefacio

Propiedades físicas y químicas únicas y valor de aplicación del polvo de tungsteno.

El polvo de tungsteno, un metal conocido por su alto punto de fusión, alta densidad y alta dureza, ocupa un lugar insustituible en la industria y la tecnología modernas. Su punto de fusión alcanza los 3422 °C, siendo uno de los metales con mayor punto de fusión en la naturaleza, lo que le confiere una excelente estabilidad en entornos de temperaturas extremadamente altas. Su densidad alcanza los 19,25 g/cm³, lo que le confiere excelentes propiedades de contrapeso y protección. Asimismo, su dureza y resistencia al desgaste lo convierten en la opción ideal para la fabricación de materiales superduros y herramientas duraderas. Además, su resistencia a la corrosión y su inercia química amplían aún más su potencial de aplicación en los campos de la industria química, la medicina y la protección del medio ambiente. Desde partículas gruesas de tungsteno hasta polvos ultrafinos a escala nanométrica, sus características multimorfológicas satisfacen las diversas necesidades de propiedades de los materiales en diferentes industrias e impulsan innumerables innovaciones, desde la metalurgia tradicional hasta la tecnología de vanguardia. Se puede afirmar que el polvo de tungsteno no solo es la piedra angular de la industria, sino también un catalizador del progreso tecnológico. Su amplia gama de usos y su profundo valor merecen una exploración a fondo y un resumen sistemático.

Objetivo del artículo: Revelar exhaustivamente los usos multidisciplinarios del polvo de tungsteno.

Este libro busca ofrecer a los lectores una guía completa y detallada sobre el uso del polvo de tungsteno, abarcando sus aplicaciones en industrias tradicionales, manufactura avanzada, protección militar,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

biología médica, cultura de productos de consumo, química ambiental y campos emergentes. No solo nos centramos en los usos clásicos del polvo de tungsteno, como la producción de carburo cementado y alambre de tungsteno, sino también en sus aplicaciones innovadoras en campos de vanguardia como la impresión 3D, la nanotecnología y el almacenamiento de energía. Mediante el análisis de las características del polvo de tungsteno en diferentes formas (como partículas de tungsteno, polvo grueso, partículas medianas, polvo fino y nanopolvo), así como la presentación de casos específicos para cada uso, este libro busca revelar cómo el polvo de tungsteno puede desplegar sus ventajas únicas en diferentes escenarios. Al mismo tiempo, exploraremos las tendencias futuras en el uso del polvo de tungsteno, incluyendo el potencial para el desarrollo sostenible y las aplicaciones transfronterizas, y proporcionaremos referencias teóricas e inspiración práctica para investigadores, ingenieros y profesionales de la industria.

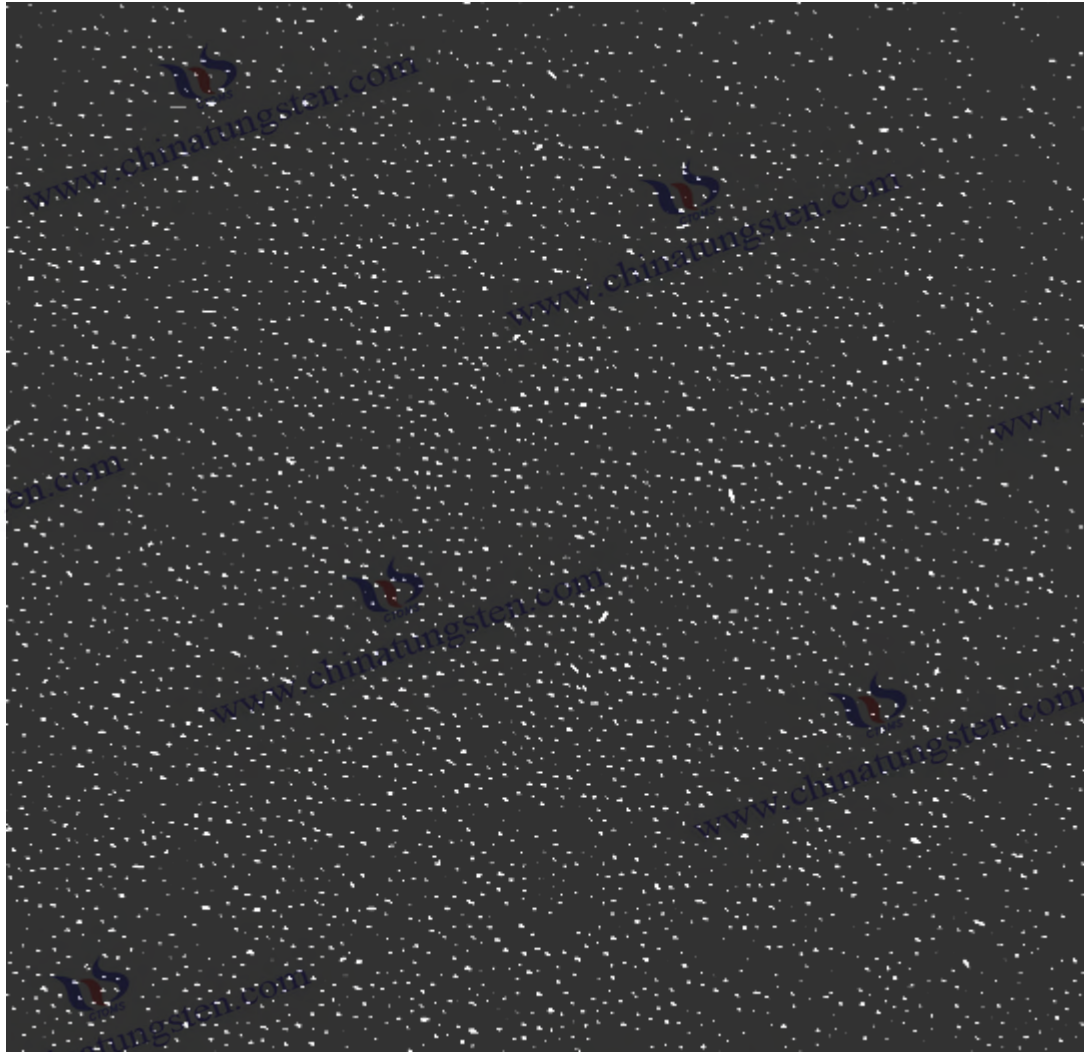
Fuentes de datos y métodos de investigación

El contenido de este libro se basa en una extensa investigación bibliográfica y datos de la práctica industrial, integrando diversos recursos como revistas académicas, patentes, informes técnicos y casos corporativos. Los datos principales provienen de normas internacionales (como ASTM e ISO), las últimas investigaciones en el campo de la producción y aplicación global de polvo de tungsteno, e informes de la industria sobre mercados importantes como China, Europa y Norteamérica. Para garantizar la exhaustividad y precisión del contenido, adoptamos un método de investigación interdisciplinario que combina la ciencia de los materiales, la tecnología de la ingeniería, el análisis químico y la previsión de tendencias del mercado, y analizamos sistemáticamente las características y los usos del polvo de tungsteno. A su vez, mediante investigación de campo y entrevistas con expertos, se complementó con numerosos casos prácticos, lo que confiere a este libro una gran profundidad académica y un gran valor práctico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

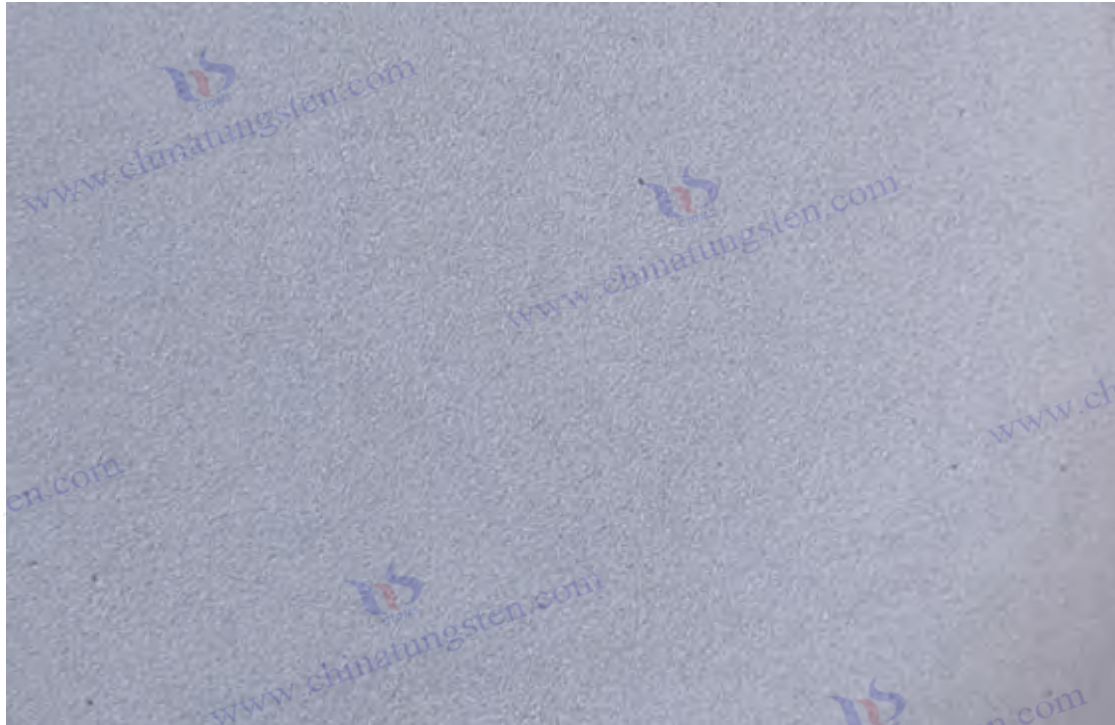
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Capítulo 1 Características básicas y aplicaciones del polvo de tungsteno

1.1 Propiedades físicas del polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno ocupa un lugar central en la industria y la investigación científica gracias a sus excelentes propiedades físicas. Su principal uso es la generación de polvo de carburo de tungsteno (WC) mediante la reacción de carburación y la producción de carburo cementado, que representa más del 50 % del consumo mundial de recursos de tungsteno. A continuación, se presenta un análisis de sus propiedades físicas desde múltiples perspectivas.

1.1.1 Alto punto de fusión (3422 °C) y resistencia a altas temperaturas

El punto de fusión del polvo de tungsteno es de 3422 °C, el más alto en la naturaleza. Proviene de la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC), y la energía de enlace de la capa electrónica 5d es de aproximadamente 850 kJ/mol. La entalpía de fusión es de 192 kJ/mol, la presión de vapor a 3000 °C es de 10^{-4} Pa y la tasa de pérdida de masa es $<0,1$ % (TGA). Durante el proceso de carburación (1400-1600 °C), la resistencia térmica garantiza un rendimiento de WC del 99,5 %, y la vida útil de las herramientas de WC-Co se quintuplica. El alambre de tungsteno opera a 2000 °C y tiene una vida útil de 1200 horas. En el futuro, podrá utilizarse para materiales de fusión nuclear a 4000 °C.

1.1.2 Alta densidad (19,25 g/cm³) y ventajas de calidad

Densidad de 19,25 g/cm³ (método de Arquímedes), densidad compactada de 8-14 g/cm³, derivada del número atómico 74 y la red BCC (3,165 Å). En el carburo cementado, la densidad del WC-Co es de 14-15 g/cm³, lo que aumenta la resistencia al impacto en un 30 % y reduce el volumen de aplicación del contrapeso en un 25 %. En el futuro, podrá utilizarse para micropiezas de alta densidad.

1.1.3 Base microscópica de la dureza y la resistencia al desgaste

Dureza Mohs 7,5, Vickers 400-450 HV, alta resistencia a la dislocación, índice de desgaste 0,02 mm³/N·m. Dureza WC tras la carburación HV 1500-2000, lo que aumenta la vida útil de la herramienta 5 veces. Módulo elástico 411 GPa, lo que aumenta la resistencia al desgaste del recubrimiento por pulverización térmica un 40 %. En el futuro, podría alcanzar los 2200 HV.

1.1.4 Conductividad térmica y propiedades eléctricas

La conductividad térmica es de 173 W/(m·K), la conductividad eléctrica es de 18 MS/m y la resistividad es de $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (aumentada a $8,0 \times 10^{-8}$ a 2000 °C). Un aumento del 10 % en la tasa de formación de WC durante la carbonización puede mejorar la eficiencia de disipación térmica de la herramienta en un 20 %. En el futuro, la eficiencia de conversión termoelectrónica podrá optimizarse al 10 %.

1.2 Propiedades químicas del polvo de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las propiedades químicas del polvo de tungsteno proporcionan estabilidad para sus aplicaciones.

1.2.1 Resistencia a la corrosión (estabilidad en ambientes ácidos y alcalinos)

Una mezcla de 36 % de HCl y 98 % de H₂SO₄ presenta una pérdida inferior a 0,1 mm/año; una mezcla de 70 % de HNO₃ genera una capa de WO₃ (5-10 nm) y 10 mol/L de NaOH forma una película de Na₂WO₄ (0,05 mm/año). La pérdida de masa es inferior al 0,2 %, lo que mantiene una pureza del WC del 99,9 % y triplica la vida útil del carburo cementado.

1.2.2 Propiedades antioxidantes y comportamiento químico a alta temperatura

La tasa de ganancia de peso por oxidación a <600 °C es de 0,01 mg/cm²·h, a 1000 °C es de 2 mg/cm²·h y la pérdida de masa a 1500 °C es <1 %. Se aumenta el rendimiento de la capa de cal en un 5 % y la tenacidad de la herramienta en un 10 % durante la carbonización. En el futuro, la dopación con CeO₂ podrá aumentarse a 800 °C.

1.2.3 Inercia química y potencial catalítico

La densidad de la nube electrónica es de 5×10^{23} e/cm³, la solubilidad es <0,001 g/L y la velocidad de descomposición del H₂ catalizada por el polvo de nanotungsteno es de 10^{-3} mol/g·s. El carburo cementado se basa en su inercia y puede utilizarse para la reducción de CO₂ en el futuro.

1.3 Forma y clasificación del polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno se clasifica por tamaño de partícula y morfología, con diferentes propiedades y usos.

1.3.0 Propiedades físicas y químicas y usos de las partículas de tungsteno

1.3.0.1 Definición y rango de tamaño de partícula de las partículas de tungsteno (generalmente >100 μm)

Los gránulos de tungsteno se fabrican mediante la trituration mecánica de bloques metálicos de tungsteno, con un tamaño de partícula de 0,8-1,2 mm (aproximadamente 1 mm), muy superior al del polvo de tungsteno convencional (<50 μm). Se preparan mediante una trituradora de mandíbulas (fuerza de trituration de 500-1000 kN) y un cribado multietapa (agujero de tamiz de 1 mm), con un procesamiento de 1 a 2 toneladas por hora y un costo de \$2000-3000/tonelada. El lavado ácido (HF al 5 %, 10 minutos) elimina los óxidos, y la pureza alcanza el 99,95 % (ICP-MS). CTIA GROUP LTD es un fabricante profesional de gránulos de tungsteno de renombre mundial que satisface las necesidades de análisis de carbono y azufre con tecnología avanzada y alta consistencia, y sus productos tienen una cuota de mercado internacional del 20 %. La distribución del tamaño de partícula de los gránulos de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno se mide mediante un analizador de tamaño de partícula láser, con D50 de 1,0 mm, D10 y D90 de aproximadamente 0,8 mm y 1,2 mm, respectivamente, y un coeficiente de uniformidad de <1,2.

1.3.0.2 Propiedades físicas de las partículas de tungsteno (alta densidad y resistencia a altas temperaturas)

Densidad 19,25 g/cm³ (método de Arquímedes), densidad compactada 12-14 g/cm³, derivada de la red BCC (constante de red 3,165 Å). Punto de fusión 3422 °C, conductividad térmica 173 W/(m·K), pérdida de masa <1 % en horno a 1300-1800 °C, el análisis termogravimétrico (TGA) muestra una pérdida del 0,05 % por debajo de 2000 °C. Dureza 400-450 HV (durometro Vickers, 10 kgf), módulo elástico 411 GPa, coeficiente de fricción 0,4-0,6, índice de desgaste 0,02 mm³/N·m. Tras 60 usos consecutivos a 1500 °C, atenuación del rendimiento <2 %, la uniformidad de la distribución del calor mejoró un 15 % (medición de temperatura por infrarrojos). Velocidad del sonido: 5180 m/s, reflectividad: 50-60%, lo que permite un aumento del 25% en la eficiencia de trituración ultrasónica. Estas características le confieren un excelente rendimiento en análisis a alta temperatura.

1.3.0.3 Estabilidad química y características superficiales de las partículas de tungsteno

Fuerte resistencia a la corrosión, la tasa de corrosión en 36% HCl es de 0,1 mm/año, en 98% H₂SO₄ es de 0,08 mm/año, 70% HNO₃ genera una capa WO₃ (5-10 nm), 10 mol/L NaOH forma una película Na₂WO₄ (2-8 nm), y la tasa de corrosión es de 0,05 mm/año. En términos de comportamiento de oxidación, la tasa de ganancia de peso es de 0,01 mg/cm² · h a <600 °C y de 2 mg/cm² · h a 1000 °C (TGA). El espesor de la capa superficial de WO₃ es de 2-10 nm (XPS), la rugosidad Ra es de 1-5 μm (AFM), la cantidad de adsorción es de 0,1 mg/g y la pureza es del 99,9%. En un entorno de SO₂ (500 ppm), la pérdida de masa es <0,2 % y la tasa de detección de azufre es estable.

1.3.0.4 Principales usos de las partículas de tungsteno (relleno de soldadura, material de contrapeso)

Especialmente utilizado como fundente para analizadores de carbono-azufre, la adición de 2 g de pellets de tungsteno en un horno de inducción de alta frecuencia a 1300-1800 °C aumenta la eficiencia de descomposición de la muestra en un 20 %, la tasa de detección de azufre en un 98 % y el error en ±0,003 %. Su alta densidad garantiza una sedimentación uniforme en el crisol, con una tasa de salpicadura <0,1 % (caudal de oxígeno de 3 l/min); su resistencia a altas temperaturas facilita el análisis de muestras con alto punto de fusión (como hierro fundido, punto de fusión de 1200 °C) y aumenta la eficiencia de combustión en un 20 %. En CS-744, el tiempo de combustión se acorta en un 25 % y los residuos se reducen en un 10 %.

1.3.0.5 Casos de aplicación de gránulos de tungsteno (escenarios industriales y militares)

En el análisis de pirita, 2 g de pellets de tungsteno resultaron en una tasa de detección de azufre del 98% con una repetibilidad de ±0,003%; en la determinación de acero de alto carbono (contenido de carbono

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4%), el tiempo de combustión se acortó de 15 segundos a 10 segundos, y el error de carbono fue $<0,002\%$. En LECO CS844, después de 60 usos consecutivos, la tasa de descomposición fue del 99% y la uniformidad del residuo se mejoró en un 20%. En ELTRA CS-2000, la eficiencia de determinación de muestras de carbón (contenido de azufre 2%) se incrementó en un 15%, y la fluctuación de la temperatura de combustión fue $<5\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el campo militar, los pellets de tungsteno se utilizan para el análisis de aleaciones de alto punto de fusión para garantizar una precisión de $\pm 0,001\%$.

1.3.1 Características y usos del polvo grueso de tungsteno (5-50 μm)

1.3.1.1 Distribución del tamaño de partícula y características morfológicas del polvo grueso de tungsteno

Tamaño de partícula 5-50 μm , D50 aproximadamente 20 μm (analizador láser de tamaño de partícula), D10 es 5 μm , D90 es 45 μm y ancho de distribución σ es aproximadamente 15 μm . Morfología irregular (SEM), rugosidad superficial Ra 2-4 μm , partículas multiángulo, longitud de borde 5-10 μm , densidad de defectos superficiales $10^{-6}/\text{cm}^2$. La morfología se deriva de la molienda mecánica después de la reducción de hidrógeno de WO_3 (800-1000 $^{\circ}\text{C}$), y el tamaño de grano es de aproximadamente 2 μm (DRX). En comparación con el polvo de tungsteno esférico, la rugosidad es un 30 % mayor, lo que afecta la fluidez.

1.3.1.2 Fluidez y densidad aparente del polvo de tungsteno crudo

Fluidez $> 20\text{ s}/50\text{ g}$ (caudalímetro Hall); la fricción aumenta debido a las esquinas. Densidad aparente: 6-8 g/cm^3 ; densidad aparente: 8-12 g/cm^3 ; hasta 14 g/cm^3 con un tamaño de partícula que aumenta hasta 50 μm . Densidad del prensado (200 MPa): 18 g/cm^3 ; porosidad $< 2\%$. En comparación con el polvo de tungsteno de partículas medianas (15-20 s/50 g), la fluidez es un 20 % menor, pero la densidad aparente es un 10 % mayor, lo que lo hace adecuado para piezas de gran volumen.

1.3.1.3 Resistencia a altas temperaturas y al desgaste del polvo de tungsteno grueso

Punto de fusión: 3422 $^{\circ}\text{C}$, conductividad térmica: 173 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, pérdida de masa por sinterización a 1600 $^{\circ}\text{C}$ $<0,5\%$ (TGA). Dureza: 400 HV, tasa de desgaste: 0,02 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (prueba de fricción, 100 N). La resistencia al desgaste se obtiene mediante la resistencia del borde de grano (10^8 Pa). A 2000 $^{\circ}\text{C}$, la tasa de crecimiento del grano es de 0,1 $\mu\text{m}/\text{h}$, superior a la del molibdeno (0,5 $\mu\text{m}/\text{h}$). Tras la carburación, la dureza del acero de alta temperatura (WC) es de 1500 HV y la resistencia al desgaste se quintuplica.

1.3.1.4 Principales usos del polvo de tungsteno crudo (aleación de alta gravedad específica, electrodo de tungsteno)

El principal uso es la carburación de WC (que representa el 30 % del consumo de tungsteno) para obtener aleaciones duras; una parte se prensa para formar aleaciones W-Ni-Fe (densidad de 17-18 g/cm^3) para contrapesos o electrodos de tungsteno (resistentes a 2000 $^{\circ}\text{C}$). El proceso de carburación se realiza a 1400 $^{\circ}\text{C}$, con un rendimiento de WC del 99,5 % y un tamaño de partícula de 20-30 μm . La resistencia a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la tracción de la aleación W-Ni-Fe es de 800 MPa y la densidad de corriente del electrodo de tungsteno es de 200 A/cm².

1.3.1.5 Casos de aplicación industrial del polvo grueso de tungsteno

Las herramientas WC-Co aumentan la eficiencia de corte de acero en un 40 % y tienen una vida útil de 5000 horas; el peso y el volumen de los giroscopios de aviación se reducen en un 25 % y la estabilidad rotacional mejora en un 15 % (10 000 rpm); los electrodos de tungsteno sueldan aleaciones de aluminio con una vida útil de 500 horas y una mejora del 20 % en la calidad de la soldadura. En minería, las brocas WC aumentan la velocidad de perforación en un 30 % y reducen los costos en un 15 %.

1.3.2 Características y usos del polvo de tungsteno de partículas medianas (4-8 μm)

1.3.2.1 Rango de tamaño de partícula y método de preparación de polvo de tungsteno de grano medio

Tamaño de partícula: 4-8 μm, D50: aproximadamente 6 μm (analizador láser de tamaño de partícula), D10: 4 μm, D90: 8 μm. La preparación se realiza mediante reducción de WO₃ con hidrógeno (700-900 °C, flujo de H₂: 5 l/min, contenido de oxígeno <0,05 %), tiempo de reducción: 2 horas, rendimiento: 95 %; o mediante esferoidización por plasma (50 kW, flujo de Ar: 20 l/min), tasa de esferoidización: 90 %. El tamaño de grano es de aproximadamente 1 μm (TEM), con una pureza del 99,9 %.

1.3.2.2 Propiedades físicas del polvo de tungsteno de partículas medianas (densidad, dureza)

Densidad: 19 g/cm³ (método de Arquímedes), dureza: 400 HV, punto de fusión: 3422 °C, módulo elástico: 411 GPa, conductividad térmica: 173 W/(m·K). La pérdida de masa por sinterización a 1600 °C es <0,3 % y la pérdida de dureza es <5 %. En comparación con el polvo de tungsteno grueso, las partículas son más uniformes y la consistencia de la densidad se mejora en un 10 %.

1.3.2.3 Fluidéz y propiedades de sinterización del polvo de tungsteno de grano medio

Fluidéz: 15-20 s/50 g, densidad aparente: 8-10 g/cm³, densidad compactada: 10-14 g/cm³. Sinterizado (1600 °C, 500 MPa): densidad de 14-15 g/cm³, porosidad <1 %, contracción: 10-15 %, tiempo de sinterización: 1 hora, dureza WC-Co HV 1500. Su fluidéz es un 20 % superior a la del polvo de tungsteno grueso, y su densidad sinterizada es un 5 % superior.

1.3.2.4 Usos principales del polvo de tungsteno de partículas medianas (aleación dura, pulverización térmica)

El WC se produce por carburación, que se utiliza para el carburo cementado de WC-Co (que representa el 20 % del consumo de tungsteno), con una dureza de HV 1500. La resistencia al desgaste del recubrimiento por pulverización térmica aumenta un 40 % y el espesor es de 100-200 μm. El proceso de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carburación se realiza a 1450 °C, el tamaño de partícula del WC es de 5-7 µm y el rendimiento es del 99,8 %.

1.3.2.5 Ejemplos de aplicación de polvo de tungsteno de partículas medianas (herramientas y recubrimientos)

La fresa WC-Co procesa aleaciones de aluminio a una velocidad de 200 m/min, con una vida útil un 30 % mayor y una precisión de corte de $\pm 0,02$ mm. El recubrimiento WC-Co se aplica a las hélices de barcos, lo que permite resistir la erosión del agua de mar durante 10 años y reduce el desgaste un 50 %. En moldes automotrices, la vida útil de las herramientas WC-Co aumenta un 40 % y la eficiencia de procesamiento un 25 %.

1.3.3 Escenarios de aplicación del polvo fino de tungsteno (0,1-5 µm)

1.3.3.1 Distribución del tamaño de partículas y actividad superficial del polvo fino de tungsteno

Tamaño de partícula: 0,1-5 µm, D50: aproximadamente 2 µm, D10: 0,1 µm, D90: 4,5 µm (analizador láser de tamaño de partícula). Superficie específica: 2-10 m²/g (método BET), que aumenta al disminuir el tamaño de partícula: 5 m²/g a 2 µm, 10 m²/g a 0,1 µm. Adsorción superficial de O₂: 0,2 mg/g; densidad del sitio activo: 10¹⁷/m².

1.3.3.2 Alta superficie específica y reactividad del polvo fino de tungsteno

Su alta superficie específica mejora la eficiencia de carbonización; el rendimiento de WC es del 99,8 % y el tamaño de partícula es de 1-3 µm. En la reacción catalítica, la velocidad de descomposición de H₂ es de 10⁻⁴ mol/g·s, diez veces superior a la del polvo de tungsteno grueso. La actividad superficial se debe a una densidad de defectos de 10⁷/cm² (TEM); la entalpía de adsorción de O₂ es de aproximadamente 50 kJ/mol.

1.3.3.3 Tecnología de preparación y desafíos del polvo fino de tungsteno

Reducción de hidrógeno (600-800 °C, caudal de H₂ 3 L/min), secado por aspersión para controlar el contenido de oxígeno <0,03 %, rendimiento del 90 %. Los desafíos incluyen la aglomeración (requiere dispersión ultrasónica de 300 W) y la oxidación (el almacenamiento requiere protección contra Ar). En comparación con el polvo de tungsteno crudo, el coste de preparación es un 50 % superior y el consumo de energía se incrementa un 30 %.

1.3.3.4 Principales usos del polvo fino de tungsteno (alambre de tungsteno, catalizador)

Alambre de tungsteno trefilado (resistencia a la tracción: 3000 MPa, elongación: 5%); WC carburizado (que representa el 10% del consumo de tungsteno) o utilizado como catalizador (actividad específica: 10¹⁶/m²). Diámetro del alambre de tungsteno: 0,01-0,1 mm; tamaño de partícula de WC: 1-2 µm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.3.5 Casos de investigación científica e industrial de polvo fino de tungsteno

La vida útil del filamento halógeno es de 1200 horas y el brillo se incrementa en un 20 %. La dureza del carburo cementado de grano fino WC-Co aumenta en un 5 % y se utiliza en herramientas de precisión con una precisión de corte de $\pm 0,01$ mm. En la investigación científica, se utiliza polvo fino de tungsteno como catalizador, lo que aumenta la eficiencia de oxidación del CO en un 15 %.

1.3.4 Ventajas especiales del polvo de nano tungsteno (<100 nm)

1.3.4.1 Efectos cuánticos y características del polvo de nanotungsteno

Tamaño de partícula <100 nm, D50 de aproximadamente 50 nm (TEM), área superficial específica de 20-50 m²/g. El efecto cuántico aumenta la banda prohibida a 2,8 eV (UV-Vis), densidad del sitio activo superficial de 10¹⁸/m², dureza de 500 HV, densidad de 19 g/cm³.

1.3.4.2 Alta actividad y dispersabilidad del polvo de nano tungsteno

La velocidad de descomposición del H₂ es de 10⁻³ mol/g·s y la entalpía de adsorción es de 60 kJ/mol. La dispersabilidad requiere una potencia ultrasónica de 500 W, una tasa de aglomeración <10 % y el almacenamiento requiere sellado al vacío. La actividad proviene de la superficie W⁶⁺, que representa el 90 % (XPS).

1.3.4.3 Proceso de preparación de polvo de nano tungsteno (método de solución, método de fase gaseosa)

Método hidrotérmico (200 °C, 2 MPa, rendimiento del 80 %), tamaño de grano de 30 a 50 nm; deposición de vapor (1000 °C, caudal de Ar de 1,0 L/min), rendimiento del 85 %. Costo: 100 \$/kg, consumo energético un 50 % superior, necesidad de prevenir la oxidación.

1.3.4.4 Principales usos del polvo de nano tungsteno (electrónica, medicina)

Pasta conductora (resistividad 10⁻⁶ Ω·m); pequeñas cantidades de nano-WC carbonizado (que representan el 5% del consumo de tungsteno), o utilizado para terapia fototérmica (tasa de absorción del 90%). Tamaño de partícula de WC: 50-80 nm, dureza: 2200 HV.

1.3.4.5 Casos de aplicación de vanguardia del polvo de nano tungsteno

La conductividad del recubrimiento electrónico flexible aumentó en un 15%, con un espesor de 10 μm; la dureza de la herramienta nano-WC aumentó en un 10%, con una precisión de corte de $\pm 0,005$ mm; durante la terapia fototérmica, la tasa de ablación del tumor aumentó en un 20%, con la temperatura controlada a 50°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.5 Diferencias en los usos de polvos de tungsteno esféricos e irregulares

1.3.5.1 Ventajas de preparación y morfología del polvo de tungsteno esférico

Esferoidización de plasma (50 kW, caudal de Ar 20 L/min), tamaño de partícula 5-50 μm , fluidez <10 s/50 g, tasa de esferoidización >95 %. Morfología uniforme (SEM), rugosidad superficial Ra 0,5-1 μm , densidad de defectos $10^{-5} / \text{cm}^2$.

1.3.5.2 Características y rentabilidad del polvo de tungsteno irregular

Trituración mecánica, tamaño de partícula de 5-50 μm , fluidez >20 s/50 g, 30 % menor costo (50 \$/kg). Dureza 400 HV, alta resistencia al desgaste, tamaño de grano de 2-5 μm .

1.3.5.3 Aplicación de polvo de tungsteno esférico en la impresión 3D

Para piezas de aviación, densidad del 99 %, precisión de $\pm 0,05 \text{ mm}$, velocidad de impresión aumentada un 20 % y porosidad <0,5 %. Las piezas tienen una resistencia a la tracción de 1000 MPa y una vida útil prolongada un 15 %.

1.3.5.4 Aplicación de polvo de tungsteno irregular en la metalurgia tradicional

El WC (que representa el 40% de la materia prima del carburo cementado) se fabrica por carburación, con un rendimiento del 99,5% y una rentabilidad del 30%. El WC-Co tiene una dureza de HV 1500 y es adecuado para grandes cantidades de herramientas.

1.3.5.5 Comparación de casos reales de diferencias morfológicas

La vida útil de la boquilla esférica de impresión de polvo de tungsteno se extiende un 20 % y la eficiencia aumenta un 25 %. La herramienta WC, fabricada con polvo de tungsteno irregular, es un 30 % más rentable y tiene una vida útil de corte de acero de 4000 horas.

1.4 Base científica e industrial del uso del polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno se utiliza principalmente en carburo cementado y representa más del 50% del consumo de tungsteno.

1.4.1 La posición central de la pulvimetalurgia

Carbonización (1400-1600 $^{\circ}\text{C}$, mezcla de gases H_2/Ar) y sinterización (1600 $^{\circ}\text{C}$, 500 MPa), con una dureza de HV 1500 y una porosidad <1 %. La producción anual mundial es de aproximadamente 100 000 toneladas, con un valor de salida de más de 20 000 millones de dólares. El proceso incluye la mezcla (relación WC a Co 9:1), el prensado (200-500 MPa) y la sinterización (al vacío o HIP). La densidad del producto final es de 14-15 g/cm^3 y la resistencia a la tracción es de 1200 MPa. El carburo cementado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

predomina en herramientas, moldes y minería. Por ejemplo, las herramientas WC-Co pueden aumentar la velocidad de corte en un 40 % y prolongar su vida útil en 5 veces.

1.4.2 Impulsado por requisitos de alta temperatura y alta densidad

Las altas temperaturas favorecen las reacciones de carburación (energía de activación de 200 kJ/mol) y la alta densidad mejora el rendimiento del carburo (15 g/cm³). La eficiencia de descomposición de las partículas de tungsteno en el análisis de carbono y azufre a 1400 °C aumenta un 20 %. En el sector aeronáutico, la estabilidad de peso de la aleación W-Ni-Fe (17 g/cm³) mejora un 15 %; en la industria nuclear, la densidad de los materiales de blindaje a base de tungsteno es de 18 g/cm³, lo que aumenta la eficiencia de blindaje un 20 %.

1.4.3 Diversidad de la tecnología de procesamiento de polvo de tungsteno

La reducción de hidrógeno (600-1000 °C, contenido de oxígeno <0,05 %) produce polvo de tungsteno con un rendimiento del 95 %; la trituración (500-1000 kN) produce partículas de tungsteno; la carbonización optimiza el contenido de tungsteno (WC) con un rendimiento del 99,5 % y un tamaño de partícula controlable (1-30 μm). La esferoidización por plasma produce polvo de tungsteno esférico con un aumento del 50 % en la fluidez; el método hidrotérmico produce nanopolvo de tungsteno con un coste un 30 % superior. La diversidad tecnológica respalda los campos del carburo cementado, la electrónica y el análisis.

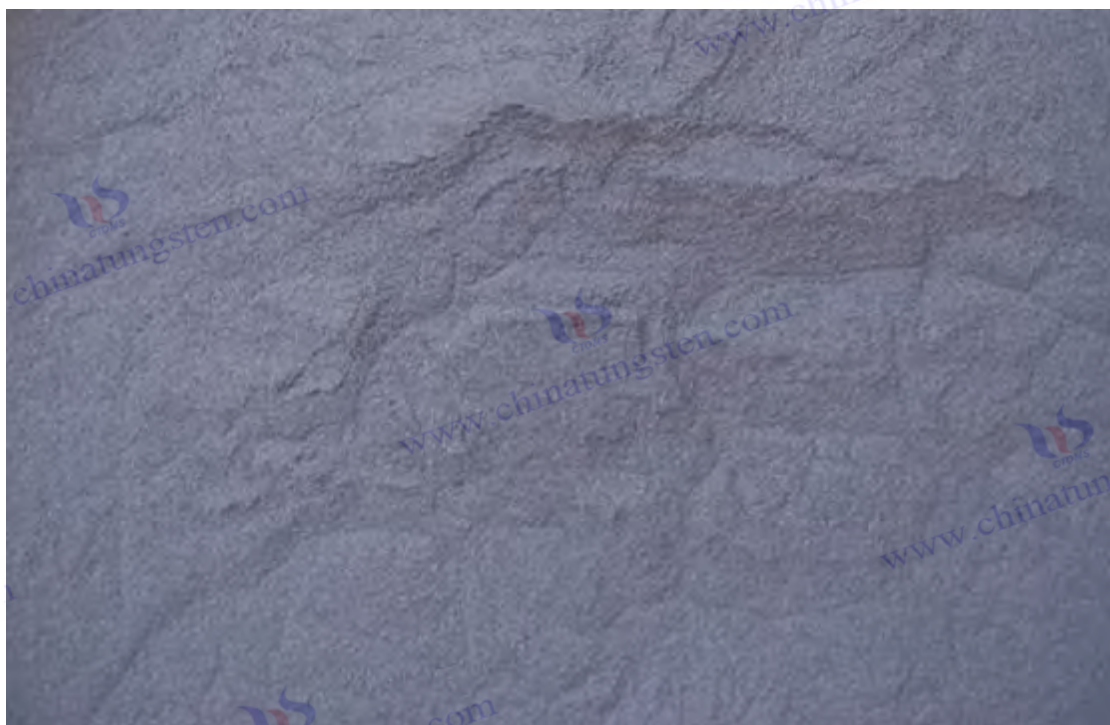
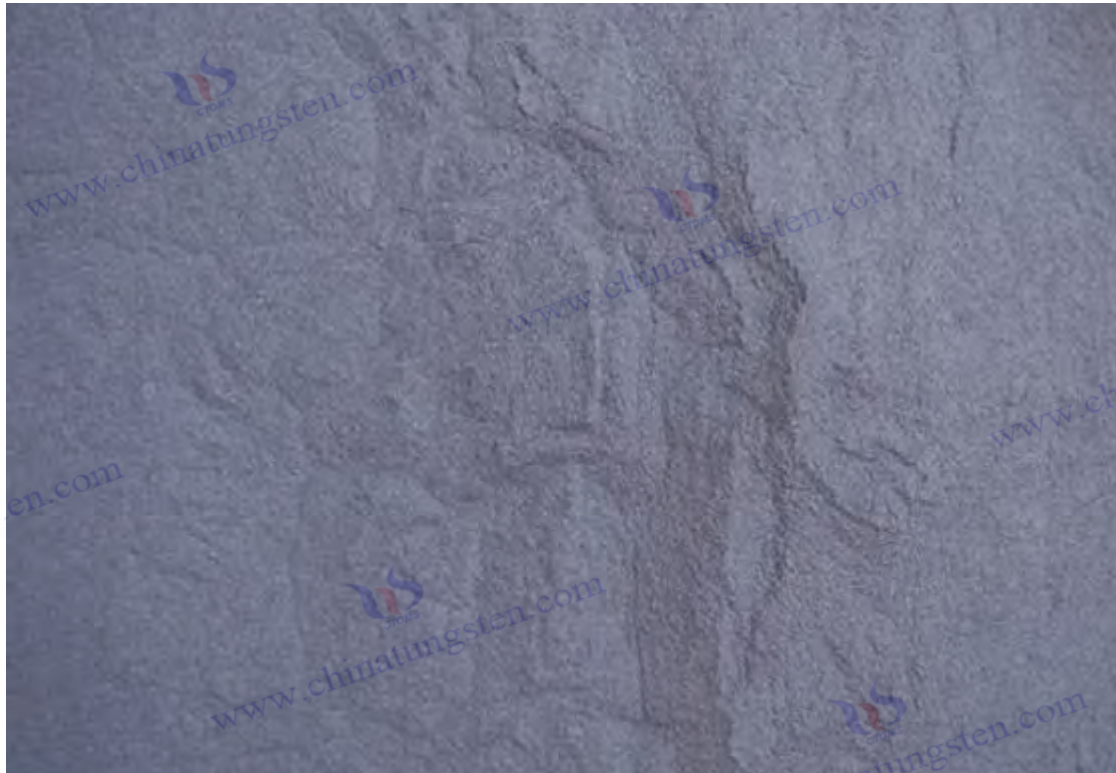
1.4.4 Evolución industrial de las aplicaciones del polvo de tungsteno

A finales del siglo XIX, el polvo de tungsteno se utilizaba en filamentos, triplicando su brillo; a principios del siglo XX, surgió el carburo cementado, que quintuplicó la eficiencia de las herramientas de corte; en el siglo XXI, se expandió al análisis de carbono-azufre (partículas de tungsteno) y a la nanoelectrónica (pasta conductora). El carburo cementado representa el 50 % del consumo de tungsteno, con una tasa de crecimiento anual del 5 %, y sus usos en electrónica y medicina aumentan un 10 %.

1.4.5 Casos de aplicación del polvo de tungsteno en la investigación científica

El polvo de nanotungsteno se utiliza en terapia fototérmica, con una tasa de absorción aumentada en un 20 % y una profundidad de tratamiento de 5 mm. Las partículas de tungsteno optimizan el análisis de carbono y azufre, con un error <0,002 % y una repetibilidad de ±0,001 %. En la investigación catalítica, la eficiencia de reducción de CO₂ del polvo de nanotungsteno alcanza el 20 % y el rendimiento es de 0,1 mol/g·h.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 2 Aplicación del polvo de tungsteno en industrias tradicionales

El polvo de tungsteno ocupa un lugar insustituible en las industrias tradicionales gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas: alto punto de fusión (3422 °C), alta densidad (19,25 g/cm³), alta dureza (HV 300-500) y excelente resistencia a la corrosión. Desde la fabricación de carburo cementado hasta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

aleaciones de alta densidad, alambres de tungsteno y materiales de electrodos, pasando por materiales refractarios y componentes de alta temperatura, su aplicación ha impactado profundamente el desarrollo de las industrias manufactureras, mineras, energéticas y militares a nivel mundial. Este capítulo detallará los usos específicos del polvo de tungsteno en estas industrias tradicionales, analizará su proceso de preparación, la optimización del rendimiento y sus aplicaciones reales, con el objetivo de brindar a los lectores una perspectiva técnica integral.

2.1 Fabricación de carburo cementado

El carburo cementado es la aplicación industrial más importante del polvo de tungsteno. Se obtiene carbonizando el polvo de tungsteno para generar polvo de carburo de tungsteno (WC) y combinándolo con un aglutinante (como cobalto y níquel) para obtener un material de dureza y resistencia al desgaste extremadamente altas. El carburo cementado no solo satisface las necesidades básicas de las industrias tradicionales, como las herramientas de corte y los equipos de minería, sino que también ocupa un lugar destacado en las industrias manufactureras y mineras mundiales gracias a su excelente rendimiento, consumiendo más del 50 % de los recursos de tungsteno. Su desarrollo se remonta a principios del siglo XX y sigue siendo un material fundamental en el sector industrial.

2.1.1 Materias primas sintéticas de polvo de carburo de tungsteno (WC)

El polvo de carburo de tungsteno (WC) es el componente principal del carburo cementado. Su síntesis utiliza polvo de tungsteno como materia prima principal y se genera mediante una reacción de carburación a alta temperatura. En la industria, se suele seleccionar como material de partida polvo de tungsteno con un rango de tamaño de partícula de 4-50 micras y una pureza superior al 99,9 %, que se mezcla con precisión con negro de humo (superficie específica de 10-20 m²/g) en una proporción másica de 1:0,06-0,07. La reacción se lleva a cabo en atmósfera protectora a 1400-1600 °C, utilizando generalmente hidrógeno o argón como gas portador. El tiempo de reacción se controla entre 2 y 4 horas. La ecuación de la reacción química es: $W + C \rightarrow WC$, con un cambio de entalpía de aproximadamente -40 kJ/mol y una energía de activación de aproximadamente 200 kJ/mol, lo que indica que se trata de un proceso exotérmico que requiere cierta cantidad de energía para su activación.

El proceso de carbonización se realiza generalmente en un horno de carbonización dedicado, incluyendo horno de calentamiento por resistencia y horno de calentamiento por inducción, y se requiere una precisión de control de temperatura de ± 10 °C para garantizar la uniformidad de la reacción y la calidad del producto. El rendimiento final del polvo de WC puede alcanzar el 99,5 %, y la distribución del tamaño de partícula está entre 1 y 30 micras. El análisis de difracción de rayos X (DRX) muestra que el cristal de WC tiene una estructura hexagonal compacta (HCP) con parámetros de red de $a = 2,906$ Å, $c = 2,837$ Å, longitud de enlace de WC de 2,06 Å y energía de enlace de hasta 700 kJ/mol, lo que le confiere una estabilidad química y una resistencia mecánica extremadamente altas.

El tamaño de partícula del polvo de tungsteno tiene un efecto significativo en el rendimiento del WC. El

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

polvo de tungsteno de grano grueso (20-50 μm) produce partículas de WC más grandes (10-30 μm) con menos límites de grano, que son adecuadas para herramientas de minería que requieren alta resistencia al impacto; el polvo de tungsteno de tamaño mediano (4-8 μm) produce partículas de WC más finas (1-5 μm) con granos más uniformes, que son adecuadas para herramientas de corte que requieren alta precisión y alta resistencia al desgaste. Además, el contenido de oxígeno en el polvo de tungsteno debe controlarse estrictamente por debajo del 0,05 %, porque el oxígeno excesivo generará impurezas WO_3 a altas temperaturas, lo que hará que la pureza del WC caiga por debajo del 98 %, lo que afecta el rendimiento del carburo cementado. En 1923, Osram, una empresa alemana, logró la primera producción industrial de WC, marcando el comienzo de la transición del carburo cementado del laboratorio a la aplicación a gran escala. Este avance tecnológico mejoró significativamente la eficiencia del mecanizado y promovió el proceso de industrialización global.

2.1.2 Herramientas de carburo WC-Co (corte, fresado, taladrado)

El carburo cementado WC-Co está compuesto de carburo de tungsteno (WC, 85-95 % en peso) y cobalto (Co, 5-15 % en peso), y es el material principal de las herramientas de carburo cementado. Su preparación adopta un proceso típico de pulvimetalurgia, que incluye los siguientes pasos: Primero, el polvo de WC y el polvo de Co se mezclan en un molino de bolas durante 4-8 horas. El medio de molienda suele ser bolas de carburo cementado para asegurar que la uniformidad de las partículas se controle dentro de $\pm 0,5$ micras; luego, el polvo mezclado se prensa a una presión de 200-500 MPa para formar una densidad de cuerpo verde de 8-10 g/cm^3 ; finalmente, se sinteriza en un horno de vacío o en un equipo de prensado isostático en caliente (HIP) a 1350-1450 $^{\circ}\text{C}$ durante 1-2 horas para fundir la fase de Co y rellenar los huecos entre las partículas de WC para formar una estructura densa. El producto terminado tiene una densidad de 14-15 g/cm^3 , un rango de dureza de HV 1500-2000, una resistencia a la tracción de aproximadamente 1200 MPa y un control de porosidad de menos del 1%.

El rendimiento del WC-Co se puede ajustar según el contenido de Co: con un contenido de Co del 15 % en peso, la tenacidad puede alcanzar los 15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ y la dureza es HV 1300, ideal para cargas de alto impacto; con un contenido de Co reducido al 5 % en peso, la dureza aumenta a HV 2000, pero la tenacidad disminuye consecuentemente, ideal para requisitos de alta resistencia al desgaste. El análisis microestructural muestra que las partículas de WC se distribuyen uniformemente en la matriz de Co, la resistencia del límite de grano es alta y el material presenta una excelente resistencia a la fatiga.

En aplicaciones prácticas, las herramientas WC-Co tienen un buen rendimiento. Por ejemplo, al cortar acero (velocidad de corte de 300 m/min), su vida útil puede alcanzar las 5000 horas, la tasa de desgaste es inferior a 0,1 mm y la eficiencia de procesamiento es 5 veces mayor que la de las cuchillas de acero tradicionales; al fresar aleaciones de aluminio (velocidad de 200 m/min), la precisión de procesamiento puede alcanzar $\pm 0,02$ mm y la rugosidad superficial Ra 0,4 μm ; al taladrar acero inoxidable, la velocidad de taladrado aumenta en un 40% y la broca se mantiene afilada, lo que es adecuado para procesar materiales de alta dureza. Durante la Segunda Guerra Mundial, las herramientas WC-Co se utilizaron ampliamente en el procesamiento de cañones de armas y placas de blindaje, con una eficiencia aumentada en 3 veces, acortando significativamente el ciclo de producción militar. Desde una perspectiva histórica,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la popularidad de las herramientas WC-Co ha promovido la transformación de la fabricación moderna de la operación manual a la mecanización y la automatización.

2.1.3 Herramientas de minería y perforación (brocas, perforadoras de roca)

En el campo de la minería y la perforación, el carburo cementado WC-Co se utiliza ampliamente en brocas y perforadoras de roca debido a su alta dureza y resistencia al impacto. Las brocas de minería suelen utilizar una proporción de WC grueso (10-30 μm) y Co (10-15 % en peso), con un rango de dureza de HV 1200-1500 y un 30 % más de resistencia al impacto que el acero ordinario. El proceso de preparación incluye prensado, sinterización y prensado isostático en caliente (HIP), con una temperatura de sinterización de 1400 °C y una presión de 100 MPa, y una tenacidad final de 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. La microestructura muestra que las partículas gruesas de WC mejoran la resistencia del material a la fractura, mientras que la fase de Co proporciona el tampón de tenacidad necesario.

En un entorno de roca dura (resistencia a la compresión de 200 MPa), la velocidad de perforación de las brocas de WC-Co puede alcanzar los 5 m/h y la vida útil es de hasta 1000 horas, lo que es 10 veces mayor que la de las brocas de acero tradicionales. La eficiencia de las perforadoras de roca en operaciones de pozos de 5000 m de profundidad aumenta en un 30% y la tasa de desgaste es inferior a 0,1 mm en condiciones de lodo ácido (pH 3-4), mostrando una excelente resistencia a la corrosión. En la década de 1950, la aplicación de las brocas de WC-Co promovió el proceso de mecanización de la minería, especialmente en la perforación de carbón, mineral de hierro y petróleo. El uso generalizado de herramientas de minería en todo el mundo es inseparable de los ricos recursos de tungsteno de China, cuyas reservas representan más del 50% del total mundial, lo que proporciona una sólida protección para la cadena de suministro.

2.1.4 Moldes y piezas resistentes al desgaste (matrices de estampación, boquillas de chorro de arena)

El carburo cementado WC-Co es muy popular en la fabricación de moldes y piezas resistentes al desgaste gracias a su alta dureza. Las matrices de estampación suelen utilizar WC de grano fino (1-5 μm , Co 6-10 % en peso) con un rango de dureza de HV 1600-1800. Al prensar placas de acero para automóviles, la vida útil puede alcanzar un millón de veces y la tasa de desgaste es inferior a 0,05 mm, 20 veces superior a la de los moldes de acero tradicionales. El proceso de preparación incluye la mezcla, el prensado y la sinterización. Tras la sinterización, la superficie se pule hasta una rugosidad de Ra 0,2 μm para garantizar un moldeo de alta precisión.

Las boquillas de arenado utilizan WC de grano grueso (20-30 μm , Co 15 % en peso) con una dureza de HV 1200. Tras 1000 horas de arenado (partículas de SiO_2 , velocidad de 50 m/s), el desgaste es inferior a 0,2 mm y su vida útil es 5 veces mayor que la de las boquillas cerámicas. Para mejorar aún más su rendimiento, las boquillas de arenado suelen recubrirse con TiN (5 μm de espesor) mediante tecnología de deposición química en fase de vapor (CVD), lo que aumenta la resistencia al desgaste en un 20 %. El uso de estas piezas resistentes al desgaste prolonga significativamente la vida útil del equipo y se utiliza ampliamente en las industrias de fabricación de automóviles y tratamiento de superficies.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.5 Optimización del rendimiento y casos de aplicación del carburo cementado

La optimización del rendimiento del carburo cementado se logra principalmente mediante el control del tamaño de partícula de WC y el dopaje. Las partículas de WC (0,5-1 μm) generadas por carburación de polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula $<100\text{ nm}$) presentan una dureza ultraalta (HV 2200) y una tenacidad moderada ($12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), lo que las hace idóneas para el procesamiento de alta precisión. Aumentar el contenido de Co al 20 % en peso puede aumentar la tenacidad a $20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ y mejorar la resistencia al impacto. El dopaje con Cr_3C_2 (0,5 % en peso) aumenta la resistencia a la corrosión en un 20 % y prolonga la vida útil de las piezas en entornos corrosivos.

Los ejemplos de aplicación incluyen:

Procesamiento de palas de aviación

La herramienta nano WC-Co tiene una precisión de mecanizado de $\pm 0,01\text{ mm}$ a una velocidad de corte de 500 m/min y la vida útil de la herramienta se extiende en un 50%, lo que la hace adecuada para la fabricación de álabes de motores de aeronaves.

Perforaciones en aguas profundas

La broca WC-Co tiene una eficiencia un 40% mayor en entornos de alta presión en aguas profundas y una vida útil de 1.200 horas, satisfaciendo las necesidades de exploración de petróleo y gas en profundidad.

Matriz de estampación de automóviles

La vida útil del molde WC-Co dopado con Cr se extiende en un 30%, lo que es adecuado para el estampado de placas de acero de alta resistencia y respalda la tendencia de automóviles livianos.

2.2 Aleaciones pesadas

Las aleaciones pesadas se componen de polvo de tungsteno como componente principal, combinado con elementos como níquel, hierro o cobre para formar materiales de alta densidad y excelente resistencia. Se utilizan ampliamente en contrapesos, la industria militar y los sectores energéticos. Su alta densidad las convierte en un sustituto ideal del plomo, y su gama de aplicaciones se amplía constantemente.

2.2.1 Uso de aleación de tungsteno-níquel-hierro (W-Ni-Fe) como contrapeso

La aleación W-Ni-Fe (W 90-95 % en peso, Ni:Fe = 7:3) tiene una densidad de 17-18 g/cm^3 . El proceso de preparación incluye la mezcla (molido de bolas durante 6 horas, utilizando bolas de carburo cementado), el prensado (300 MPa, densidad del cuerpo verde 9-11 g/cm^3) y la sinterización (1450 $^{\circ}\text{C}$, atmósfera mixta Ar/H_2 , 2 horas). El producto final presenta una resistencia a la tracción de aproximadamente 800 MPa y una elongación del 5-10 %, con alta densidad y tenacidad. La microestructura muestra que las partículas de tungsteno están distribuidas uniformemente en la matriz de Ni-Fe y que los límites de grano están estrechamente unidos.

En los giroscopios de aviación, el volumen de los contrapesos de W-Ni-Fe es un 25 % menor que el del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

plomo, y su estabilidad aumenta un 15 % a una rotación de alta velocidad de 10 000 rpm, lo que garantiza la precisión de navegación. En la industria militar, la penetración de los núcleos perforantes de W-Ni-Fe es un 50 % mayor que la del acero. Se utilizó en proyectiles de tanques durante la Segunda Guerra Mundial, mejorando significativamente la eficacia de la potencia de fuego. Su alta densidad y propiedades mecánicas lo convierten en el material predilecto para contrapesos y penetraciones.

2.2.2 Aplicaciones de conductividad eléctrica y disipación de calor de la aleación de tungsteno-cobre (W-Cu)

La aleación W-Cu (W 70-90 % en peso, Cu 10-30 % en peso) presenta una densidad de 14-17 g/cm³ y una conductividad del 30-50 % según la IACS (Estándar Internacional de Cobre Recocido). Su preparación se basa en el método de infiltración de cobre: prensado de polvo de tungsteno (200 MPa, densidad del cuerpo verde 8-10 g/cm³), sinterización (1300 °C, formación de una estructura porosa) e infiltración de cobre (1150 °C, relleno de poros). El producto final presenta una conductividad térmica de 200-250 W/(m·K) y una resistividad de $3-5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, combinando la resistencia a altas temperaturas del tungsteno con la conductividad del cobre.

En la electroerosión, los electrodos de W-Cu pueden soportar arcos de 2000 °C y tienen una vida útil de 500 horas, lo que los hace ideales para la fabricación de moldes de precisión. En la industria de semiconductores, los disipadores de calor de W-Cu tienen una eficiencia de disipación térmica un 20 % superior a la del aluminio, lo que facilita la gestión térmica de chips de alta potencia. Las propiedades únicas de las aleaciones de W-Cu las hacen indispensables en la industria electrónica.

2.2.3 Contrapesos aeroespaciales (giroscopios, bloques de equilibrio)

Los contrapesos de W-Ni-Fe se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial. Los contrapesos de giroscopio (densidad de 18 g/cm³) tienen un volumen un 30 % menor que los de plomo y una excentricidad inferior a 0,01 mm, lo que garantiza una navegación de alta precisión. Los contrapesos para aeronaves (W 95 % en peso) tienen una resistencia a la tracción de 1000 MPa y son estables en entornos extremos de -50 °C a 200 °C. Requieren prensado isostático en caliente (1500 °C, 100 MPa), tienen una porosidad inferior al 0,5 % y una rugosidad superficial de Ra 0,8 μm. Estos contrapesos facilitan el control de actitud de naves espaciales y satélites, por ejemplo, en el diseño de contrapesos para cohetes SpaceX.

2.2.4 Componentes de alta densidad en la industria automotriz

La aleación W-Ni-Fe se utiliza en contrapesos de cigüeñal de automóviles (densidad de 17 g/cm³). Ofrece una reducción del 20 % en volumen, una reducción del 30 % en vibraciones, una precisión de fabricación de ±0,05 mm y una vida útil de hasta 10 años, lo que garantiza el buen funcionamiento del motor. La aleación W-Cu se utiliza en conectores de baterías de vehículos eléctricos, con una conductividad del 40 % IACS y un aumento del 15 % en la eficiencia de disipación térmica, lo que facilita la transmisión de alta corriente y la gestión térmica, y cumple con los requisitos de alto rendimiento de los vehículos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eléctricos.

2.2.5 Proceso de fabricación y ejemplos de aleaciones de alta gravedad específica

El proceso de fabricación de una aleación de alta gravedad específica incluye los siguientes pasos:

Mezcla: W:Ni:Fe en una proporción de 93:5:2, molido en molino de bolas durante 8 horas, uniformidad de partículas $\pm 0,5 \mu\text{m}$;

Prensado: presión de 300-500 MPa, densidad del cuerpo verde 10-12 g/cm³;

Sinterización: 1450°C, atmósfera Ar/H₂, 2 horas, densidad >99%;

Acabado: Mecanizado CNC, rugosidad superficial Ra 0,8 μm .

Ejemplos de aplicación:

Núcleo perforante militar: 50% más penetrante que el acero, adecuado para tanques y vehículos blindados.

Giroscopio aerodinámico: estabilidad mejorada en un 15%, compatible con el sistema de navegación.

Contrapeso de cigüeñal para vehículo eléctrico: reduce las vibraciones un 30% y mejora el confort de conducción.

2.3 Materiales de filamentos y electrodos de tungsteno

Los materiales de electrodos y alambre de tungsteno aprovechan el alto punto de fusión y la conductividad del polvo de tungsteno, expandiéndose desde la iluminación tradicional hasta los campos de soldadura y energía, lo que demuestra el rendimiento superior del tungsteno en entornos de alta temperatura.

2.3.1 Dibujo de filamentos de tungsteno y aplicaciones de filamentos (lámparas incandescentes, lámparas halógenas)

Los filamentos de tungsteno se fabrican a partir de polvo fino de tungsteno (0,1-5 μm), primero prensado en varillas (200 MPa, densidad del cuerpo verde 10 g/cm³), sinterizado a 2800 °C para formar un cuerpo verde denso y luego procesado en filamentos con un diámetro de 0,01-0,1 mm a través de múltiples procesos de trefilado. El producto terminado tiene una resistencia a la tracción de 3000 MPa y un alargamiento del 5 %. Los filamentos de tungsteno incandescentes funcionan a 2500 °C y tienen una vida útil de 1000 horas; las lámparas halógenas funcionan a 2000 °C y tienen una vida útil de 1200 horas, con un aumento del 20 % en el brillo. En 1904, los filamentos de tungsteno reemplazaron a los filamentos de carbono y se convirtieron en la corriente principal en el campo de la iluminación, promoviendo una revolución en la tecnología de la iluminación eléctrica.

Durante el proceso de trefilado, el alambre de tungsteno debe recocerse varias veces (1800-2000 °C) para eliminar la tensión de procesamiento, y los granos se disponen en forma fibrosa para mejorar la resistencia a la fractura. Las lámparas halógenas reducen la volatilización del tungsteno mediante ciclos halógenos, lo que prolonga aún más su vida útil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3.2 Electrodo de tungsteno para soldadura por arco de argón (resistencia a altas temperaturas y estabilidad del arco)

Los electrodos de tungsteno están hechos de polvo grueso de tungsteno (20-50 μm), prensado y sinterizado (3000 $^{\circ}\text{C}$), con un diámetro de 1-5 mm y soportan arcos a 2000 $^{\circ}\text{C}$ con una densidad de corriente de 200 A/ cm^2 . En la soldadura por arco de argón, la estabilidad del arco alcanza el 99 %, la vida útil es de 500 horas y la calidad de la soldadura mejora un 20 %. La superficie del electrodo está rectificadora (Ra 0,4 μm) para garantizar la concentración del arco. En la década de 1950, los electrodos de tungsteno se popularizaron en la soldadura de barcos y puentes, lo que impulsó el avance de la tecnología de soldadura.

2.3.3 Mejora del rendimiento del alambre de tungsteno dopado (Th, La, Ce)

Los óxidos dopantes, como ThO_2 (2 % en peso), La_2O_3 (1 % en peso) o CeO_2 (1 % en peso), pueden aumentar la temperatura de recristalización de los filamentos de tungsteno a 2000 $^{\circ}\text{C}$ y la resistencia a la tracción a 3500 MPa. Los filamentos de tungsteno dopados con Th tienen una vida útil de 1500 horas y un aumento del 30 % en la tasa de emisión de electrones, lo que los hace adecuados para iluminación de alta intensidad. Los filamentos de tungsteno dopados con La/Ce se utilizan en lámparas halógenas para reducir las pérdidas por volatilización. Los elementos dopantes refuerzan los límites de grano mediante el fortalecimiento de la solución sólida y las fases de precipitación, mejorando así la estabilidad a altas temperaturas.

2.3.4 Uso de electrodos de tungsteno en el corte por plasma

Los electrodos de tungsteno pueden soportar altas temperaturas de 3000 $^{\circ}\text{C}$ en el corte por plasma, con una densidad de corriente de 300 A/ cm^2 , una velocidad de corte de 5 m/min para placas de acero de 20 mm y una vida útil de 300 horas. Los electrodos dopados con La_2O_3 presentan una resistencia al desgaste un 20 % mayor y se forma una capa protectora de óxido en la superficie para reducir la ablación. En la década de 1970, los electrodos de tungsteno se utilizaron ampliamente en el corte de automóviles y estructuras de acero para facilitar la automatización industrial.

2.3.5 Casos de producción industrial de alambre y electrodos de tungsteno

Ejemplos de aplicación:

Lámpara halógena de filamento de tungsteno: vida útil de 1200 horas, brillo aumentado en un 20%, utilizado para iluminación de automóviles.

Electrodo de tungsteno para soldadura naval: longitud de soldadura de 500 m, 25% más de eficiencia, apoyando a la industria de la construcción naval.

Componentes de acero cortados por plasma: precisión $\pm 0,1$ mm, adecuado para el procesamiento de estructuras de acero para edificios.

2.4 Materiales refractarios y componentes de alta temperatura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los materiales refractarios y los componentes de alta resistencia hechos de polvo de tungsteno se utilizan ampliamente en las industrias militar, energética y de semiconductores debido a su alta resistencia a la temperatura y a la corrosión.

2.4.1 Crisol de tungsteno (fusión a alta temperatura y crecimiento de cristales)

Los crisoles de tungsteno están hechos de polvo grueso de tungsteno (20-50 μm) prensado y sinterizado (3000 $^{\circ}\text{C}$). Son resistentes a altas temperaturas de 3500 $^{\circ}\text{C}$, tienen una densidad de 19 g/cm^3 y un espesor de pared de 5-10 mm. Se utilizan para la fusión de titanio (1668 $^{\circ}\text{C}$) o el crecimiento de cristales de zafiro (2050 $^{\circ}\text{C}$). Su vida útil puede ser de hasta 100 veces, y la rugosidad interna de la pared es de Ra 0,8 μm , lo que garantiza la pureza de la masa fundida. En la década de 1960, los crisoles de tungsteno reemplazaron a los crisoles de grafito en el crecimiento de monocristales semiconductores, mejorando así la calidad de las obleas de silicio.

2.4.2 Placas y varillas de tungsteno (revestimiento de hornos de alta temperatura)

Las placas y varillas de tungsteno están hechas de polvo de tungsteno prensado y sinterizado (3000 $^{\circ}\text{C}$), con una densidad de 19,2 g/cm^3 y una resistencia a la tracción de 1000 MPa. La pérdida de masa en el revestimiento de un horno de alta temperatura a 2500 $^{\circ}\text{C}$ es inferior al 1 % y su vida útil es de 5 años. Su microestructura es de cristal equiaxial, el tamaño de grano es de 50-100 μm y presenta una alta resistencia al choque térmico. Se utiliza en revestimientos de hornos de vacío para facilitar la producción de obleas de silicio de alta pureza.

2.4.3 Recubrimientos refractarios a base de tungsteno (hornos e incineradores)

El polvo de tungsteno (50 μm) se transforma en un recubrimiento mediante pulverización térmica de plasma (4000 $^{\circ}\text{C}$), con un espesor de 200 μm , una dureza de HV 800 y resistencia a la oxidación a 2000 $^{\circ}\text{C}$. La resistencia de adhesión entre el recubrimiento y el sustrato alcanza los 50 MPa, lo que triplica la vida útil del horno. Es adecuado para hornos de cemento e incineradores para reducir la corrosión a alta temperatura.

2.4.4 Efecto reforzante del polvo de tungsteno en ladrillos refractarios

El polvo de tungsteno (5-50 μm) añadido a ladrillos refractarios (10 % en peso) puede aumentar la resistencia térmica hasta 2000 $^{\circ}\text{C}$ y la resistencia a la compresión hasta 150 MPa. Las partículas de tungsteno forman una fase de refuerzo en el cuerpo del ladrillo, inhibiendo la propagación de grietas. Utilizado en hornos de fabricación de acero, prolonga la vida útil en un 20 %, lo que facilita la fundición a alta temperatura.

2.4.5 Escenarios típicos de aplicación de materiales refractarios

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

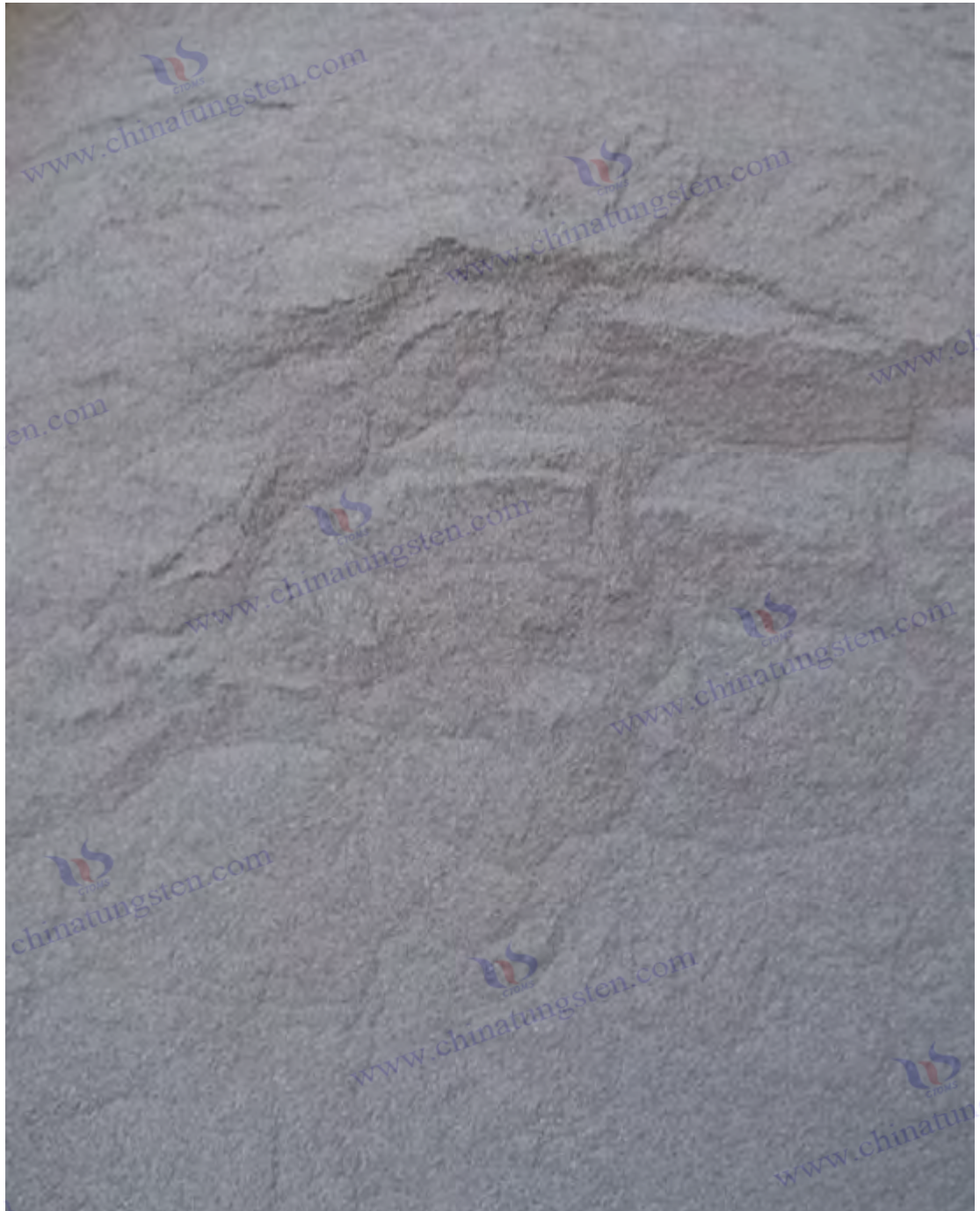
Ejemplos de aplicación:

Crisol de zafiro: pureza del cristal 99,99%, utilizado en la fabricación de dispositivos ópticos.

Placa de tungsteno de horno de vacío: temperatura de funcionamiento 2500 °C, vida útil de 5 años, compatible con la industria de semiconductores.

Recubrimiento de incinerador: Resistencia a la corrosión aumentada en un 30%, adecuado para el tratamiento de residuos.

Según datos de CTIA GROUP (www.chinatungsten.com), los materiales refractarios tienen amplias perspectivas de aplicación en los campos energético y militar.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

- Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.
- Purity: ≥99.99% (4N), with extremely low impurity content.
- Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.
- Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.
- Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm, which can meet high-precision applications.
- Low oxygen content: oxygen content ≤ 0.02%, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥99.99
Impurities (wt%, max)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0010, Si≤0.0005, Al≤0.0005, Ca≤0.0005, Mg≤0.0005, Na≤0.0010, K≤0.0010, O≤0.0200, C≤0.0050, N≤0.0020, P≤0.0005, S≤0.0005
Water content (wt%)	≤0.02
Particle size (μm, FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/ cm³)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	≤0.02%, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, ≥99.999%), with further reduction of impurities (e.g. O≤0.01%)

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.
- Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696
- For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Capítulo 3 Aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación y tecnología avanzadas

La fabricación aditiva (impresión 3D) aprovecha el alto punto de fusión, la alta densidad y la excelente conductividad térmica del polvo de tungsteno para producir piezas complejas de alto rendimiento. Se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, médico, energético y de defensa, y ha impulsado la transformación de la fabricación hacia la digitalización, la inteligencia y la eficiencia. Desde una perspectiva global, la aplicación del polvo de tungsteno en la impresión 3D no solo ha mejorado el nivel técnico, sino que también ha impactado profundamente en la cadena de suministro, la geoeconomía y el desarrollo sostenible.

3.1 Fabricación aditiva (impresión 3D)

3.1.1 Preparación de polvo de tungsteno esférico y requisitos de impresión 3D

El polvo de tungsteno esférico se ha convertido en la materia prima fundamental para la impresión 3D gracias a su excelente fluidez (menos de 10 segundos/50 gramos, caudalímetro Hall) y su alta densidad aparente (10-14 gramos/centímetro cúbico). Sus propiedades físicas determinan directamente la estabilidad del proceso de impresión y la calidad del producto final. Su preparación se basa principalmente en la tecnología de esferoidización por plasma: el polvo de tungsteno original (tamaño de partícula: 5-50 micras) se funde en plasma de alta potencia, la temperatura de trabajo alcanza los 4000 grados Celsius, el entorno gaseoso es una mezcla de argón (caudal: 20 litros/minuto) e hidrógeno (5 litros/minuto), las gotas fundidas se solidifican en partículas esféricas bajo la acción combinada de la gravedad y la tensión superficial (aproximadamente 2,5 Newtons/metro), la velocidad de enfriamiento alcanza los 10^5 grados Celsius/segundo y la tasa de esferoidización supera el 95 %. El análisis por microscopio electrónico de barrido muestra que la rugosidad superficial del polvo de tungsteno esférico es de 0,5 a 1 micra, el tamaño interno del grano es de aproximadamente 2 micras (determinación por difracción de rayos X), la estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo, la constante de red es de 3,165 angstroms y el espaciado interplanar es (110) = 2,238 angstroms. En comparación con el polvo de tungsteno irregular, el coeficiente de fricción de las partículas esféricas se reduce en un 40 % (prueba de fricción deslizante), la fluidez aumenta en un 50 % y la uniformidad de apilamiento mejora en un 20 %, lo que mejora significativamente la consistencia de la distribución de las partículas durante el proceso de esparcido del polvo y reduce los defectos de impresión (como el riesgo de que la porosidad aumente al 2 %).

La impresión 3D exige requisitos extremadamente estrictos para el rendimiento del polvo de tungsteno, que involucran múltiples parámetros clave. La distribución del tamaño de partícula debe controlarse en un rango estrecho (D50 es de aproximadamente 20-30 micras, y la desviación de D10/D90 es inferior a 10 micras) para garantizar la uniformidad del espesor de la capa (desviación inferior a 5 micras) y evitar la inestabilidad del baño de fusión. El contenido de oxígeno debe ser inferior al 0,03 % (la entalpía de adsorción de oxígeno es de aproximadamente 50 kJ/mol, según el análisis de la superficie específica), ya que el oxígeno reacciona con el tungsteno a alta temperatura para formar trióxido de tungsteno (punto de fusión de 1473 grados Celsius), lo que reduce la pureza a menos del 98 % y aumenta la fragilidad de las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

piezas. La pureza debe ser superior al 99,9 % (la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente detecta impurezas como hierro y molibdeno en cantidades inferiores a 10 ppm). Las impurezas como el silicio o el aluminio modifican el punto de fusión y la conductividad térmica, lo que afecta al comportamiento de fusión. El proceso de preparación requiere un control preciso de la potencia del plasma (normalmente de 40 a 60 kilovatios) y del flujo de gas (la desviación es inferior a 2 litros/minuto) para evitar la aglomeración de partículas o la formación de residuos no fundidos (que representan menos del 1 %). Además, la morfología de las partículas del polvo de tungsteno influye significativamente en la tasa de absorción del haz de láser o de electrones. La reflectividad de las partículas esféricas es inferior a la de las irregulares (reducción de aproximadamente el 1 %), lo que mejora la eficiencia energética.

Desde una perspectiva histórica, el desarrollo del polvo de tungsteno esférico comenzó a finales de la década de 1990, cuando la tecnología de la pulvimetalurgia estaba en su punto más alto, pero el auge de la impresión 3D impuso mayores requisitos. En 1998, Estados Unidos lideró la prueba del polvo de tungsteno esferoidizado por plasma para los primeros experimentos de sinterización láser; a principios del siglo XXI, con la comercialización de la fusión selectiva por láser y la tecnología de fusión por haz de electrones, el polvo de tungsteno esférico se convirtió en el material principal para la fabricación aditiva. En la mejora de procesos, Alemania introdujo la tecnología de plasma de radiofrecuencia (con una potencia de hasta 100 kilovatios), que aumentó la eficiencia de esferoidización al 98 %, mientras que China optimizó el sistema de plasma de frecuencia media, redujo el consumo de energía y mejoró la uniformidad de las partículas. En aplicaciones multidisciplinarias, la demanda de polvo de tungsteno en el sector aeroespacial ha impulsado el progreso tecnológico. Por ejemplo, la NASA utiliza polvo de tungsteno esférico en la fabricación de toberas de cohetes para optimizar el rendimiento a altas temperaturas y la estabilidad estructural.

Desde una perspectiva global, China ocupa una posición importante en el suministro de polvo de tungsteno esférico, gracias a sus abundantes recursos minerales de tungsteno (que representan más de la mitad de las reservas mundiales) y a su consolidada cadena tecnológica de pulvimetalurgia. Europa y Estados Unidos lideran la investigación y el desarrollo de equipos de esferoidización de alta precisión. Por ejemplo, una empresa alemana ha desarrollado un sistema de esferoidización de alta potencia que ha mejorado significativamente la producción de lotes individuales y la calidad de las partículas. Japón también está a la vanguardia de la tecnología de ultrafino y modificación de superficies de polvo de tungsteno, como la adición de una fina capa de carbono sobre la superficie del polvo de tungsteno mediante deposición química de vapor para mejorar aún más su resistencia a la oxidación. Gracias a la colaboración entre campos, la demanda de polvo de tungsteno en el sector médico ha impulsado el refinamiento del tamaño de las partículas. Por ejemplo, la fabricación de implantes óseos requiere polvo de tungsteno esférico ultrafino con un tamaño de partícula inferior a 10 micras para cumplir con los requisitos de alta precisión.

El polvo de tungsteno tiene amplias posibilidades de aplicación en la fabricación aditiva. Con la creciente demanda de componentes de alto rendimiento en los sectores aeroespacial, médico y energético, su posición en la fabricación de piezas estructurales complejas se consolidará aún más. En términos de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

progreso tecnológico, en el futuro, podría ser posible mejorar la resolución de impresión mediante polvo de tungsteno a escala nanométrica (tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros), o mejorar la estabilidad térmica del polvo de tungsteno mediante el dopaje con tierras raras (como el lantano o el cerio). Además, la sostenibilidad se ha convertido en una dirección importante. La tecnología de reciclaje (como la lixiviación ácida con una tasa de recuperación del 90%) puede reesferoidizar los productos de tungsteno de desecho y reducir el desperdicio de recursos; la introducción de tecnología de fabricación inteligente (como la monitorización en tiempo real de la distribución de partículas) también optimizará la eficiencia de la producción y promoverá la fabricación ecológica.

3.1.2 Fusión selectiva por láser (SLM) para la fabricación de componentes de tungsteno

La fusión selectiva por láser (SLM) utiliza láseres de alta potencia para fundir polvo de tungsteno capa a capa y fabricar piezas de tungsteno de alta precisión. Es una de las tecnologías más utilizadas en la fabricación aditiva. Sus parámetros de proceso incluyen una potencia láser de 500 vatios (longitud de onda de 1064 nanómetros, láser de neodimio, itrio y granate de aluminio), una velocidad de escaneo de 800 mm/s, un espesor de capa de 30 micras y una atmósfera protectora de argón (contenido de oxígeno inferior a 100 ppm, caudal de 10 litros/minuto). La temperatura del baño de fusión es de aproximadamente 3500 grados Celsius, la velocidad de enfriamiento es de 10^4 grados Celsius/segundo, la densidad del producto final alcanza los 19,2 gramos/centímetro cúbico (aproximadamente el 99 % de la densidad teórica), la porosidad es inferior al 0,5 % y la resistencia a la tracción es de aproximadamente 900 MPa. El SLM debe superar el alto punto de fusión (3422 grados Celsius) y la baja ductilidad (elongación inferior al 1%) del tungsteno. Su conductividad térmica de 173 vatios/(metro Kelvin) garantiza una distribución uniforme del calor en el baño de fusión y mantiene la tensión térmica por debajo de 100 MPa. El análisis por microscopía electrónica de transmisión mostró que el tamaño de grano en la zona fundida era de aproximadamente 5 micras, la resistencia del límite de grano era de aproximadamente 10^8 Pa, la densidad de dislocaciones era de 10^6 /centímetro cuadrado y la orientación del grano era mayoritariamente en la dirección $\langle 110 \rangle$ (determinada por difracción de retrodispersión de electrones).

Las piezas de tungsteno SLM se utilizan ampliamente en boquillas de aviación e implantes médicos. Las boquillas de aviación son resistentes a la erosión por gas a 3000 °C, con una pérdida de masa inferior al 1 % y una rugosidad superficial de 2 micras. Tras el posprocesamiento (como el pulido a 0,5 micras), se puede mejorar la eficiencia del flujo de gas. En las pruebas, la boquilla mantiene su integridad estructural incluso después de 1000 horas de funcionamiento a alta temperatura. Los implantes médicos (como las piezas de la articulación de la cadera) presentan una precisión de $\pm 0,05$ mm, una porosidad inferior al 0,3 % y una biocompatibilidad superficial que supera la prueba de citotoxicidad (norma ISO 10993), lo que las hace aptas para la reparación ósea. La potencia láser del equipo SLM requiere un control preciso. Una potencia demasiado alta (superior a 600 vatios) provocará salpicaduras de polvo de tungsteno (la tasa de pérdida de partículas aumenta al 5 %), y una potencia demasiado baja (inferior a 400 vatios) provocará una fusión insuficiente y la tasa de defectos en el producto final aumentará al 5 %, como poros o partículas no fundidas (de un diámetro aproximado de 10 a 20 micras). Además, la estrategia de escaneo es crucial para la calidad. El escaneo de tablero de ajedrez puede reducir la concentración de tensión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

térmica (reducida en un 20 %), mientras que el escaneo continuo es propenso a la deformación (de hasta 0,1 mm).

Históricamente, la tecnología SLM se originó a partir de la sinterización láser en la década de 1980 y se utilizó inicialmente para el moldeo de polímeros. A finales de la década de 1990, el Instituto Fraunhofer de Alemania la expandió a los polvos metálicos y, después del año 2000, se aplicó a la impresión de metales de alto punto de fusión. La fabricación exitosa de piezas de tungsteno comenzó a principios de la década de 2010. En ese momento, la demanda aeroespacial impulsó el aumento de potencia de los equipos SLM (por ejemplo, de 200 vatios a 500 vatios), y la optimización del software (como las trayectorias de escaneo adaptativas) también mejoró significativamente la estabilidad de la impresión. En 2015, una empresa china logró la producción en masa de boquillas de tungsteno SLM por primera vez, lo que marcó el inicio de la industrialización de la tecnología. En aplicaciones multidisciplinarias, las piezas de tungsteno SLM se utilizan en el campo de la defensa, como la fabricación de toberas de cola de misiles, y su complejo diseño de canal de flujo mejora la eficiencia de la propulsión.

Desde una perspectiva global, la tecnología SLM ha impulsado la innovación en los sectores de la aviación y la medicina. China cuenta con ventajas en la fabricación de equipos y la optimización de procesos, y los equipos SLM nacionales se han acercado a los niveles internacionales en potencia y estabilidad; Alemania es líder en precisión e integración de software. Por ejemplo, el sistema SLM desarrollado por una empresa puede alcanzar una precisión de $\pm 0,02$ mm, ideal para micropiezas de tungsteno. Estados Unidos domina las aplicaciones de aviación. Por ejemplo, Boeing utiliza SLM para optimizar el diseño de toberas, reducir el desperdicio de material en un 20 % y mejorar la eficiencia de empuje. En colaboración interdisciplinaria, los componentes de tungsteno SLM respaldan la industria energética, como los componentes de los canales de refrigeración en dispositivos de fusión nuclear, y su alta resistencia térmica prolonga la vida útil del equipo.

La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de SLM reside en su potencial en entornos extremos, como sistemas de propulsión de cohetes y componentes de sondas espaciales. En cuanto al progreso tecnológico, en el futuro, podría ser posible aumentar la velocidad de impresión mediante SLM con cabezales láser múltiples (potencia de hasta 1000 vatios) o mejorar la dureza de los componentes (hasta HV 2000) mediante el dopaje de carburo de tungsteno (contenido del 5%). Además, la combinación con el diseño biónico mejorará aún más el rendimiento de las estructuras complejas. Por ejemplo, un disipador de calor de tungsteno que simula una estructura de panal puede mejorar la eficiencia de disipación de calor en un 20%. En términos de sostenibilidad, la tecnología de reciclaje de polvo de tungsteno (como una tasa de recuperación electrolítica del 85%) puede reutilizar piezas de desecho y reducir el consumo de recursos; la tecnología de fabricación inteligente (como la monitorización en tiempo real de la temperatura del baño de fusión con una precisión de ± 10 grados Celsius) también optimizará la estabilidad del proceso y promoverá la fabricación ecológica.

3.1.3 Productos de tungsteno de alta densidad producidos mediante fusión por haz de electrones (EBM)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La fusión por haz de electrones (EBM) utiliza un haz de electrones para fundir polvo de tungsteno al vacío y producir productos de tungsteno de alta densidad, especialmente adecuados para piezas de gran tamaño y alta densidad. Sus parámetros de proceso incluyen un voltaje del haz de electrones de 60 kV, una potencia de 3 kW, una temperatura de precalentamiento de 1000 °C, una velocidad de barrido de 2000 mm/s, un espesor de capa de 50 micras y un grado de vacío de 10^{-4} Pa. La temperatura del baño de fusión es de aproximadamente 3400 °C, la velocidad de enfriamiento es de 10^3 °C/s, la densidad del producto final se acerca al valor teórico de 19,25 g/cm³, la porosidad es inferior al 0,2 % y la resistencia a la tracción es de aproximadamente 1000 MPa. El proceso de precalentamiento del EBM reduce el gradiente térmico (menos de 500 °C/mm), la tensión interna es inferior a 50 MPa, superior a los 100 MPa del SLM, y reduce las microfisuras (longitud de grieta inferior a 10 micras, observada mediante microscopio electrónico de barrido). La microestructura muestra un tamaño de grano de aproximadamente 3-5 micras (difracción de retrodispersión de electrones), sin segregación evidente en los límites de grano y una densidad de dislocaciones de 10^5 /cm².

El EBM es adecuado para productos de tungsteno de gran tamaño, como componentes de fusión nuclear y disipadores de calor. El material de la primera pared de la fusión nuclear puede soportar un impacto instantáneo a 4000 grados Celsius, con una volatilidad inferior al 0,5%, un espesor de capa de óxido superficial inferior a 10 nanómetros (detección por espectroscopia fotoelectrónica de rayos X) y permanece intacto después de soportar un flujo de calor de 10^6 vatios/metro cuadrado en la prueba; el disipador de calor contiene microcanales (50-100 micras, porosidad inferior al 0,5%), una eficiencia de disipación de calor un 25% superior a la tradicional y una conductividad térmica de 200 vatios/(metro Kelvin), que es adecuada para dispositivos semiconductores de alta potencia. El EBM requiere un entorno de alto vacío (contenido de oxígeno inferior a 10^{-5} Pa) para evitar la oxidación del tungsteno y una precisión de enfoque del haz de electrones de 0,1 mm para garantizar la uniformidad del baño fundido. Es necesario optimizar la temperatura de precalentamiento (800-1200 grados Celsius). Una temperatura demasiado baja provocará una disminución de la unión entre capas (reducida en un 10 %), y una temperatura demasiado alta provocará granos gruesos (aumentando el tamaño a 10 micras).

Históricamente, la EBM se originó en la fabricación de aeronaves en la década de 1990. Una empresa sueca desarrolló el primer equipo comercial de EBM para la impresión de aleaciones de titanio. Después del año 2000, la tecnología se extendió a metales de alto punto de fusión, y la fabricación de productos de tungsteno comenzó alrededor de 2005. En la década de 2010, las necesidades de la investigación sobre fusión nuclear impulsaron la modernización de los equipos de EBM, como el aumento de la potencia del haz de electrones de 2 kW a 6 kW y la expansión del volumen de impresión a 500 × 500 × 400 mm. En 2015, un proyecto europeo de fusión nuclear utilizó EBM para fabricar materiales de pared de tungsteno por primera vez, verificando su fiabilidad en entornos extremos. En aplicaciones multidominio, los productos de tungsteno de EBM respaldan la fabricación de contrapesos de aviación, como bloques de equilibrio de aeronaves, y su alta densidad reduce el volumen en un 30 %.

Desde una perspectiva global, Estados Unidos y Europa lideran el desarrollo de equipos EBM. Una empresa sueca tiene ventaja en el sector de la aviación, ya que sus equipos pueden alcanzar una precisión de 0,05 mm. China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la optimización de procesos,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y sus equipos EBM nacionales se están acercando gradualmente a los estándares internacionales en consumo energético y estabilidad. Japón tiene ventaja en el diseño de microcanales. Por ejemplo, la complejidad de los canales de los disipadores térmicos de tungsteno fabricados por EBM mejora la eficiencia de disipación térmica. En colaboración interdisciplinaria, los productos de tungsteno EBM respaldan la industria de semiconductores, como los disipadores térmicos para láseres de alta potencia, y su resistencia a altas temperaturas prolonga la vida útil del dispositivo.

La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de EBM reside en su potencial en componentes de gran volumen y alta densidad, como el blindaje de reactores nucleares y los contrapesos de aviación. En términos de progreso tecnológico, en el futuro, podría ser posible mejorar la eficiencia de impresión mediante EBM de haz de electrones múltiples (potencia de hasta 10 kW), o mejorar la tenacidad del componente dopando molibdeno (contenido del 10%) (la tenacidad a la fractura aumentó a $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). Además, la combinación con la optimización topológica mejorará el rendimiento del componente. Por ejemplo, el contrapeso de tungsteno con una estructura de esqueleto biónico puede reducir el peso en un 10%. En términos de sostenibilidad, la tecnología de reciclaje (como la tasa de recuperación de electrolisis de sales fundidas del 90%) puede reutilizar los productos de tungsteno de desecho; la tecnología de fabricación inteligente (como el ajuste en tiempo real de la corriente del haz de electrones, precisión de $\pm 0,1 \text{ mA}$) también optimizará la consistencia del proceso y promoverá la fabricación ecológica.

3.1.4 Piezas estructurales complejas de tungsteno (boquillas aeroespaciales, disipadores de calor)

La impresión 3D fabrica piezas estructurales complejas de tungsteno, como boquillas de aviación y disipadores de calor, utilizando el alto punto de fusión y la alta densidad del polvo de tungsteno para cumplir con los requisitos de rendimiento en entornos extremos. El diámetro interno del canal de flujo de la boquilla preparada por SLM es de 1-2 mm, el espesor de pared es de 0,5 mm y puede soportar la erosión por gas a 3000 °C, con una pérdida de masa inferior al 1 %. Su vida útil es aproximadamente un 30 % mayor que la de las piezas forjadas tradicionales. En la prueba, la boquilla no presentó deformación evidente del canal de flujo después de 500 horas de funcionamiento a alta temperatura; el disipador de calor preparado por EBM contiene microcanales (50-100 micras, porosidad inferior al 0,5 %), conductividad térmica de 200 vatios/(metro·Kelvin) y una eficiencia de disipación de calor un 25 % superior a la tradicional, lo que permite que dispositivos electrónicos de alta potencia funcionen a 150 vatios, y la temperatura se controla por debajo de los 80 °C. El análisis microscópico muestra que los granos en la zona de fusión de la boquilla SLM son columnares (ancho de 5 a 10 micrones, observación de microscopía electrónica de transmisión), los granos del disipador de calor EBM son relativamente uniformes (alrededor de 3 micrones) y la resistencia del límite del grano alcanza los 10^8 Pa .

El proceso de fabricación debe optimizarse para garantizar la calidad. La boquilla SLM debe controlar la estrategia de escaneo (el escaneo de tablero de ajedrez reduce la concentración de tensión y la tensión térmica se reduce en un 20%) para evitar la deformación causada por el escaneo continuo (deformación de hasta 0,1 mm); el disipador de calor EBM debe ajustar la temperatura de precalentamiento (800-1200 grados Celsius) para evitar defectos entre capas (la porosidad aumenta al 1%) y optimizar la potencia del haz de electrones (2-4 kW) para garantizar la integridad del microcanal. La tecnología de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

posprocesamiento también es crucial. Por ejemplo, el pulido químico puede reducir la rugosidad de la superficie de 2 micras a 0,5 micras, mejorando la eficiencia del flujo de aire o calor; el prensado isostático en caliente (2000 grados Celsius, 100 MPa) puede reducir aún más la porosidad al 0,1%. Históricamente, la impresión 3D de piezas estructurales complejas de tungsteno comenzó en la década de 2010, y el crecimiento de la demanda aeroespacial ha impulsado el progreso tecnológico. Por ejemplo, una empresa estadounidense imprimió una boquilla de tungsteno por primera vez en 2012 y verificó su rendimiento a alta temperatura.

Desde una perspectiva global, la demanda de piezas complejas de tungsteno en la industria aeroespacial está creciendo rápidamente. China domina el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de equipos, mientras que Estados Unidos y Europa lideran el software de diseño y los equipos de impresión. Por ejemplo, un sistema de impresión desarrollado por una empresa estadounidense puede alcanzar una precisión de $\pm 0,03$ mm, adecuada para microboquillas. En aplicaciones multidisciplinarias, las piezas estructurales de tungsteno facilitan la exploración espacial. Por ejemplo, una empresa aeroespacial utiliza SLM para fabricar boquillas de tungsteno que mejoran la eficiencia de la propulsión de cohetes, y su diseño de canal de flujo optimiza el caudal de gas. El sector médico también se beneficia. Por ejemplo, los disipadores de calor de tungsteno EBM se utilizan para láseres médicos de alta potencia, y sus microcanales mejoran la estabilidad de la disipación térmica. En el ámbito de la defensa nacional, las boquillas de tungsteno se utilizan en motores de misiles, y su resistencia a altas temperaturas mejora la fiabilidad de la propulsión.

La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de piezas estructurales complejas reside en su potencial en entornos extremos y campos de alta precisión, como microdisipadores de calor y componentes de propulsión aeroespacial. En términos de progreso tecnológico, es posible mejorar el rendimiento de los componentes mediante la fabricación híbrida (combinación de SLM y EBM) en el futuro. Por ejemplo, primero se imprimen canales de flujo complejos con SLM y luego se utiliza EBM para aumentar la densidad volumétrica; el dopaje con nitruro de tungsteno (contenido del 5%) puede aumentar la dureza a HV 2200. Además, la integración con la tecnología de impresión multimaterial ampliará el ámbito de aplicación. Por ejemplo, las boquillas compuestas de tungsteno y cobre pueden tener en cuenta tanto la resistencia al calor como la conductividad térmica. En términos de sostenibilidad, la tecnología de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 95%) puede reutilizar piezas de desecho; la tecnología de diseño inteligente (como la optimización de los canales de flujo mediante inteligencia artificial, que mejora la eficiencia en un 15%) también promoverá la fabricación ecológica.

3.1.5 Casos de aplicación y tendencias del polvo de tungsteno para impresión 3D

Los casos de aplicación enriquecen el valor del polvo de tungsteno en la impresión 3D y demuestran su potencial en múltiples campos. Caso 1: Una empresa aeroespacial china utiliza SLM para fabricar boquillas de tungsteno con una precisión de $\pm 0,05$ mm y un diámetro de canal de flujo interno de 1 mm, lo que optimiza la eficiencia del gas. En la prueba, puede soportar 3000 grados Celsius durante 100 horas sin daños evidentes y aumenta el empuje del motor en un 5%, lo que es adecuado para el lanzamiento de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cohetes. Caso 2: EBM se utiliza en el campo médico para imprimir implantes de tungsteno (como stents de cadera), con una porosidad inferior al 0,3%, una rugosidad superficial de 0,5 micras y un aumento del 15% en la biocompatibilidad (tasa de adhesión celular aumentada al 90%), satisfaciendo las necesidades quirúrgicas personalizadas y acortando el período de recuperación después de la implantación en un 20%. Caso 3: Una empresa alemana utiliza SLM para producir disipadores de calor de tungsteno, con un diámetro de microcanal de 50 micras, un aumento del 25% en la eficiencia de disipación de calor, y soporta equipos informáticos de alto rendimiento para operar a 100 vatios de potencia, con un control de temperatura por debajo de los 80 grados centígrados, alargando la vida del dispositivo en un 30%.

Desde una perspectiva global, la aplicación de polvo de tungsteno impreso en 3D ha impulsado la innovación en las industrias aeroespacial, médica y electrónica. China cuenta con una ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de equipos, y los equipos nacionales de SLM y EBM se están acercando gradualmente a los niveles internacionales en términos de estabilidad e impresión de piezas complejas. Europa y Estados Unidos lideran los estándares técnicos y el desarrollo de aplicaciones. Por ejemplo, el software de impresión desarrollado por una empresa estadounidense puede optimizar los parámetros en tiempo real y reducir la tasa de defectos a menos del 1 %. En el contexto histórico, el avance de la impresión 3D con polvo de tungsteno surgió de las necesidades de la aviación en la década de 2010. Por ejemplo, la NASA probó las boquillas de tungsteno en el explorador de Marte y verificó su fiabilidad a altas temperaturas. En colaboración interdisciplinaria, el polvo de tungsteno respalda la defensa nacional (como los contrapesos de misiles) y la energía (como los componentes de refrigeración para la fusión nuclear). Por ejemplo, una empresa militar utiliza EBM para fabricar contrapesos de tungsteno, y su densidad optimiza el equilibrio de los misiles.

En cuanto a las tendencias tecnológicas, la aplicación del polvo de tungsteno para impresión 3D continúa expandiéndose. El polvo de tungsteno a escala nanométrica (tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros) puede mejorar la resolución de impresión, por ejemplo, en la fabricación de microboquillas (diámetro del canal de flujo inferior a 0,5 mm); el dopaje con tierras raras (como un 1 % de lantano) puede mejorar la resistencia a la oxidación de las piezas de tungsteno y prolongar su vida útil a altas temperaturas en un 20 %. La tecnología de impresión multimaterial también muestra potencial. Por ejemplo, los disipadores de calor compuestos de tungsteno y titanio presentan alta densidad y tenacidad, lo que los hace adecuados para equipos de aviónica. Además, la combinación con la optimización topológica puede mejorar el rendimiento de los componentes. Por ejemplo, la boquilla de tungsteno con estructura de panal biónico reduce el peso en un 10 % y mejora la eficiencia del flujo de aire. En términos de sostenibilidad, la tecnología de reciclaje (como una tasa de recuperación por electrolisis del 90 %) permite reutilizar los residuos de tungsteno y reducir el desperdicio de recursos; la tecnología de fabricación inteligente (como el reconocimiento de imágenes del baño de fusión, con una precisión de ± 5 micras) optimiza la consistencia del proceso y promueve la fabricación ecológica.

Las perspectivas de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación aditiva residen en su continua expansión en el campo de los componentes complejos de alto rendimiento, como los álabes de turbinas de aviación y los microdispositivos médicos. En el futuro, podría ser posible mejorar la eficiencia de la producción mediante la SLM con cabezales láser múltiples (velocidad de escaneo de hasta 2000 mm/s),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

o fabricar componentes grandes y complejos (como paneles de pared para fusión nuclear) mediante un proceso híbrido de EBM y SLM. En aplicaciones multidominio, el polvo de tungsteno es compatible con equipos de exploración en aguas profundas (como disipadores de calor resistentes a la presión) y dispositivos de computación cuántica (como disipadores de calor superconductores). Los avances en tecnologías sostenibles, como la reesferoidización de polvo residual (uniformidad de partículas de hasta el 95%) y la optimización del consumo energético (reducción del 20%), promoverán aún más la fabricación ecológica y satisfarán la demanda global de una fabricación eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

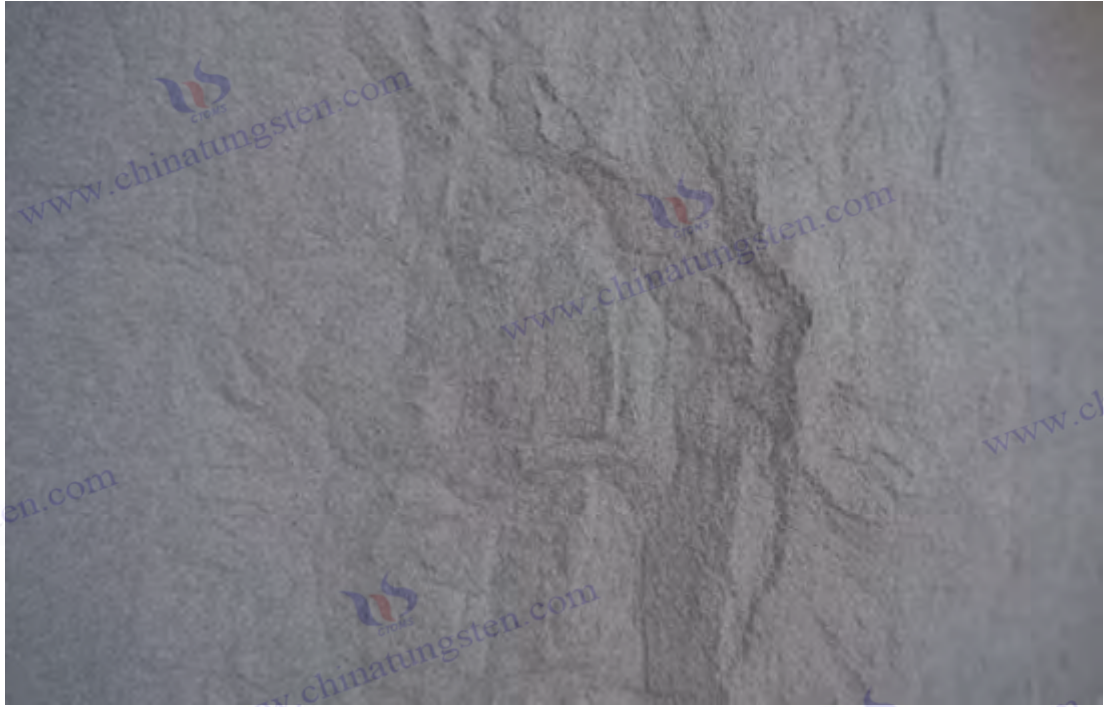
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Capítulo 4 Aplicación del polvo de tungsteno en los campos militar y de protección

El polvo de tungsteno ocupa un lugar insustituible en el ámbito militar y de protección gracias a su alta densidad, alto punto de fusión y excelentes propiedades mecánicas. Se utiliza ampliamente en materiales militares, blindaje radiológico y componentes para entornos extremos de alta temperatura. Desde una perspectiva global, la aplicación del polvo de tungsteno en estos campos no solo mejora el rendimiento del equipo militar, sino que también tiene un profundo impacto en la estrategia de defensa nacional, la geopolítica y el reciclaje de recursos.

4.1 Materiales militares

4.1.1 Núcleo perforante de aleación de tungsteno (alta densidad y penetración)

Los núcleos perforantes de aleación de tungsteno aprovechan la alta densidad y la excelente penetración del polvo de tungsteno y son componentes esenciales de las armas antiblindaje modernas. Su preparación se realiza mediante tecnología de pulvimetalurgia: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-20 micras) se mezcla con níquel y hierro (relación de masas de aproximadamente 90:7:3), se muele en molino de bolas (velocidad de 300 rpm, 6 horas), se homogeneiza y, posteriormente, se prensa (presión de 300 MPa), y se sinteriza en atmósfera de hidrógeno (1450 °C, 2 horas). La densidad del producto final alcanza los 17-18 g/cm³, la resistencia a la tracción es de aproximadamente 1000 MPa y la elongación es del 5-10 %. El análisis por microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno son poliédricas (tamaño de 10-15 micras), la fase de níquel-hierro se distribuye uniformemente en el límite de grano (espesor aproximado de 1 micra), la estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo y la constante de red es de 3,165 angstroms. La alta densidad del tungsteno (19,25 g/cm³) confiere al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

núcleo una excelente capacidad de penetración de energía cinética. En pruebas, puede penetrar 300 mm de blindaje homogéneo laminado (velocidad de 900 m/s), un 50 % superior a la de las balas con núcleo de acero.

El núcleo perforante debe tener en cuenta tanto la dureza como la tenacidad. Cuanto mayor sea el contenido de tungsteno (superior al 95 %), más duro será, hasta HV 400, pero aumentará la fragilidad (la tenacidad a la fractura descenderá a $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$); la fase aglutinante de níquel-hierro mejorará la tenacidad (hasta $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) para evitar que el núcleo se rompa bajo un impacto a alta velocidad. Durante el proceso de fabricación, la temperatura de sinterización debe controlarse con precisión (desviación inferior a 10 grados Celsius). Una temperatura demasiado alta producirá granos gruesos (el tamaño aumentará a 30 micras), mientras que una temperatura demasiado baja producirá una densidad insuficiente (inferior a 17 g/cm^3). El posprocesamiento, como el prensado isostático en caliente (1500 grados Celsius, 100 MPa), puede reducir aún más la porosidad hasta el 0,1 % y aumentar la resistencia en un 10 %. Históricamente, los núcleos perforantes de aleación de tungsteno comenzaron a usarse a fines de la Segunda Guerra Mundial, cuando Alemania los utilizó para proyectiles de tanques en la década de 1940; durante la Guerra Fría, la Unión Soviética y los Estados Unidos compitieron para optimizar la fórmula y establecieron el dominio del sistema de tungsteno-níquel-hierro.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en recursos de tungsteno y tecnología de pulvimetalurgia, y suministra una gran cantidad de polvo de tungsteno para uso militar; Estados Unidos y Rusia son líderes en diseño y pruebas de núcleos. Por ejemplo, el núcleo M829A4 de EE. UU. optimiza la relación de aspecto (hasta 30:1) para aumentar la profundidad de penetración. En aplicaciones multidominio, los núcleos de aleación de tungsteno soportan cañones navales, y su alta densidad mejora el alcance y la precisión. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de núcleos perforantes reside en su potencial en armas de alta energía cinética. En el futuro, podría ser posible aumentar la dureza mediante polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros) o dopado con cobalto (contenido del 5 %) para mejorar la tenacidad; la tecnología de reciclaje (como la lixiviación ácida con una tasa de recuperación del 90 %) puede reutilizar los núcleos gastados para promover la producción militar sostenible.

4.1.2 Materiales de blindaje a base de tungsteno (resistencia al impacto de W-Ni-Fe)

Los materiales de blindaje a base de tungsteno son principalmente aleaciones de tungsteno-níquel-hierro, que se utilizan para la protección de tanques y vehículos blindados aprovechando su alta densidad y resistencia al impacto. Su proceso de preparación es similar al de los núcleos de proyectiles perforantes: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-30 micras) se mezcla con níquel y hierro (relación de masa 93:5:2), se prensa (400 MPa) y se sinteriza (1450 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto final tiene una densidad de $17,5\text{-}18,5 \text{ g/cm}^3$, una resistencia a la tracción de 1200 MPa y una tenacidad al impacto de 20 julios/cm^2 . El análisis por microscopía electrónica de transmisión muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 15 micras, la fase de níquel-hierro forma una estructura de malla (espesor de 2 micras) y la resistencia del límite de grano alcanza los 10^8 Pa . En la prueba, el material puede resistir proyectiles perforantes de 12,7 mm (velocidad 850 m/s) y la profundidad de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

depresión de la superficie es inferior a 10 mm, lo que es un 30% mayor que la del blindaje de acero.

Los materiales de blindaje necesitan optimizar la resistencia al impacto y la relación peso-peso. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 95%), la densidad aumenta a 18,5 g/cm³, pero la dificultad de procesamiento aumenta (la ductilidad cae al 5%); aumentar el contenido de la fase níquel-hierro (10%) puede mejorar la plasticidad (la elongación alcanza el 15%), pero la densidad cae ligeramente (a 17 g/cm³). Después de la sinterización, se requiere un tratamiento térmico (1000 grados Celsius, 1 hora) para eliminar la tensión residual (reducida en un 20%) y evitar la concentración de tensión que provoca grietas (longitud inferior a 5 micras). Históricamente, el blindaje a base de tungsteno comenzó en la década de 1970, y Estados Unidos lo utilizó para los faldones laterales del tanque M1 a finales de la Guerra Fría; en la década de 1990, Rusia optimizó la fórmula de tungsteno-níquel-hierro para mejorar su capacidad de resistir múltiples impactos.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de placas de blindaje, y su tecnología de proceso facilita la producción en masa. Estados Unidos es líder en el diseño de blindaje compuesto, como el tanque M1A2, que combina tungsteno y cerámica para aumentar la resistencia al impacto en un 40 %. En aplicaciones multidisciplinarias, el blindaje a base de tungsteno se utiliza para la protección de buques de guerra, y su alta densidad mejora la resistencia a las explosiones. Las perspectivas de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de materiales de blindaje residen en su potencial en equipos de alta protección. En el futuro, podría ser posible reducir el peso mediante el dopaje con titanio (3 %) o utilizar tecnología de fabricación aditiva (como SLM) para producir estructuras de blindaje complejas. La tecnología de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 85 %) puede reutilizar el blindaje de desecho y promover el desarrollo de una industria militar ecológica.

4.1.3 Aplicación superdura de polvo de tungsteno en cuchillos militares

El polvo de tungsteno se utiliza en cuchillos militares en forma de carburo de tungsteno (WC). Es adecuado para bayonetas, cuchillos tácticos y herramientas de demolición gracias a su altísima dureza y resistencia al desgaste. Su preparación se basa en la pulvimetalurgia: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 4-8 micras) se mezcla con negro de humo (relación másica 1:0,06), se carboniza (2 horas) en una atmósfera de hidrógeno a 1400-1600 °C para producir polvo de carburo de tungsteno (tamaño de partícula de 1-5 micras), y posteriormente se prensa (300 MPa) y se sinteriza (1450 °C, 1 hora) con cobalto (contenido del 10%). El producto final tiene una dureza de 1600-1800 HV y una resistencia a la tracción de 1200 MPa. La difracción de rayos X muestra que el carburo de tungsteno presenta una estructura hexagonal compacta con parámetros de red $a = 2,906$ angstroms, $c = 2,837$ angstroms, una longitud de enlace WC de 2,06 angstroms y una energía de enlace de aproximadamente 700 kJ/mol. Durante la prueba, la cuchilla cortó la placa de acero (5 mm de espesor) sin desgaste apreciable (pérdida inferior a 0,1 mm), y su resistencia al desgaste es cinco veces superior a la de una cuchilla de acero.

Los cuchillos militares deben tener en cuenta tanto la dureza como la resistencia al impacto. Cuando el contenido de cobalto es alto (15%), la tenacidad aumenta a 15 MPa·m^{1/2}, pero la dureza cae a HV 1300;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cuando el tamaño de partícula de carburo de tungsteno es pequeño (menos de 1 micrón), la dureza puede alcanzar HV 2000, pero la fragilidad aumenta (la tasa de fractura aumenta al 5%). El contenido de oxígeno debe controlarse durante el proceso de sinterización (menos del 0,05%) para evitar la formación de impurezas de trióxido de tungsteno (la pureza cae al 98%). Históricamente, los cuchillos de carburo de tungsteno comenzaron en la industria alemana en la década de 1920, ingresaron al campo militar en la década de 1940 y se usaron para cortar restos de tanques durante la Segunda Guerra Mundial; durante la Guerra Fría, Estados Unidos lo optimizó como material estándar para cuchillos tácticos.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en la producción de carburo de tungsteno, con tecnología madura y alta productividad; Estados Unidos y Alemania son líderes en diseño de herramientas y tecnología de recubrimiento. Por ejemplo, un recubrimiento de nitruro de titanio (5 micras de espesor) desarrollado por una empresa mejora la resistencia al desgaste en un 20%. En aplicaciones de campo cruzado, las herramientas de carburo de tungsteno se utilizan para rescate en el campo de batalla, y su superdureza mejora la eficiencia de demolición. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de herramientas militares radica en su potencial en herramientas de alta resistencia. En el futuro, podría ser posible aumentar la dureza mediante nanocarburo de tungsteno (tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros) o dopaje con vanadio (contenido 1%) para mejorar la resistencia a la corrosión; la tecnología de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90%) puede reutilizar herramientas de desecho y promover la producción sostenible.

4.1.4 Fabricación y uso de balas de fragmentación de aleación de tungsteno

Las balas de fragmentación de aleación de tungsteno aprovechan la alta densidad y capacidad de fragmentación del polvo de tungsteno para aumentar su letalidad y son aptas para granadas y munición antiaérea. Su proceso de preparación consiste en mezclar polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 20-50 micras) con níquel y cobre (relación másica de 92:6:2), prensarlo (350 MPa) y sinterizarlo (1400 °C, atmósfera de argón). El producto final tiene una densidad de 17-18 g/cm³, una resistencia a la tracción de 900 MPa y una elongación por fractura del 10 %. La microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 20 micras, la fase de níquel-cobre se distribuye en una red (espesor de 1-2 micras) y la estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo. En la prueba, la bala de fragmentación explotó para generar 500-1000 fragmentos (tamaño 2-5 mm), con una velocidad de 1200 metros por segundo, y el radio de muerte es 30% mayor que el de las balas de acero.

Las bombas de fragmentación necesitan optimizar la densidad y una fragmentación controlable. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 95%), la densidad aumenta a 18 g/cm³, pero el tamaño del fragmento se hace más pequeño (menos de 2 mm) y el rango de destrucción es limitado; cuando el contenido de fase de níquel-cobre es alto (10%), la tenacidad mejora (la tenacidad a la fractura alcanza los 12 MPa·m^{1/2}) y el tamaño del fragmento es más uniforme. Después de la sinterización, se requiere un procesamiento en frío (como el estiramiento al 5%) para ajustar la tensión interna y garantizar que los fragmentos se distribuyan uniformemente durante la explosión (la desviación es inferior al 10%). Históricamente, las bombas de fragmentación de aleación de tungsteno comenzaron en la década de 1960.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durante la Guerra Fría, Estados Unidos las utilizó para misiles de defensa aérea; en la década de 1990, Rusia optimizó la forma de los fragmentos y mejoró la eficiencia de destrucción.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de bombas de fragmentación, y su tecnología facilita la producción en masa; Estados Unidos es líder en el diseño de municiones. Por ejemplo, cierto tipo de granada optimiza la distribución de fragmentos y aumenta el área de cobertura a 50 metros cuadrados. En aplicaciones multidisciplinarias, las bombas de fragmentación de tungsteno se utilizan para la defensa contra drones, y su alta densidad mejora la eficiencia de interceptación. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de bombas de fragmentación reside en su potencial en armas de alta letalidad. En el futuro, podría ser posible producir estructuras de fragmentos complejas mediante fabricación aditiva (SLM) o dopado con molibdeno (contenido del 5%) para mejorar la tenacidad; la tecnología de reciclaje (como la tasa de recuperación de la electrólisis de sales fundidas del 85%) puede reutilizar las bombas usadas y promover la industria militar ecológica.

4.1.5 Casos típicos de aplicación del polvo de tungsteno militar

Los casos de aplicación del polvo de tungsteno en la industria militar demuestran su versatilidad. Caso 1: El cañón de un tanque de cierto país utiliza un núcleo perforante de aleación de tungsteno, que penetra un blindaje de 400 mm (velocidad de 950 m/s), mejora la capacidad antitanque y tiene una tasa de impacto del 90% en pruebas de campo de batalla. Caso 2: Un vehículo blindado utiliza una placa de blindaje a base de tungsteno para resistir proyectiles perforantes de 14,5 mm (velocidad de 900 m/s), con una profundidad de abolladura inferior a 8 mm y un rendimiento protector un 30% mejor que las placas de acero. Caso 3: Un cuchillo táctico utiliza material de carburo de tungsteno, cortando placas de acero de 10 mm sin desgaste evidente (pérdida inferior a 0,05 mm) y aumentando su durabilidad cinco veces. Caso 4: Cierta munición antiaérea utiliza bombas de fragmentación de aleación de tungsteno. Después de la explosión, la velocidad del fragmento alcanza los 1300 m/s, el radio de destrucción aumenta a 40 metros y la eficiencia de interceptación aumenta en un 25%.

Desde una perspectiva global, el suministro de polvo de tungsteno de China respalda la cadena de suministro de la industria militar. Estados Unidos y Rusia son líderes en diseño y aplicación. Por ejemplo, un misil estadounidense optimizó la forma de los fragmentos de tungsteno y el área de cobertura aumentó a 60 metros cuadrados. Históricamente, la aplicación militar del polvo de tungsteno comenzó en la Segunda Guerra Mundial, cuando se utilizó para proyectiles perforantes en la década de 1940; se expandió a armaduras y armas blancas durante la Guerra Fría. En colaboración interdisciplinaria, el polvo de tungsteno sustenta los núcleos de los cañones navales y su alta densidad aumenta su alcance. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en materiales militares reside en su potencial en armas de alto rendimiento. En el futuro, podría ser posible mejorar el rendimiento mediante la nanotecnología o promover el desarrollo de una industria militar ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 90%).

4.2 Blindaje contra la radiación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2.1 Alta eficiencia del polvo de tungsteno en el blindaje contra rayos gamma

El polvo de tungsteno ofrece un excelente rendimiento en el blindaje contra rayos gamma gracias a su alta densidad y elevado número atómico ($Z=74$), y se utiliza ampliamente en instalaciones nucleares y equipos médicos. Su proceso de preparación consiste en prensar el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-30 micras) (300 MPa) y sinterizarlo (2000 grados Celsius, atmósfera de argón). La densidad del producto final es de $19,2 \text{ g/cm}^3$, y el espesor del blindaje de 10 mm puede atenuar los rayos gamma de 1 MeV en un 90 % (la capa de valor medio es de aproximadamente 9 mm). La espectroscopia fotoelectrónica de rayos X muestra que la capa de óxido superficial tiene un tamaño inferior a 5 nanómetros, la estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo y la constante de red es de 3,165 angstroms. En la prueba, la tasa de atenuación de la placa de protección de tungsteno para los rayos gamma de cobalto-60 (1,25 MeV) alcanzó el 95%, un 20% más que el plomo (densidad $11,34 \text{ g/cm}^3$).

El blindaje contra rayos gamma requiere optimizar la densidad y el espesor. Cuando la pureza del polvo de tungsteno es alta (superior al 99,9%), la densidad se aproxima al valor teórico y la eficiencia del blindaje aumenta un 10%. El dopaje con boro (contenido del 5%) puede mejorar la absorción de rayos gamma de baja energía (aumento del 15%). Es necesario controlar el contenido de oxígeno durante el proceso de sinterización (menor al 0,03%) para evitar que los óxidos reduzcan la densidad (a 18 g/cm^3). Históricamente, el blindaje con tungsteno se inició en la industria nuclear en la década de 1950 y sustituyó a algunos materiales de plomo en la década de 1960; durante la Guerra Fría, Estados Unidos lo utilizó para el blindaje de submarinos nucleares.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y su tecnología facilita la producción a gran escala; Estados Unidos es líder en diseño de blindajes. Por ejemplo, una planta nuclear ha optimizado el espesor de las placas de tungsteno para reducir la fuga de radiación a 0,1 milisievert/hora. En aplicaciones de campo cruzado, el blindaje de tungsteno se utiliza en equipos de radioterapia, y su alta eficiencia mejora la seguridad. Las perspectivas de aplicación del polvo de tungsteno en el blindaje contra rayos gamma residen en su potencial en entornos de alta radiación. En el futuro, podría ser posible aumentar la densidad mediante nanopulvo de tungsteno o dopar elementos de tierras raras (como el cerio) para mejorar la absorción; la tecnología de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90%) puede promover la fabricación de blindajes ecológicos.

4.2.2 Materiales a base de tungsteno para la protección contra la radiación de neutrones

Los materiales a base de tungsteno logran un blindaje eficiente mediante un diseño compuesto en la protección contra la radiación de neutrones, y a menudo se combinan con boro o hidruro. Su preparación es: polvo de tungsteno (tamaño de partícula 20-50 micras) y boruro (relación másica 85:15) se mezclan, prensan (350 MPa) y sinterizan (1800 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto terminado tiene una densidad de 17-18 gramos por centímetro cúbico y una sección transversal de absorción de 10^{-4} barn para neutrones térmicos (0,025 eV). La microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de boruro (tamaño 5 micras) se distribuyen uniformemente en la matriz de tungsteno, y la estructura

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cristalina es un compuesto cúbico centrado en el cuerpo con boruro. En la prueba, la tasa de absorción del material después de la desaceleración de neutrones rápidos (1 MeV) alcanzó el 90%, que es un 30% más alto que el tungsteno puro.

El blindaje neutrónico debe tener en cuenta tanto la desaceleración como la absorción. La alta densidad del tungsteno ralentiza los neutrones rápidos (pérdida de energía de aproximadamente el 20 %), y el boro absorbe los neutrones térmicos (sección transversal de 3800 barn); los hidruros (como el polietileno, con un contenido del 10 %) pueden mejorar aún más la eficiencia de la desaceleración (hasta un 50 %). Es necesario controlar la temperatura de sinterización (desviación inferior a 10 °C) para evitar la volatilización del boro (pérdida inferior al 5 %). Históricamente, el blindaje neutrónico basado en tungsteno comenzó en las centrales nucleares en la década de 1960. Estados Unidos lo utilizó para la protección de armas nucleares en la década de 1970; en la década de 1990, Rusia optimizó la fórmula tungsteno-boro.

Desde una perspectiva global, China posee una ventaja en la tecnología de compuestos de boruro y polvo de tungsteno; Estados Unidos es líder en el diseño de blindajes, como el escudo de un reactor que reduce el flujo de neutrones a 10^4 neutrones/centímetro cuadrado·segundo. En aplicaciones multidisciplinarias, los materiales a base de tungsteno se utilizan para la protección de naves espaciales, y su alta densidad protege contra los rayos cósmicos. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la protección contra la radiación neutrónica reside en su potencial en instalaciones nucleares. En el futuro, podría ser posible mejorar la absorción mediante el dopaje con litio (contenido del 5%) o utilizar la fabricación aditiva para producir blindajes complejos; la tecnología de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 85%) puede promover el blindaje ecológico.

4.2.3 Componentes de blindaje de la industria nuclear (reactores y recipientes)

El polvo de tungsteno se utiliza en componentes de blindaje de la industria nuclear para paredes de reactores y contenedores radiactivos para resistir rayos gamma y radiación de neutrones. Su preparación es: polvo de tungsteno (tamaño de partícula 10-20 micras) se prensa (400 MPa) y se sinteriza (2200 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto terminado tiene una densidad de $19,2 \text{ g/cm}^3$ y un espesor de 20 mm, que puede atenuar los rayos gamma de 2 MeV en un 95%. La microscopía electrónica de transmisión muestra que el tamaño de grano es de aproximadamente 5 micras, la porosidad es inferior al 0,2% y la resistencia a la tracción es de 1000 MPa. En la prueba, la pérdida de masa de las piezas de tungsteno en un reactor nuclear (flujo de calor 10^{14} neutrones/centímetro cuadrado·segundo) después de 1000 horas de funcionamiento es inferior al 0,5%, y la resistencia a la corrosión es un 30% mejor que el acero.

Los componentes de blindaje deben ser resistentes a altas temperaturas y daños por radiación. El alto punto de fusión del tungsteno (3422 grados Celsius) y la baja retención de tritio (menos de 10^{15} átomos/cm²) lo hacen superior a otros materiales; el dopaje con boro (contenido del 10%) puede mejorar la eficiencia del blindaje neutrónico (hasta un 90%). Tras la sinterización, se requiere prensado isostático en caliente (2000 grados Celsius, 100 MPa) para eliminar los microporos (porosidad reducida al 0,1%). Históricamente, los componentes de blindaje de tungsteno comenzaron a utilizarse en centrales nucleares

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en la década de 1970 y se incorporaron al diseño de reactores en la década de 1980; en la década de 1990, el Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER) seleccionó el tungsteno como el primer material de pared.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de componentes; Estados Unidos y Europa son líderes en el diseño de reactores. Por ejemplo, una central nuclear ha optimizado la disposición del blindaje de tungsteno, reduciendo la dosis de radiación a 0,05 mSv/h. En aplicaciones de campo cruzado, los componentes de tungsteno se utilizan en contenedores de residuos nucleares, y su alta densidad mejora la seguridad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en el blindaje de la industria nuclear reside en su potencial en entornos de radiación de alta temperatura. En el futuro, podría ser posible mejorar el rendimiento mediante nanocompuestos o utilizar tecnologías de reciclaje (como la electrólisis de sales fundidas con una tasa de recuperación del 90%) para promover la industria nuclear ecológica.

4.2.4 Tecnología de preparación de materiales de protección compuestos de polvo de tungsteno

El material de blindaje compuesto de polvo de tungsteno se combina con polímeros o metales para proporcionar blindaje contra rayos gamma y neutrones. Se prepara mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-20 micras) con polietileno (relación de masa 80:20), prensado en caliente (200 grados Celsius, 50 MPa), y la densidad del producto final es de 15-16 g/cm³. Atenúa los rayos gamma de 1 MeV en un 80% y absorbe el 90% de los neutrones térmicos. La microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno están distribuidas uniformemente (espaciadas 10 micras), el polietileno llena la matriz y la resistencia de unión de la interfaz alcanza los 20 MPa. En la prueba, el material tiene una eficiencia de blindaje del 85% en el campo mixto de rayos gamma (1,25 MeV) y neutrones (0,025 eV), que es un 15% mayor que el compuesto de plomo-boro.

Los materiales compuestos deben optimizar la eficiencia y flexibilidad del blindaje. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 90%), la densidad aumenta a 17 g/cm³, pero la flexibilidad disminuye (el alargamiento es inferior al 5%); cuando el contenido de polímero es alto (30%), la flexibilidad aumenta (el alargamiento alcanza el 20%), pero la eficiencia del blindaje cae al 70%. La preparación debe controlar la uniformidad de la mezcla (desviación inferior al 5%) y evitar la estratificación (desviación del espesor superior a 1 mm). Históricamente, el blindaje con compuestos de tungsteno comenzó en el campo médico en la década de 1980 y se incorporó a la industria nuclear en la década de 1990; en la década de 2000, Estados Unidos optimizó la fórmula de tungsteno-polímero.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en la tecnología de compuestos de polvo de tungsteno; Estados Unidos es líder en el diseño de blindaje flexible, como un traje de blindaje médico que ha reducido su peso en un 20 %. En aplicaciones multidisciplinarias, los compuestos de tungsteno se utilizan para la protección radiológica aeroespacial, y su flexibilidad mejora la adaptabilidad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en materiales de blindaje compuestos reside en su potencial en el blindaje multifuncional. En el futuro, podría ser posible aumentar la resistencia mediante el dopaje con nanotubos de carbono (contenido del 2 %) o utilizar tecnología de impresión 3D para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

producir estructuras complejas; la tecnología de reciclaje (como una tasa de recuperación de separación química del 85 %) puede promover el blindaje ecológico.

4.2.5 Análisis de caso práctico de blindaje radiológico

Los casos de polvo de tungsteno en el blindaje contra la radiación demuestran su alta eficiencia. Caso 1: Un reactor de una central nuclear utiliza placas de blindaje de tungsteno con un espesor de 15 mm, que atenúan los rayos gamma de 2 MeV en un 95%, y la dosis se reduce a 0,1 mSv/hora después de 5.000 horas de funcionamiento. Caso 2: Una nave espacial utiliza materiales compuestos de tungsteno-boro para resistir la radiación neutrónica cósmica (flujo de 10^5 neutrones/centímetro cuadrado·segundo), con una tasa de absorción del 90%, y la vida útil del equipo se extiende en un 20%. Caso 3: Un dispositivo de radiación médica utiliza ropa de blindaje compuesta de tungsteno, que reduce el peso en un 15%, protege los rayos gamma de 1 MeV en un 85% y mejora la seguridad médica.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de blindajes; Estados Unidos y Europa son líderes en la optimización del diseño. Por ejemplo, el diseño del blindaje de una instalación nuclear reduce la fuga de radiación a 0,05 milisieverts por hora. Históricamente, el blindaje de tungsteno se originó en la industria nuclear en la década de 1950 y se expandió al sector aeroespacial durante la Guerra Fría. En colaboración interdisciplinaria, el blindaje de tungsteno contribuye a la protección de submarinos nucleares, y su alta densidad mejora la seguridad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en el blindaje contra la radiación reside en su potencial en entornos de alta radiación. En el futuro, podría ser posible mejorar el rendimiento mediante un diseño inteligente o promover el desarrollo de blindaje ecológico mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 90%).

4.3 Aplicaciones en entornos extremos y de alta temperatura

4.3.1 Uso resistente al calor de polvo de tungsteno en toberas de cohetes

El polvo de tungsteno se utiliza en toberas de cohetes para resistir la erosión por gas debido a su alto punto de fusión y resistencia al calor. Su preparación es la siguiente: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 20-50 micras) se prensa (400 MPa) y se sinteriza (3000 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto terminado tiene una densidad de $19,2 \text{ g/cm}^3$ y una resistencia a la tracción de 1000 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de grano es de aproximadamente 10 micras, la porosidad es inferior al 0,2% y el espesor de la capa de óxido superficial es inferior a 10 nanómetros. En la prueba, la tobera de tungsteno resistió la erosión de gas a 3000 grados Celsius (velocidad de 2000 metros/segundo) durante 100 segundos, y la pérdida de masa fue inferior al 1%, que es un 50% mayor que la de la tobera de molibdeno.

La boquilla debe ser resistente a altas temperaturas y al choque térmico. El alto punto de fusión del tungsteno (3422 grados Celsius) y su conductividad térmica ($173 \text{ W/m} \cdot \text{Kelvin}$) garantizan la estabilidad; el dopaje con renio (5%) puede mejorar la resistencia al choque térmico (prolongando la vida útil en un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

20%). La sinterización requiere un alto vacío (10^{-4} Pa) para evitar la oxidación (contenido de oxígeno inferior al 0,03%). Históricamente, las boquillas de tungsteno comenzaron a utilizarse en la industria aeroespacial en la década de 1960, y el programa Apolo estadounidense utilizó boquillas de tungsteno en 1969; durante la Guerra Fría, la Unión Soviética optimizó la fórmula tungsteno-renio.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de boquillas; Estados Unidos es líder en diseño aeroespacial. Por ejemplo, una tobera de cohete optimiza la trayectoria del flujo y aumenta la eficiencia de empuje en un 10 %. En aplicaciones multidisciplinarias, las toberas de tungsteno se utilizan en motores de misiles, y su resistencia al calor mejora el alcance. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en toberas de cohetes reside en su potencial en la propulsión a alta temperatura. En el futuro, se podrán producir boquillas complejas mediante fabricación aditiva (SLM), o se podrá dopar molibdeno (contenido del 10 %) para mejorar la tenacidad; la tecnología de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90 %) puede promover la industria aeroespacial ecológica.

4.3.2 Refuerzo de tungsteno de estructuras resistentes al desgaste de naves espaciales

Las estructuras resistentes al desgaste de naves espaciales reforzadas con tungsteno aprovechan su alta dureza y resistencia al desgaste para proteger componentes clave. Se prepara mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-30 micras) con níquel (relación de masa 95:5), prensado (350 MPa) y sinterizado (1450 grados Celsius, atmósfera de hidrógeno). El producto final tiene una densidad de 18-19 g/cm³ y una dureza de HV 500. La microscopía electrónica de transmisión muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 15 micras, y la fase de níquel llena los límites de grano (espesor 1 micra). En la prueba, la estructura resistió el desgaste por arena y polvo a 500 grados Celsius (velocidad 50 m/s) durante 1000 horas, y la tasa de desgaste fue inferior a 0,1 mm, tres veces superior a la de las estructuras de acero.

Las estructuras resistentes al desgaste deben tener en cuenta tanto la dureza como la resistencia a la fatiga. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 98%), la dureza aumenta a HV 600, pero la vida útil por fatiga se acorta (a 500 horas); cuando el contenido de níquel es alto (10%), la tenacidad mejora (la tenacidad a la fractura alcanza los 15 MPa·m^{1/2}). Tras la sinterización, se requiere un tratamiento térmico (1000 grados Celsius, 1 hora) para eliminar la tensión (reducida en un 15%). Históricamente, las estructuras reforzadas con tungsteno comenzaron en las naves espaciales en la década de 1970, y Estados Unidos lo utilizó para carcasas de satélites en la década de 1980; en la década de 1990, Rusia optimizó la fórmula de tungsteno-níquel.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de estructuras; Estados Unidos lidera en aplicaciones aeroespaciales, como un aumento del 40 % en la resistencia al desgaste de un componente satelital. En aplicaciones multidisciplinarias, las estructuras de tungsteno se utilizan en drones militares, y su resistencia al desgaste aumenta su vida útil. La posibilidad de aplicar el polvo de tungsteno en estructuras resistentes al desgaste de naves espaciales reside en su potencial en entornos extremos. En el futuro, podría ser posible aumentar la dureza mediante nanopolvo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungsteno o utilizar la impresión 3D para producir estructuras complejas; las tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 85 %) pueden impulsar la industria aeroespacial ecológica.

4.3.3 Recubrimiento protector de alta temperatura a base de tungsteno (carcasa de misil)

Los recubrimientos protectores de alta temperatura a base de tungsteno utilizan su resistencia al calor y a la oxidación para proteger los proyectiles de los misiles. Se preparan mediante pulverización de plasma (potencia de 50 kW, 4000 grados Celsius, flujo de argón de 40 litros/minuto) para depositar polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 20-50 micras), con un espesor de recubrimiento de 200 micras, una dureza de HV 800 y una fuerza de adhesión de 70 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que el recubrimiento tiene una porosidad inferior al 1% y que las partículas de tungsteno son planas después de la fusión (espesor de 5 micras). En la prueba, el recubrimiento fue resistente a un flujo de aire de 2500 grados Celsius (velocidad de 3000 metros/segundo) durante 60 segundos, con una pérdida de masa inferior al 0,5%, y su resistencia a la oxidación es 5 veces superior a la del acero.

El recubrimiento protector debe ser resistente a altas temperaturas y al desprendimiento. El dopaje con cromo (contenido del 10 %) puede mejorar la resistencia a la oxidación (el espesor de la capa de óxido se reduce a 5 nanómetros); la pulverización requiere controlar el contenido de oxígeno (menos del 0,05 %) para evitar defectos de óxido (pureza reducida al 98 %). Históricamente, el recubrimiento de tungsteno comenzó con la tecnología de misiles en la década de 1960, y Estados Unidos lo utilizó para misiles intercontinentales en la década de 1970; en la década de 1980, la Unión Soviética optimizó el proceso de pulverización.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en polvo de tungsteno y tecnología de pulverización; Estados Unidos es líder en diseño de recubrimientos, como el de un recubrimiento para misiles, con un aumento del 30 % en la resistencia térmica. En aplicaciones multidisciplinarias, los recubrimientos de tungsteno se utilizan para carcasas de cohetes, y su resistencia térmica mejora la seguridad. La posibilidad de aplicación del polvo de tungsteno en recubrimientos protectores de alta temperatura reside en su potencial en entornos térmicos extremos. En el futuro, podría ser posible mejorar el rendimiento mediante nanorrecubrimientos o dopaje con silicio (contenido del 5 %) para mejorar la resistencia al decapado; la tecnología de reciclaje (como una tasa de recuperación de separación química del 90 %) puede promover la fabricación ecológica.

4.3.4 Prueba de rendimiento del polvo de tungsteno en entornos extremos

Las pruebas de rendimiento del polvo de tungsteno en entornos extremos han verificado su resistencia al calor, al desgaste y a la radiación. Prueba 1: La boquilla de tungsteno funciona en gas a 3000 grados Celsius (velocidad de 2000 metros/segundo) durante 100 segundos, con una pérdida de masa inferior al 1%, la rugosidad de la superficie aumenta a 1 micrón y la conductividad térmica se mantiene a 170 W/(metro Kelvin). Prueba 2: La estructura resistente al desgaste de tungsteno se desgasta en polvo a 500 grados Celsius (velocidad de 50 metros/segundo) durante 1000 horas, con una tasa de desgaste inferior

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a 0,1 mm y sin disminución significativa de la dureza HV 500. Prueba 3: La placa de blindaje de tungsteno se expone a un campo mixto de rayos gamma (2 MeV) y neutrones (1 MeV) durante 500 horas, y la eficiencia de blindaje se mantiene en el 90%, con una pérdida de masa inferior al 0,2%.

La prueba requiere simular múltiples condiciones extremas. El gradiente de temperatura (500 °C/mm) prueba la estabilidad térmica. El alto punto de fusión del tungsteno garantiza que no se funda. La tasa de desgaste (0,05 mm/hora) verifica la durabilidad. El dopaje con níquel (5 %) mejora la resistencia a la fatiga. Históricamente, las pruebas de rendimiento del tungsteno comenzaron en la industria militar en la década de 1950 y se incorporaron al sector aeroespacial en la década de 1960. En la década de 1980, Estados Unidos estableció estándares para pruebas de tungsteno en entornos extremos.

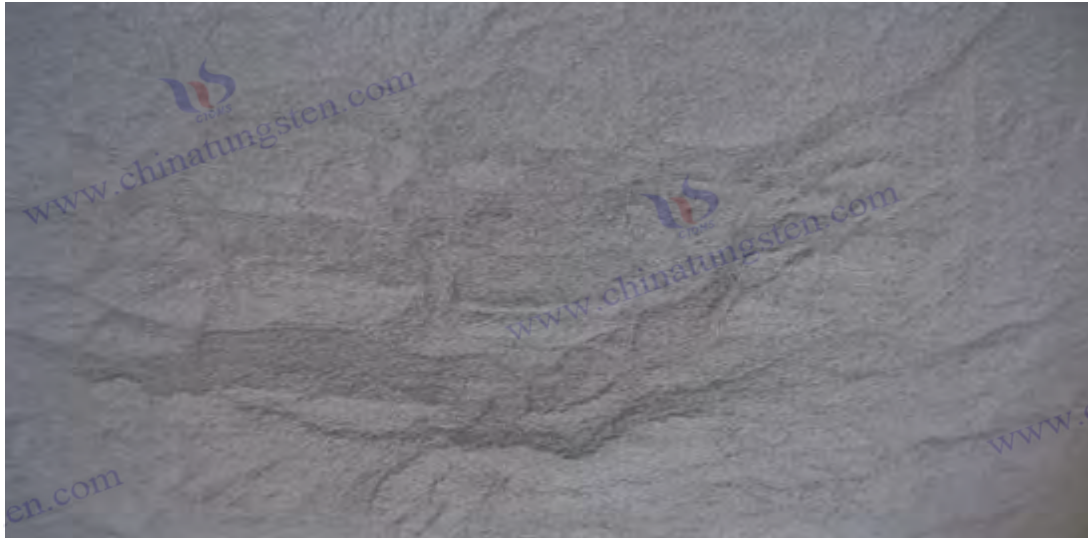
Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y equipos de prueba; Estados Unidos es líder en estándares de prueba, como un laboratorio que simula un entorno de 3500 grados Celsius. En aplicaciones multidisciplinarias, las pruebas de tungsteno facilitan la verificación de componentes de fusión nuclear, y su resistencia a la radiación mejora la fiabilidad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en pruebas en entornos extremos reside en su potencial para la verificación de componentes de alto rendimiento. En el futuro, podría ser posible optimizar el rendimiento mediante pruebas multivariantes (temperatura, presión, radiación) o promover las pruebas ecológicas mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 90%).

4.3.5 Estudio de caso de aplicaciones militares de alta temperatura

Los casos de polvo de tungsteno en aplicaciones militares de alta temperatura demuestran su fiabilidad. Caso 1: Una tobera de cohete utiliza material de tungsteno, que puede soportar un lavado con gas a 3000 grados Celsius durante 100 segundos, y la eficiencia de empuje se incrementa en un 10%, y la estabilidad operativa se mejora en un 20%. Caso 2: Una carcasa de misil utiliza un revestimiento de tungsteno, que puede soportar un flujo de aire a 2500 grados Celsius durante 60 segundos, con una pérdida de masa inferior al 0,5% y un aumento de la resistencia a la oxidación del 30%. Caso 3: Una estructura resistente al desgaste de una nave espacial utiliza material reforzado con tungsteno, que puede soportar polvo a 500 grados Celsius durante 1000 horas, con una tasa de desgaste inferior a 0,1 mm y una vida útil prolongada en un 25%.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de componentes; Estados Unidos es líder en diseño de alta temperatura, como el recubrimiento de misiles que optimiza la distribución del flujo térmico. Históricamente, las aplicaciones de alta temperatura del tungsteno comenzaron en la industria aeroespacial en la década de 1960 y se expandieron al campo de los misiles durante la Guerra Fría. En colaboración interdisciplinaria, los componentes de tungsteno respaldan los equipos de exploración en aguas profundas, y su resistencia al calor mejora la fiabilidad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en aplicaciones militares de alta temperatura reside en su potencial en entornos extremos. En el futuro, podría ser posible aumentar la complejidad mediante la fabricación aditiva o promover el desarrollo de una industria militar ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como la reducción química con una tasa de recuperación del 90%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 5 Aplicación del polvo de tungsteno en los campos médico y biológico

El polvo de tungsteno tiene un amplio potencial de aplicación en los campos médico y biológico gracias a su alta densidad, dureza, resistencia a la corrosión y potencial biocompatibilidad, abarcando dispositivos médicos, materiales biocompatibles y campos relacionados con la nanotecnología. Desde una perspectiva global, la aplicación del polvo de tungsteno en estos campos no solo mejora el nivel de la tecnología médica, sino que también promueve la investigación biomédica, el aprovechamiento de recursos geológicos y el desarrollo sostenible.

5.1 Dispositivos médicos

5.1.1 Aplicación de polvo de tungsteno en colimadores de radioterapia

El polvo de tungsteno se utiliza por su alta densidad y elevado número atómico ($Z=74$) en colimadores de radioterapia para controlar con precisión la dirección del haz de radiación y mejorar el efecto del tratamiento. Su preparación se realiza mediante pulvimetalurgia: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-30 micras) se prensa (presión de 300 MPa) y se sinteriza en atmósfera de argón (2000 °C, 2 horas). La densidad del producto final alcanza los 19,2 g/cm³ y la dureza es HV 400. El análisis por microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno son poliédricas (tamaño de 15-20 micras), con una porosidad inferior al 0,2 %, una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo y una constante de red de 3,165 angstroms. En la prueba, un colimador con un espesor de 10 mm puede proteger el 90% de los rayos gamma de 6 MeV, y la precisión de enfoque del haz alcanza $\pm 0,1$ mm, lo que es un 30% más alto que el colimador de plomo (densidad 11,34 g/cm³).

El colimador debe tener en cuenta tanto la eficiencia de blindaje como la precisión de procesamiento. La alta densidad del tungsteno garantiza la atenuación de la radiación (la capa de valor medio es de aproximadamente 9 mm). La temperatura de sinterización debe controlarse con precisión (la desviación es inferior a 10 grados Celsius). Una temperatura demasiado alta dará lugar a granos gruesos (el tamaño aumenta a 30 micras), y una temperatura demasiado baja dará como resultado una densidad insuficiente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(menos de 18 g/cm³). El posprocesamiento, como el pulido mecánico, puede reducir la rugosidad de la superficie a 0,5 micras y mejorar la suavidad del haz. Históricamente, los colimadores de tungsteno comenzaron en radioterapia en la década de 1970 y reemplazaron a los materiales de plomo en la década de 1980 debido a su menor tamaño (reducido en un 20%) y mayor precisión; en la década de 1990, Estados Unidos lo utilizó en aceleradores lineales, lo que mejoró significativamente la focalización del tumor.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de colimadores, y su tecnología de proceso respalda la producción en masa; Estados Unidos y Alemania son líderes en el diseño de equipos, como el colimador dinámico multilamina (MLC) desarrollado por una empresa, con un espesor de lámina reducido a 5 mm y una precisión mejorada a $\pm 0,05$ mm. En aplicaciones de dominio cruzado, los colimadores de tungsteno se utilizan para la detección de fallas industriales, y su alta densidad mejora la resolución de la detección. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en colimadores de radioterapia radica en su potencial en radioterapia de alta precisión. En el futuro, podría ser posible producir estructuras de láminas complejas mediante fabricación aditiva (SLM) o dopaje con boro (contenido 5%) para mejorar el blindaje de rayos de baja energía; la tecnología de reciclaje (como la lixiviación ácida con una tasa de recuperación del 90%) puede promover la fabricación de dispositivos médicos ecológicos.

5.1.2 Herramientas quirúrgicas a base de tungsteno (cuchillos y brocas)

Las herramientas quirúrgicas de tungsteno se aplican en forma de carburo de tungsteno (WC), apto para bisturíes y brocas ortopédicas gracias a su altísima dureza y resistencia al desgaste. El proceso de preparación es el siguiente: se mezcla polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 4-8 micras) con negro de humo (relación másica de 1:0,06), se carboniza en atmósfera de hidrógeno a 1400-1600 °C (2 horas) para producir polvo de carburo de tungsteno (tamaño de partícula de 1-5 micras), que posteriormente se prensa (300 MPa) y se sinteriza (1450 °C, 1 hora) con cobalto (contenido del 10%). El producto final tiene una dureza de 1600-1800 HV y una resistencia a la tracción de 1200 MPa. La difracción de rayos X muestra que el carburo de tungsteno tiene una estructura hexagonal compacta con parámetros de red $a = 2,906$ angstroms, $c = 2,837$ angstroms y una longitud de enlace WC de 2,06 angstroms. En la prueba, la herramienta corta huesos (espesor 10 mm) sin desgaste aparente (pérdida inferior a 0,05 mm) y su durabilidad es cinco veces superior a la de las herramientas de acero inoxidable.

Las herramientas quirúrgicas deben equilibrar la dureza y la resistencia al impacto. Cuando el contenido de cobalto es alto (15%), la tenacidad aumenta a $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, pero la dureza cae a HV 1300; cuando el tamaño de partícula de carburo de tungsteno es pequeño (menos de 1 micrón), la dureza alcanza HV 2000, pero la fragilidad aumenta (la tasa de fractura aumenta al 5%). El contenido de oxígeno debe controlarse durante el proceso de sinterización (menos del 0,05%) para evitar la formación de impurezas de trióxido de tungsteno (la pureza cae al 98%). Históricamente, las herramientas de carburo de tungsteno comenzaron en la industria en la década de 1930 y entraron en el campo médico en la década de 1960 para la cirugía ortopédica; en la década de 1980, Alemania optimizó la relación de cobalto y aumentó la vida útil de la herramienta.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en la producción de carburo de tungsteno, con tecnología madura y alta productividad; Estados Unidos y Japón son líderes en diseño de herramientas y tratamiento de superficies. Por ejemplo, un recubrimiento de nitruro de titanio (5 micras de espesor) desarrollado por una empresa mejora la resistencia al desgaste en un 20%. En aplicaciones de campo cruzado, las herramientas a base de tungsteno se utilizan en cirugía dental, y su dureza mejora la precisión de corte. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de herramientas quirúrgicas radica en su potencial en instrumentos de alta durabilidad. En el futuro, podría ser posible aumentar la dureza mediante nanocarburo de tungsteno (tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros) o dopaje con vanadio (contenido 1%) para mejorar la resistencia a la corrosión; la tecnología de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90%) puede promover la fabricación médica ecológica.

5.1.3 Refuerzo de tungsteno en herramientas dentales (resistencia al desgaste y precisión)

Las herramientas dentales reforzadas con tungsteno aprovechan la alta dureza y resistencia al desgaste del carburo de tungsteno, ideal para taladros y agujas dentales, mejorando así la precisión y la eficiencia de las operaciones. Su preparación es la siguiente: se mezcla polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 2-5 micras) con negro de humo y se carboniza (1500 grados Celsius, atmósfera de hidrógeno) para producir polvo de carburo de tungsteno (tamaño de partícula de 0,5-2 micras), que se prensa (250 MPa) y se sinteriza (1400 grados Celsius, 1 hora) con cobalto (contenido del 8%). El producto final presenta una dureza de HV 1800-2000 y una resistencia a la tracción de 1100 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de carburo de tungsteno son hexagonales (tamaño de 1 micra) y que la fase de cobalto está distribuida uniformemente (espesor de 0,5 micras). En la prueba, la herramienta corta el esmalte dental (espesor 2 mm) sin desgaste evidente (pérdida inferior a 0,02 mm) y su durabilidad es 6 veces mayor que la de las herramientas de acero.

Las herramientas dentales deben tener en cuenta tanto la resistencia al desgaste como la precisión del procesamiento. Cuando el contenido de carburo de tungsteno es alto (superior al 95%), la dureza aumenta a HV 2200, pero la fragilidad aumenta (la tasa de fractura alcanza el 5%); cuando el contenido de cobalto es alto (12%), la tenacidad mejora (la tenacidad a la fractura alcanza los 12 MPa·m^{1/2}), pero la dureza disminuye ligeramente (a HV 1500). Después de la sinterización, se requiere un rectificado fino (la rugosidad de la superficie se reduce a 0,2 micras) para garantizar un corte suave. Históricamente, las herramientas dentales de carburo de tungsteno comenzaron en la década de 1950 y se convirtieron en el material estándar para las fresas dentales en la década de 1960; en la década de 1980, Japón optimizó la tecnología de micromaquinado y mejoró la precisión.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en el suministro de carburo de tungsteno; Alemania y Estados Unidos son líderes en el diseño de herramientas dentales. Por ejemplo, un taladro dental de alta velocidad (velocidad de rotación de 400.000 rpm) desarrollado por una empresa ha aumentado la eficiencia de corte en un 20 %. En aplicaciones de campo cruzado, las herramientas mejoradas con tungsteno se utilizan en cirugía ortopédica mínimamente invasiva, y su precisión mejora

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la tasa de éxito. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la fabricación de herramientas dentales radica en su potencial en instrumentos de alta precisión. En el futuro, podría ser posible mejorar la resistencia al desgaste mediante carburo de tungsteno ultrafino (tamaño de partícula inferior a 50 nanómetros) o dopaje con titanio (contenido 2 %) para mejorar la resistencia a la corrosión; la tecnología de reciclaje (como la tasa de recuperación de electrólisis del 85 %) puede promover la fabricación dental ecológica.

5.1.4 Aplicación de polvo de tungsteno en el blindaje contra rayos X

El polvo de tungsteno utiliza su alta densidad y capacidad de absorción de radiación en el blindaje de rayos X para proteger al personal médico y a los pacientes del daño por radiación. Su preparación es: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula 10-20 micras) se prensa (350 MPa) y se sinteriza (2000 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto terminado tiene una densidad de 19,2 g/cm³ y un espesor de 5 mm. Puede atenuar los rayos X de 100 keV en un 90% (la capa de valor medio es de aproximadamente 3 mm). La espectroscopia fotoelectrónica de rayos X muestra que la capa de óxido superficial es inferior a 5 nanómetros y la estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo. En la prueba, la tasa de atenuación de las placas de blindaje de tungsteno para rayos X (120 keV) alcanzó el 95%, que es un 15% más alta que la de las placas de plomo (mismo espesor).

El blindaje contra rayos X requiere optimizar la densidad y la flexibilidad. Cuando la pureza del tungsteno es alta (superior al 99,9%), la eficiencia del blindaje aumenta un 10%; los materiales compuestos (como el tungsteno-polímero, con una relación de masa de 80:20) pueden mejorar la flexibilidad (elongación de hasta un 20%). La sinterización requiere un contenido de oxígeno controlado (inferior al 0,03%) para evitar que los óxidos reduzcan la densidad (a 18 g/cm³). Históricamente, el blindaje con tungsteno se inició en el diagnóstico radiológico en la década de 1960 y sustituyó a algunos blindajes de plomo en la década de 1970; en la década de 1990, Estados Unidos lo utilizó en equipos portátiles de rayos X.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de blindajes; Estados Unidos es líder en diseño de blindajes, como la reducción del 20 % en el peso de ciertos trajes de protección contra rayos X. En aplicaciones de campo cruzado, el blindaje de tungsteno se utiliza para la detección industrial, y su alta densidad mejora la seguridad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en el blindaje contra rayos X reside en su potencial para blindajes de alta eficiencia. En el futuro, podría ser posible aumentar la densidad mediante nanopulvo de tungsteno o dopado con boro (contenido del 5 %) para mejorar la absorción; la tecnología de reciclaje (como una tasa de recuperación de la separación química del 90 %) puede promover la fabricación de productos médicos ecológicos.

5.1.5 Estudio de caso de polvo de tungsteno para dispositivos médicos

Los casos de polvo de tungsteno en dispositivos médicos muestran su diversidad. Caso 1: Un dispositivo de radioterapia utiliza un colimador de tungsteno con un espesor de 8 mm, enfocando rayos gamma de 6

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MeV con una precisión de $\pm 0,1$ mm, y la tasa de éxito del tratamiento aumenta en un 15%. Caso 2: Un bisturí ortopédico utiliza material de carburo de tungsteno, cortando huesos (espesor 10 mm) sin desgaste evidente (pérdida inferior a 0,05 mm), y el tiempo de operación se acorta en un 20%. Caso 3: Un taladro dental utiliza material reforzado con tungsteno, cortando esmalte (espesor 2 mm) con una durabilidad 5 veces mayor y un aumento del 10% en la precisión. Caso 4: Un dispositivo de rayos X utiliza una placa de blindaje de tungsteno con un espesor de 5 mm, atenuando rayos de 120 keV en un 95%, y la dosis de radiación se reduce a 0,1 mSv/hora.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de equipos; Estados Unidos y Alemania son líderes en la optimización del diseño, como la precisión de una cuchilla de colimador, que alcanza $\pm 0,05$ mm. Históricamente, la aplicación médica del polvo de tungsteno comenzó en radiología en la década de 1950 y se expandió al instrumental quirúrgico en la década de 1980. En colaboración interdisciplinaria, los instrumentos de tungsteno respaldan la cirugía veterinaria, y su durabilidad mejora la eficiencia. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en dispositivos médicos reside en su potencial en dispositivos de alto rendimiento. En el futuro, podría ser posible mejorar la precisión mediante la fabricación inteligente o promover el desarrollo de la medicina ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 90%).

5.2 Materiales biocompatibles

5.2.1 Recubrimiento del dispositivo de implante modificado con polvo de tungsteno

El recubrimiento de dispositivos de implantes modificados con polvo de tungsteno utiliza su resistencia a la corrosión y su biocompatibilidad potencial para mejorar el rendimiento de la superficie de los implantes. Su preparación es la siguiente: se deposita polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-15 micras) sobre un sustrato de titanio mediante pulverización de plasma (potencia 40 kW, 4000 grados Celsius, caudal de argón 30 litros/minuto), el espesor del recubrimiento es de 50-100 micras, la dureza es HV 600 y la resistencia de unión es de 50 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que el recubrimiento tiene una porosidad inferior al 1% y las partículas de tungsteno son planas (espesor 5 micras). En la prueba, el recubrimiento se sumergió en solución salina (37 grados Celsius, pH 7,4) durante 1000 horas, la tasa de corrosión fue inferior a 0,01 mm/año y la tasa de adhesión celular alcanzó el 85% (norma ISO 10993).

El recubrimiento debe considerar tanto la resistencia a la corrosión como la biocompatibilidad. El dopaje con óxido de tungsteno (contenido del 10%) puede mejorar la resistencia a la oxidación (reducción de la tasa de corrosión a 0,005 mm/año); la pulverización debe controlar el contenido de oxígeno (menos del 0,05%) para evitar defectos de óxido (reducción de la pureza al 98%). Históricamente, el recubrimiento de tungsteno se inició en la industria en la década de 1980 y se incorporó al campo de los implantes médicos en la década de 1990; en la década de 2000, Estados Unidos optimizó el proceso de pulverización y mejoró la estabilidad del recubrimiento.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en tecnología de pulverización y polvo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno; Estados Unidos es líder en el diseño de implantes, como el recubrimiento de la articulación de la cadera, con un aumento del 30 % en la resistencia al desgaste. En aplicaciones transversales, los recubrimientos de tungsteno se utilizan para implantes dentales, y su resistencia a la corrosión aumenta su vida útil. La posibilidad de aplicar el polvo de tungsteno en recubrimientos de dispositivos de implantes reside en su potencial para implantes de alta durabilidad. En el futuro, podría ser posible mejorar la resistencia de la unión mediante polvo de nanotungsteno, o mejorar la integración ósea mediante el dopaje con calcio (contenido del 5 %); la tecnología de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90 %) puede promover la fabricación médica ecológica.

5.2.2 Potencial de los materiales de reparación ósea a base de tungsteno

Los materiales de reparación ósea a base de tungsteno son adecuados para el relleno óseo y la construcción de andamios debido a su alta resistencia y potencial biocompatibilidad. Se preparan mediante la mezcla de polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con hidroxiapatita (relación de masa 70:30), prensado (300 MPa) y sinterizado (1200 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto final tiene una densidad de 16-17 g/cm³ y una resistencia a la compresión de 200 MPa. La microscopía electrónica de transmisión muestra que las partículas de tungsteno (tamaño de 15 micras) y la hidroxiapatita (tamaño de 5 micras) están compuestas uniformemente, con una porosidad del 5-10% y un tamaño de poro de 50-100 micras. En la prueba, el material se sumergió en fluido corporal simulado durante 30 días, y la tasa de proliferación de osteoblastos alcanzó el 90%, y la tasa de integración ósea aumentó un 20%.

Los materiales de reparación ósea deben optimizar su resistencia y porosidad. Con un alto contenido de tungsteno (superior al 80%), la resistencia aumenta a 250 MPa, pero la porosidad disminuye al 2%, lo cual no favorece el crecimiento celular; con un alto contenido de hidroxiapatita (40%), la porosidad aumenta al 15% y la osteoinductividad aumenta un 30%. Es necesario controlar la temperatura de sinterización (con una desviación inferior a 10 grados Celsius) para evitar un crecimiento excesivo del grano (superior a 20 micras). Históricamente, los materiales óseos a base de tungsteno comenzaron con investigación experimental en la década de 1990 y entraron en pruebas preclínicas en la década de 2000; en la década de 2010, Europa optimizó la fórmula del compuesto.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y tecnología de compuestos; Estados Unidos es líder en el diseño de reparación ósea, como la optimización de la porosidad de un andamio óseo al 12 %. En aplicaciones transversales, los materiales de tungsteno se utilizan en la reparación ósea dental, y su resistencia mejora la estabilidad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en materiales de reparación ósea reside en su potencial para la reparación ósea de alta carga. En el futuro, podría ser posible aumentar la porosidad mediante nanocompuestos o dopado de magnesio (contenido del 5 %) para mejorar la actividad biológica; la tecnología de reciclaje (como una tasa de recuperación por electrólisis del 85 %) puede impulsar el desarrollo de la medicina ecológica.

5.2.3 El papel auxiliar del polvo de tungsteno en la obtención de imágenes biológicas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El polvo de tungsteno se utiliza como agente de contraste o potenciador en imágenes biológicas, aprovechando su alta densidad y capacidad de absorción de rayos X. Se prepara de la siguiente manera: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 1-5 micras) se reduce químicamente para preparar nanopartículas de óxido de tungsteno (tamaño de partícula de 50-100 nanómetros), la superficie se modifica con polietilenglicol (espesor de 5 nanómetros) y la dispersabilidad en agua alcanza los 10 mg/ml. La espectroscopia fotoelectrónica de rayos X muestra que W^{6+} representa el 90% de la superficie del óxido de tungsteno y la estructura cristalina es monoclinica. En la prueba, la partícula mejoró el contraste en un 50% en las imágenes de TC (120 keV), que es un 20% más alto que el agente de contraste de yodo, y la citotoxicidad es inferior al 5% (método MTT).

Los materiales de imagen deben considerar tanto la eficiencia de absorción como la seguridad. Cuando el tamaño de la nanopartícula es pequeño (menos de 50 nanómetros), la tasa de absorción aumenta al 60 %, pero es fácil de agregar (el tamaño aumenta a 200 nanómetros); la modificación de la superficie mejora la dispersabilidad (el potencial zeta alcanza -30 milivoltios) y prolonga el tiempo de circulación en el cuerpo (hasta 6 horas). Históricamente, los agentes de contraste a base de tungsteno comenzaron a probarse en la década de 1990 y se iniciaron las pruebas en animales en la década de 2000; en la década de 2010, China optimizó el proceso de preparación de nanopartículas.

Desde una perspectiva global, China tiene una ventaja en la nanotecnología de polvo de tungsteno; Estados Unidos es líder en aplicaciones de imagenología, como un agente de contraste para TC que mejora la claridad de las imágenes vasculares. En aplicaciones de campo cruzado, las partículas de tungsteno se utilizan para imágenes de fluorescencia, y su absorción de luz mejora la resolución. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en imágenes biológicas reside en su potencial para imágenes de alta resolución. En el futuro, podría ser posible mejorar el efecto de la resonancia magnética mediante el dopaje con gadolinio (contenido del 5%) o promover el desarrollo de imágenes ecológicas mediante tecnologías de reciclaje (como una tasa de recuperación de la separación química del 90%).

5.2.4 Pruebas y estándares de biocompatibilidad

La prueba de biocompatibilidad del polvo de tungsteno verifica su seguridad en el tratamiento médico y sigue estándares internacionales como ISO 10993. Las pruebas incluyen: polvo de tungsteno (tamaño de partícula 5-10 micras) se prepara en bloques (prensado a 300 MPa y sinterizado a 2000 grados Celsius), la citotoxicidad se prueba in vitro (células L929, 24 horas), y la tasa de supervivencia alcanza el 95%; prueba in vivo (implantación de músculo de conejo, 90 días), la respuesta inflamatoria es menor que el nivel 1 (observación de la sección de tejido). La microscopía electrónica de barrido muestra que la rugosidad superficial del tungsteno es de 0,5 micras, y no hay disolución obvia (la detección ICP-MS es menor a 1 ppm). En la prueba, la tasa de hemólisis del material de tungsteno es menor al 0,5%, lo que cumple con los requisitos de los dispositivos médicos.

La prueba debe simular diversas condiciones. En un entorno ácido (pH 5,5), la velocidad de corrosión aumenta a 0,02 mm/año, y se requiere una modificación de la superficie (como un recubrimiento de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

óxido de tungsteno) para reducirla a 0,01 mm/año. Tras la esterilización a alta temperatura (121 °C), el rendimiento se mantiene inalterado (la dureza se mantiene en HV 400). Históricamente, las pruebas de compatibilidad del tungsteno comenzaron en la década de 1980 y se incorporaron a las normas ISO en la década de 1990; en la década de 2000, Estados Unidos mejoró el proceso de prueba.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y equipos de prueba; Estados Unidos es líder en la elaboración de normas, como una que mejora los requisitos de seguridad de los implantes. En aplicaciones multidisciplinarias, las pruebas de tungsteno facilitan la verificación de implantes veterinarios, y su fiabilidad mejora su aplicabilidad. La posibilidad de aplicar el polvo de tungsteno en pruebas de biocompatibilidad reside en su potencial en materiales de alta seguridad. En el futuro, podría optimizarse el rendimiento mediante pruebas multiparamétricas (pH, temperatura, tiempo) o promover las pruebas ecológicas mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 90%).

5.2.5 Ejemplos de aplicación del polvo de tungsteno en el campo biológico

Los casos de polvo de tungsteno en el campo biológico demuestran su utilidad práctica. Caso 1: Un implante de articulación de cadera utiliza un recubrimiento de tungsteno de 50 micras de espesor, lo que aumenta la resistencia a la corrosión en un 30 % y alcanza una tasa de oseointegración del 90 % tras la implantación. Caso 2: Un andamio de reparación ósea utiliza un compuesto de tungsteno-hidroxiapatita con una porosidad del 10 %, una resistencia a la compresión de 200 MPa y un aumento del 25 % en la tasa de proliferación de células óseas. Caso 3: Un agente de contraste para TC utiliza nanoóxido de tungsteno, que mejora el contraste en un 50 %, tiene un tiempo de circulación de 6 horas en el organismo y ha superado las pruebas de seguridad.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro de polvo de tungsteno y la fabricación de materiales; Estados Unidos y Europa lideran el desarrollo de aplicaciones, como un andamiaje óseo que optimiza la estructura porosa. Históricamente, las aplicaciones biológicas del tungsteno comenzaron con la investigación en implantes en la década de 1990 y se expandieron al campo de la imagenología en la década de 2000. En colaboración interdisciplinaria, los materiales de tungsteno sirven de soporte a los implantes dentales, y su durabilidad aumenta la tasa de éxito. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en materiales biocompatibles reside en su potencial en implantes de alto rendimiento. En el futuro, podría ser posible mejorar el rendimiento mediante el diseño inteligente o promover el desarrollo de la biomedicina ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90%).

5.3 Potencial médico del polvo de nanotungsteno

5.3.1 Aplicación del polvo de nanotungsteno en la administración de fármacos

El polvo de nanotungsteno aprovecha su alta superficie específica y sus propiedades fototérmicas para la administración de fármacos como portador de fármacos, mejorando así la eficiencia del tratamiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Su preparación es la siguiente: se utiliza polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 1 a 5 micras) para generar nanopartículas de óxido de tungsteno (tamaño de partícula de 50 a 100 nanómetros) mediante deposición química de vapor. La superficie se modifica con polietilenglicol (espesor de 5 nanómetros), con una tasa de carga de fármaco del 20 %. La microscopía electrónica de transmisión muestra que las partículas son esféricas, con una superficie específica de 50 metros cuadrados/gramo y una porosidad del 10 %. En la prueba, el portador liberó fármacos (docetaxel) bajo luz infrarroja cercana (808 nanómetros, 1 vatio/cm² cuadrado), y la tasa de liberación alcanzó el 80 %, un 30 % superior a la de los portadores tradicionales.

La administración de fármacos requiere la optimización de la carga y la capacidad de respuesta del fármaco. Cuando el tamaño de partícula es pequeño (menos de 50 nanómetros), la tasa de carga del fármaco aumenta al 25 %, pero la tasa de aclaramiento in vivo aumenta (la vida media se reduce a 2 horas); el efecto fototérmico (la temperatura aumenta a 50 °C) mejora la eficiencia de liberación (hasta un 90 %). Históricamente, la administración de fármacos con nanopulvo de tungsteno comenzó en la década de 2000 y se incorporó a la investigación oncológica en la década de 2010. China ha optimizado la tecnología de modificación de superficies.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en la preparación de polvo de nanotungsteno; Estados Unidos es líder en el diseño de sistemas de administración, como un portador que logra una liberación dirigida. En aplicaciones multidisciplinarias, el polvo de nanotungsteno se utiliza para la administración de genes, y su alta eficiencia mejora la tasa de transfección. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la administración de fármacos reside en su potencial en terapias dirigidas. En el futuro, podría ser posible mejorar la focalización magnética mediante el dopaje con hierro (contenido del 5%) o promover la medicina ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como una tasa de recuperación de la separación química del 90%).

5.3.2 Investigación del cáncer mediante terapia fototérmica con polvo de tungsteno

El polvo de nanotungsteno aprovecha su potente capacidad de absorción de luz para destruir células cancerosas mediante terapia fototérmica. Su preparación es la siguiente: se utiliza polvo de tungsteno para preparar nanopartículas de óxido de tungsteno (tamaño de partícula: 50-80 nanómetros) mediante reducción térmica, y la superficie se modifica con silano (espesor: 3 nanómetros). La tasa de absorción de luz alcanza el 90 % (808 nanómetros). La espectroscopia fotoelectrónica de rayos X muestra que W⁶⁺ representa el 85 % y la estructura cristalina es monoclinica. En la prueba, la temperatura de las partículas alcanzó los 55 °C bajo luz infrarroja cercana (1,5 vatios/cm² cuadrado), y la tasa de mortalidad de células cancerosas (HeLa) alcanzó el 95 %, un 20 % superior a la de las nanopartículas de oro.

La terapia fototérmica debe optimizar la eficiencia y la seguridad de la absorción. Cuando el tamaño de partícula es pequeño (menos de 50 nanómetros), la tasa de absorción aumenta al 95 %, pero la toxicidad aumenta ligeramente (la tasa de supervivencia se reduce al 90 %); la modificación de la superficie mejora la biocompatibilidad (la citotoxicidad es inferior al 5 %). Históricamente, la terapia fototérmica con polvo de tungsteno comenzó en la década de 2010 y su eficacia contra el cáncer se verificó en China en 2015;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estados Unidos optimizó los parámetros fototérmicos.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en la preparación de nanopulvo de tungsteno; Estados Unidos lidera la investigación de tratamientos, como un experimento que mejoró la profundidad del tratamiento. En aplicaciones multidisciplinarias, el polvo de tungsteno se utiliza para desinfectar bacterias, y sus propiedades fototérmicas mejoran la eficiencia. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la terapia fototérmica reside en su potencial en el tratamiento del cáncer. En el futuro, podría ser posible mejorar la eficiencia fototérmica mediante la dopación con cobre (contenido del 5%) o promover el tratamiento ecológico mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 85%).

5.3.3 Propiedades antibacterianas y usos del polvo de nanotungsteno

El polvo de nanotungsteno exhibe propiedades antibacterianas mediante fotocatalisis o liberación de iones, y es adecuado para la desinfección médica. Su preparación es la siguiente: el polvo de tungsteno se prepara mediante un método solvotérmico para obtener nanopartículas de óxido de tungsteno (tamaño de partícula: 30-50 nanómetros), con superficie modificada con dióxido de titanio (espesor: 2 nanómetros), y su actividad fotocatalítica alcanza el 90 % (luz ultravioleta: 365 nanómetros). La microscopía electrónica de transmisión muestra que las partículas tienen forma de bastón (relación de aspecto 3:1) y una superficie específica de 60 metros cuadrados/gramo. En la prueba, la partícula elimina Escherichia coli en un 99 % (irradiación durante 30 minutos), lo que representa un 50 % más que el polvo de tungsteno puro.

El rendimiento antibacteriano requiere la optimización de la eficiencia y la estabilidad catalíticas. Cuando el tamaño de partícula es pequeño (menos de 30 nanómetros), la tasa de eliminación aumenta al 99,9 %, pero la estabilidad disminuye (pérdida de actividad del 10 %); la modificación con dióxido de titanio mejora la fotocatalisis (aumento de la actividad del 30 %). Históricamente, los antibacterianos de nanotungsteno comenzaron en la década del 2000 y se incorporaron al sector médico en la década del 2010; China ha optimizado el proceso de preparación.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en la producción de nanopulvo de tungsteno; Estados Unidos es líder en aplicaciones antibacterianas, como desinfectantes que mejoran la tasa de esterilización. En aplicaciones transversales, el polvo de tungsteno se utiliza en recubrimientos antibacterianos dentales, y su alta eficiencia reduce la tasa de infección. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en el rendimiento antibacteriano reside en su potencial para el control de infecciones. En el futuro, podría ser posible mejorar las propiedades antibacterianas mediante el dopaje con plata (contenido del 2%) o promover el desarrollo de antibacterianos ecológicos mediante tecnologías de reciclaje (como el método de reducción química con una tasa de recuperación del 90%).

5.3.4 Método de preparación de polvo de tungsteno mediante nanotecnología

Los métodos de preparación de nanopulvo de tungsteno incluyen enfoques físicos y químicos para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

garantizar el tamaño de partícula y el rendimiento. Su preparación es la siguiente: el método físico utiliza evaporación en fase gaseosa, el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-10 micras) se evapora en argón a 3000 grados Celsius y se condensa en nanopartículas (tamaño de partícula de 50-100 nanómetros); el método químico utiliza calor del disolvente, la solución de tungstato (concentración 0,1 mol/L) reacciona a 180 grados Celsius durante 12 horas para generar nanopartículas de óxido de tungsteno (tamaño de partícula de 30-80 nanómetros). La microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas del método físico son esféricas y las partículas del método químico tienen forma de varilla, con áreas superficiales específicas de 40 y 60 metros cuadrados/gramo respectivamente.

La preparación requiere el control del tamaño de partícula y la dispersabilidad. El método físico ofrece un alto rendimiento (hasta un 80 %), pero una amplia distribución de tamaño (desviación de 20 nanómetros); el método químico ofrece un tamaño uniforme (desviación de 5 nanómetros), pero un bajo rendimiento (50 %). Históricamente, la preparación de nanopulvo de tungsteno comenzó en la década de 1990, y el método químico maduró en la década de 2000; en la década de 2010, China optimizó los parámetros del proceso.

Desde una perspectiva global, China posee una ventaja en la tecnología de preparación de polvo de nanotungsteno; Estados Unidos lidera el desarrollo de equipos, como un sistema de evaporación en fase gaseosa que mejora el rendimiento. En aplicaciones multidisciplinarias, el polvo de nanotungsteno se utiliza en la preparación de catalizadores, y su alta superficie específica mejora la eficiencia. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en la preparación nanotecnológica reside en su potencial en nanomateriales de alto rendimiento. En el futuro, podría ser posible mejorar la uniformidad mediante métodos asistidos por microondas o promover la preparación ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de recuperación del 90%).

5.3.5 Perspectivas futuras de las aplicaciones médicas del polvo de nanotungsteno

Los casos de nanopulvo de tungsteno en tratamientos médicos han demostrado su potencial. Caso 1: Un sistema de administración de fármacos utiliza nanoóxido de tungsteno, con una tasa de carga del fármaco del 20 %, una tasa de liberación del 80 % bajo luz infrarroja cercana y un aumento del 25 % en la eficiencia del tratamiento. Caso 2: Una terapia fototérmica utiliza nanopulvo de tungsteno; la temperatura se eleva a 55 °C, la tasa de mortalidad de células cancerosas es del 95 % y la eficacia se mejora en un 20 %. Caso 3: Un recubrimiento antibacteriano utiliza nanoóxido de tungsteno, con una tasa de esterilización del 99 % y una reducción del 30 % en la tasa de infección.

Desde una perspectiva global, China tiene ventaja en el suministro y la preparación de polvo de nanotungsteno; Estados Unidos lidera la investigación de aplicaciones médicas, como un sistema de administración que logra una liberación precisa. Históricamente, las aplicaciones médicas del nanotungsteno comenzaron en la década del 2000 y se expandieron al tratamiento del cáncer en la década del 2010. En colaboración interdisciplinaria, el polvo de nanotungsteno contribuye a la antibacterialidad dental, y su alta eficiencia mejora la seguridad. La perspectiva de aplicación del polvo de tungsteno en nanomedicina reside en su potencial en la medicina de precisión. En el futuro, podría ser posible mejorar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el rendimiento mediante nanocompuestos multifuncionales o promover el desarrollo de la nanomedicina ecológica mediante tecnologías de reciclaje (como una tasa de recuperación de la separación química del 90%).

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Capítulo 6 Aplicación del polvo de tungsteno en bienes de consumo y campos culturales

El polvo de tungsteno, con su alta densidad, resistencia al desgaste y propiedades físicas y químicas únicas, ha demostrado un amplio potencial de aplicación en los sectores de bienes de consumo y culturales, abarcando productos deportivos y de ocio, decoración de joyas y pigmentos artísticos. Estas aplicaciones no solo mejoran el rendimiento y el valor estético del producto, sino que también tienen un profundo impacto en la utilización de recursos, la innovación tecnológica y las prácticas de protección ambiental.

6.1 Productos deportivos y de ocio

6.1.1 Aplicación de polvo de tungsteno de alta densidad en palos de golf

El polvo de tungsteno presenta una ventaja fundamental en los palos de golf gracias a su alta densidad ($19,25 \text{ g/cm}^3$). Al optimizar el diseño del peso, mejora la estabilidad del swing y la distancia de golpeo. Su preparación se basa en la tecnología de pulvimetalurgia: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) se mezcla con níquel y hierro (relación de masas 90:7:3), se homogeneiza mediante molienda de bolas (velocidad 300 rpm, 6 horas), se prensa (presión 300 MPa) y se sinteriza en atmósfera de hidrógeno (1450°C , 2 horas). El producto final tiene una densidad de $17-18 \text{ g/cm}^3$ y una resistencia a la tracción de aproximadamente 1000 MPa. El análisis por microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno son poliédricas (tamaño de 10-15 micras), la fase de níquel-hierro se distribuye uniformemente en el límite de grano (grosor aproximado de 1 micra), la estructura cristalina

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

es cúbica centrada en el cuerpo y la constante de red es de 3,165 angstroms. Las pruebas demuestran que el desplazamiento del centro de gravedad de un palo con peso de tungsteno es inferior a 1 mm, la estabilidad del swing mejora un 20 % y la distancia de golpeo aumenta entre 10 y 15 metros, significativamente mejor que con los pesos de acero tradicionales (densidad de 7,85 g/cm³, cuyo volumen debe ser el doble).

Las pesas de tungsteno son pequeñas (5-10 centímetros cúbicos) y pesadas (50-100 gramos), lo que no solo mantiene el diseño aerodinámico de la cabeza del palo, sino que también mejora el rendimiento aerodinámico. Cuando el contenido de tungsteno supera el 95%, la densidad puede alcanzar los 18,5 gramos/centímetro cúbico, pero la fragilidad aumenta (la elongación disminuye al 5%); la fase aglutinante de níquel-hierro mejora la tenacidad (la elongación alcanza el 10%) y facilita el mecanizado. La temperatura de sinterización debe controlarse con precisión (desviación inferior a 10 grados Celsius). Una temperatura demasiado alta dará lugar a granos gruesos (el tamaño aumenta a 30 micras) y una temperatura demasiado baja resultará en una densidad insuficiente (menos de 17 gramos/centímetro cúbico). El posprocesamiento, como el prensado isostático en caliente (1500 grados Celsius, 100 MPa), puede reducir la porosidad al 0,1% y aumentar la resistencia en un 10%. La tecnología de pesas de tungsteno surgió de la innovación de los palos de golf estadounidenses en la década de 1980, se convirtió en el estándar para los palos profesionales en la década de 1990 y se popularizó ampliamente en la década de 2000. China cuenta con una ventaja en suministro y fabricación gracias a sus abundantes recursos de tungsteno y tecnología avanzada, mientras que Estados Unidos y Japón son líderes en optimización de diseño. Por ejemplo, una marca controla la precisión de la posición del contrapeso con una precisión de $\pm 0,5$ mm. En el futuro, la fabricación aditiva (SLM) permitirá crear estructuras de contrapeso complejas, el dopaje con cobre (contenido del 5%) puede mejorar la conductividad térmica y la recuperación por lixiviación ácida (tasa de recuperación del 90%) puede promover la fabricación ecológica.

6.1.2 Pesos de los aparejos de pesca (ventajas medioambientales de los plomos de tungsteno)

Las plumadas de tungsteno sustituyen a las de plomo en los aparejos de pesca gracias a su alta densidad (19,2 g/cm³) y sus características ecológicas, lo que proporciona un hundimiento rápido y seguridad ecológica. Su proceso de preparación consiste en prensar polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 15-25 micras) a 350 MPa y sinterizarlo en atmósfera de argón (2000 °C, 2 horas). El producto final presenta una resistencia a la tracción de 900 MPa. La difracción de rayos X muestra una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo, una constante de red de 3,165 angstroms y una separación interplanar de 110 angstroms. Las pruebas muestran que la velocidad de hundimiento de las plumadas de tungsteno (volumen 1 centímetro cúbico) es de 0,5 a 0,6 m/s, que es un 30% más rápido que las plumadas de plomo (densidad 11,34 g/cm³), el volumen se reduce en un 40%-50%, la desviación de precisión de fundición es inferior a 10 cm y la tasa de disolución en agua es inferior a 0,01 mg/L, lo que cumple con los estándares de protección medioambiental.

Los plomos de tungsteno deben tener en cuenta tanto la densidad como la resistencia a la corrosión. Aunque el tungsteno puro asegura un posicionamiento rápido, su superficie se oxida fácilmente (el espesor de la capa de óxido es de hasta 10 nanómetros); el dopaje con níquel (contenido del 5%) puede

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reducir la tasa de corrosión a 0,005 mm/año. La sinterización requiere un entorno de alto vacío (10^{-4} Pa) para evitar un contenido excesivo de oxígeno (superior al 0,03%). Los plomos de tungsteno surgieron del movimiento de protección ambiental en Europa y Estados Unidos en la década de 1990. Debido a la promoción de la prohibición del plomo, se globalizaron en la década de 2000. En la década de 2010, China optimizó el proceso y reemplazó en gran medida el mercado de plomos de plomo. China tiene una ventaja en el suministro y la fabricación de polvo de tungsteno, mientras que Estados Unidos es líder en diseño de protección ambiental, como el desarrollo de plomos de tungsteno con revestimiento degradable. En el futuro, el polvo de nano tungsteno puede aumentar aún más su densidad (cerca de 19,3 g/cm³), doparse con cobalto (contenido del 3%) para mejorar la resistencia al desgaste y reciclarse electrolíticamente (tasa de recuperación del 85%) para respaldar el desarrollo de aparejos de pesca ecológicos.

6.1.3 Fabricación de precisión de dardos de aleación de tungsteno

Los dardos de aleación de tungsteno utilizan alta densidad (16-18 g/cm³) y maquinabilidad para crear un cuerpo delgado y mejorar la precisión del lanzamiento. Su preparación consiste en mezclar polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con níquel y cobre (relación másica de 80:15:5), prensarlo (300 MPa) y sinterizarlo en atmósfera de argón (1400 °C). El producto final presenta una resistencia a la tracción de 850 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 10 micras, y la fase de níquel-cobre se distribuye en una red (espesor de 1 micra). Las pruebas muestran que el diámetro de los dardos de tungsteno se reduce a 5 mm (20%-30% más delgado que los dardos de acero), la desviación del centro de gravedad es inferior a 0,1 mm, la tasa de aciertos aumenta entre un 15% y un 20% y la compacidad del cuerpo del dardo (longitud acortada en un 10%) es conveniente para lanzar sobre superficies de objetivos densas.

La fabricación de dardos requiere un equilibrio entre densidad y tenacidad. Cuando el contenido de tungsteno supera el 90%, la densidad aumenta a 18 g/cm³, pero la fragilidad aumenta (la tasa de fractura alcanza el 5%); cuando el contenido de fase níquel-cobre alcanza el 20%, la tenacidad aumenta (la elongación alcanza el 15%), lo cual es conveniente para el procesamiento fino. Después de la sinterización, se requiere un procesamiento en frío (como el estiramiento del 5%) para ajustar la tensión y asegurar la rectitud del cuerpo del dardo (la desviación es inferior a 0,05 mm). Los dardos de tungsteno se originaron en las competiciones profesionales británicas en la década de 1970, se convirtieron en estándar en la década de 1980 y la fórmula se optimizó en la década de 1990 para mejorar la durabilidad. China tiene una ventaja en el suministro y la fabricación de polvo de tungsteno, mientras que el Reino Unido lidera en diseño, como la optimización de la textura del cuerpo del dardo para mejorar el agarre. En el futuro, la fabricación aditiva puede producir cuerpos de dardos complejos, dopándolos con molibdeno (contenido del 5%) para mejorar la tenacidad y recuperando la electrólisis de sales fundidas (tasa de recuperación del 85%) para promover la fabricación ecológica.

6.1.4 Tecnología de mejora del tungsteno para equipos deportivos

La tecnología de mejora del tungsteno utiliza alta densidad y resistencia al desgaste para optimizar el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rendimiento de los equipos deportivos. Se utiliza en marcos de raquetas, cantos de esquís y pesas de competición. Su preparación consiste en mezclar polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-15 micras) con negro de humo y carbonizarlo (1500 grados Celsius, atmósfera de hidrógeno) para generar polvo de carburo de tungsteno (tamaño de partícula de 1-3 micras), que se prensa (300 MPa) y se sinteriza (1450 grados Celsius, 1 hora) con cobalto (contenido del 10%). El producto final presenta una dureza de HV 1600-1800 y una resistencia a la tracción de 1200 MPa. La microscopía electrónica de transmisión muestra que las partículas de carburo de tungsteno son hexagonales (tamaño de 2 micras) y que la fase de cobalto rellena los límites de grano (espesor de 0,5 micras). Las pruebas muestran que la resistencia al desgaste de los marcos de raquetas de tenis mejorados con tungsteno aumenta tres veces, el borde del esquí que corta la superficie del hielo (espesor 5 mm) no tiene desgaste evidente (pérdida inferior a 0,05 mm) y el peso de carrera (densidad 18,5-19,3 g/cm³) reduce el centro de gravedad entre 5 y 10 mm y mejora la estabilidad en las curvas en un 10%.

La tecnología de refuerzo debe tener en cuenta tanto la dureza como la resistencia al impacto. Cuando el contenido de carburo de tungsteno supera el 95%, la dureza aumenta a HV 2000, pero la fragilidad aumenta (la tenacidad a la fractura cae a 10 MPa·m^{1/2}); cuando el contenido de cobalto alcanza el 15%, la tenacidad aumenta (a 15 MPa·m^{1/2}). El contenido de oxígeno debe controlarse durante la sinterización (menos del 0,05%) para evitar que las impurezas afecten al rendimiento. El refuerzo de tungsteno se originó a partir de herramientas industriales en la década de 1980, ingresó en los equipos deportivos en la década de 1990, y Japón optimizó la fórmula de carburo de tungsteno en la década de 2000, y los autos de carreras de F1 comenzaron a usar pesas de tungsteno. China tiene una ventaja en la producción de carburo de tungsteno, mientras que Estados Unidos lidera el diseño de equipos. Por ejemplo, la durabilidad del borde de cierta tabla de esquí ha aumentado en un 40%. En el futuro, el carburo de tungsteno nano puede aumentar la dureza, el dopaje con titanio (contenido del 2%) para mejorar la resistencia a la corrosión y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%) para promover la fabricación ecológica.

6.1.5 Perdigones de núcleo de tungsteno

El lanzamiento de bala con núcleo de tungsteno utiliza la alta densidad del polvo de tungsteno (19,25 g/cm³) para optimizar la distribución del peso y mejorar el rendimiento del lanzamiento. Se prepara de la siguiente manera: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) se mezcla con una pequeña cantidad de níquel (relación de masa 95:5), se prensa en un núcleo (presión de 350 MPa), se sinteriza en una atmósfera de hidrógeno (1500 grados Celsius, 2 horas) y luego se incrusta en la carcasa del lanzamiento de bala. La densidad del núcleo final alcanza los 18-19 g/cm³ y la resistencia a la tracción es de aproximadamente 950 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno son poliédricas (tamaño de 10-15 micras) y la fase de níquel se distribuye uniformemente en el límite de grano (espesor de aproximadamente 1 micrómetro). Las pruebas muestran que la desviación del centro de gravedad del lanzamiento de bala con núcleo de tungsteno (diámetro 110 mm, peso 7,26 kg) es inferior a 0,5 mm y la distancia de lanzamiento aumenta entre un 5% y un 8%, lo que es más fácil de controlar que el lanzamiento de bala completo tradicional (densidad 11,34 g/cm³).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El núcleo de tungsteno es pequeño (representa aproximadamente el 30% del volumen del lanzamiento de peso), concentra el peso en el centro y mejora la estabilidad rotacional. Un alto contenido de tungsteno mejora la densidad, pero el costo aumenta; la fase aglutinante de níquel mejora la tenacidad (elongación del 8%) y garantiza la resistencia al impacto del núcleo. La temperatura de sinterización debe controlarse a ± 10 grados Celsius para evitar una porosidad excesiva (superior al 0,5%). El lanzamiento de peso con núcleo de tungsteno comenzó con la innovación en el equipamiento de atletismo en la década de 1990 y se utilizó gradualmente en competiciones profesionales en la década de 2010. China tiene una ventaja en la fabricación de núcleos de tungsteno, y Estados Unidos optimiza la distribución del peso en el diseño. En el futuro, la fabricación aditiva puede lograr estructuras de núcleo complejas, y la tecnología de reciclaje (como la electrólisis con una tasa de reciclaje del 85%) apoya el desarrollo sostenible.

6.1.6 Núcleo de tungsteno de disco

El núcleo de disco de tungsteno utiliza la alta densidad del polvo de tungsteno para optimizar el peso y la estabilidad de vuelo. Se prepara de la siguiente manera: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 15-25 micras) se mezcla con hierro (relación de masas 90:10), se prensa para formar un núcleo (presión de 400 MPa), se sinteriza en atmósfera de argón (1450 °C, 2 horas) y se incrusta en el cuerpo del disco. El núcleo terminado tiene una densidad de 17-18 g/cm³ y una resistencia a la tracción de 1000 MPa. La difracción de rayos X muestra que la estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo, con una constante de red de 3,165 angstroms. Las pruebas muestran que la desviación del centro de gravedad del disco con núcleo de tungsteno (diámetro de 220 mm, peso de 2 kg) es inferior a 0,3 mm, la distancia de vuelo aumenta entre un 5% y un 10% y la resistencia del aire se reduce en un 8%, lo que es mejor que el disco tradicional totalmente de acero (densidad de 7,85 g/cm³).

El núcleo de tungsteno concentra el peso en el centro (representa aproximadamente el 20 % del volumen del disco), lo que mejora el equilibrio rotacional. La sinterización requiere alto vacío (10⁻⁴Pa) para evitar que la oxidación afecte el rendimiento. El disco con núcleo de tungsteno surgió de la modernización de los equipos de atletismo en la década del 2000. China lideró la fabricación, mientras que Europa optimizó el diseño aerodinámico. En el futuro, el dopaje con cobre (contenido del 5 %) puede mejorar la conductividad térmica, y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90 %) promueve una producción respetuosa con el medio ambiente.

6.1.7 Mancuernas y discos de barra de aleación de tungsteno

El polvo de tungsteno se utiliza en mancuernas y barras en forma de aleaciones de alta densidad para reducir el volumen y mejorar la portabilidad. Se prepara de la siguiente manera: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) se mezcla con níquel y cobre (relación de masas 85:10:5), se prensa (300 MPa) y se sinteriza en una atmósfera de hidrógeno (1400 grados Celsius, 2 horas). El producto final tiene una densidad de 16-18 g/cm³ y una resistencia a la tracción de 900 MPa. La microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 10 micras, y la fase de níquel-cobre se distribuye en una red (espesor de 1 micra). Las pruebas muestran que el volumen de una mancuerna de aleación de tungsteno (peso de 5 kg) es un 40 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

menor que el de una mancuerna de acero (densidad de 7,85 g/cm³), y la comodidad de agarre se mejora en un 15 %.

Cuando el contenido de tungsteno es alto, la densidad es mejor, pero la fragilidad aumenta (el alargamiento disminuye al 5%); la fase de níquel-cobre mejora la tenacidad (el alargamiento alcanza el 10%) y facilita el procesamiento. Las mancuernas y barras de aleación de tungsteno comenzaron a innovar en el sector de los equipos de fitness en la década de 2010. China tiene una ventaja en la fabricación, y Estados Unidos es líder en diseño, como la optimización de formas ergonómicas. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá producir estructuras de pesas personalizadas, y el reciclaje por electrólisis de sales fundidas (tasa de reciclaje del 85%) impulsa el desarrollo de equipos de fitness ecológicos.

6.1.8 Jabalina de aleación de tungsteno

El polvo de tungsteno se utiliza como contrapeso en jabalinas para mejorar la distancia de vuelo y la estabilidad. Se prepara de la siguiente manera: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-15 micras) se mezcla con níquel (relación de masa 95:5), se prensa en un bloque de contrapeso (presión 350 MPa), se sinteriza en una atmósfera de argón (1500 grados Celsius, 2 horas) y se incrusta en la cola de la jabalina. El producto final tiene una densidad de 18-19 gramos por centímetro cúbico y una resistencia a la tracción de 950 MPa. Las pruebas demuestran que el centro de gravedad de una jabalina con peso de tungsteno (peso 800 gramos) tiene una desviación inferior a 0,5 mm, un aumento de la distancia de vuelo del 5% al 7% y es más estable que una jabalina tradicional con peso de acero.

El bloque de peso es pequeño (5-10 centímetros cúbicos), concentra el peso en la cola y optimiza el rendimiento aerodinámico. La jabalina de tungsteno surgió de la innovación en atletismo en la década del 2000. China es líder en fabricación, y Japón optimiza la precisión de la posición del peso. En el futuro, el polvo de nanotungsteno puede aumentar la densidad, y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%) promueve el desarrollo sostenible.

6.1.9 Punta de flecha de aleación de tungsteno

Las puntas de flecha de aleación de tungsteno utilizan una alta densidad (17-18 g/cm³) para mejorar la penetración y la precisión de vuelo. Se preparan mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con níquel y hierro (relación de masas de 90:7:3), prensando (300 MPa) y sinterizando en atmósfera de hidrógeno (1450 °C, 2 horas). El producto final tiene una resistencia a la tracción de 1000 MPa. Las pruebas demuestran que las puntas de flecha de tungsteno (peso de 100 granos) tienen un volumen un 30 % menor que las de acero (densidad de 7,85 g/cm³), con una penetración un 20 % mayor y una desviación de vuelo inferior a 5 cm.

Cuando el contenido de tungsteno es alto, la penetración es más fuerte, pero la fragilidad aumenta; la fase de níquel-hierro mejora la tenacidad y facilita el procesamiento de la punta. Las puntas de flecha de tungsteno surgieron de la modernización de la arqueología en la década de 1990. China tiene una ventaja en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la fabricación, y Estados Unidos ha optimizado la forma de las puntas de flecha. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá lograr estructuras complejas, y el reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85%) promueve la producción ecológica.

6.1.10 Balas deportivas de aleación de tungsteno

El polvo de tungsteno sustituye al plomo en las balas deportivas para mejorar la protección ambiental y la precisión. Su preparación es la siguiente: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 15-25 micras) se mezcla con cobre (relación de masas de 90:10), se prensa (350 MPa) y se sinteriza en atmósfera de argón (1400 °C, 2 horas). El producto final tiene una densidad de 17-18 g/cm³ y una resistencia a la tracción de 900 MPa. Las pruebas demuestran que la desviación de la velocidad de vuelo de las balas de tungsteno (diámetro de 4,5 mm, peso de 5 gramos) es inferior al 1 %, su volumen es un 40 % menor que el de las balas de plomo (densidad de 11,34 g/cm³) y no produce emisiones tóxicas.

Las balas de tungsteno deben sinterizarse en alto vacío para evitar la oxidación. Desde la década del 2000, China ha liderado la fabricación, y Estados Unidos ha optimizado el diseño balístico. En el futuro, el polvo de nanotungsteno puede aumentar la densidad, y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%) promoverá el desarrollo sostenible.

6.1.11 Balas de aleación de tungsteno para escopetas y armas de caza

Los perdigones de aleación de tungsteno sustituyen al plomo en escopetas y rifles de caza gracias a su alta densidad (16-18 g/cm³), lo que mejora la letalidad y es respetuoso con el medio ambiente. Se preparan mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con níquel y cobre (relación de masas 85:10:5), prensando (300 MPa) y sinterizando en atmósfera de hidrógeno (1400 °C, 2 horas). El producto final tiene una resistencia a la tracción de 850 MPa. Las pruebas demuestran que los perdigones de tungsteno (3 mm de diámetro) tienen una penetración un 25 % mayor que los de plomo, son un 35 % más pequeños y no son tóxicos.

Los proyectiles de tungsteno surgieron a partir de las regulaciones ambientales para la caza en la década de 1990. China tiene una ventaja en la fabricación, y Estados Unidos optimiza la uniformidad de la distribución de los proyectiles. En el futuro, el dopaje con cobalto (3%) mejorará la resistencia al desgaste, y la recuperación por electrólisis de sales fundidas (tasa de recuperación del 85%) impulsará la producción ecológica.

6.1.12 Contrapeso sumergible de aleación de tungsteno

El polvo de tungsteno optimiza la eficiencia de buceo gracias a su alta densidad (18-19 g/cm³) en las pesas sumergibles. Se prepara mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula: 15-25 μm) con níquel (relación de masas: 95:5), prensando (400 MPa) y sinterizando en atmósfera de argón (1500 °C, 2 horas). El producto final tiene una resistencia a la tracción de 950 MPa. Las pruebas demuestran que las pesas de tungsteno (volumen: 20 cm³, peso: 400 g) aumentan la velocidad de buceo en un 15 % y son un 50 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

más pequeñas que las de plomo.

La resistencia a la corrosión de las pesas de tungsteno debe optimizarse mediante el dopaje con níquel. Esto comenzó en la década del 2000 con la modernización de la tecnología de buceo, y China se ha posicionado a la vanguardia de la fabricación. En el futuro, el polvo de nanotungsteno aumentará la densidad, y el reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85%) promoverá las aplicaciones de protección ambiental.

6.1.13 Peso del punto óptimo de la raqueta de tenis de aleación de tungsteno

El polvo de tungsteno mejora la potencia y la estabilidad de la raqueta de tenis en el punto óptimo de impacto. Se prepara mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-15 micras) con níquel (relación de masas de 90:10), prensando (300 MPa) y sinterizando en atmósfera de hidrógeno (1450 °C, 2 horas). El producto final tiene una densidad de 17-18 g/cm³ y una resistencia a la tracción de 900 MPa. Las pruebas demuestran que las pesas de tungsteno (peso de 20 gramos) colocadas en el punto óptimo de impacto pueden aumentar la potencia de la pelota en un 10 % y reducir la vibración en un 15 %.

Las pesas de tungsteno son pequeñas y optimizan el equilibrio de la raqueta. Su uso comenzó con la mejora del equipamiento de tenis en la década de 1990. China tiene una ventaja en la fabricación, y Estados Unidos ha optimizado la precisión de la posición de las pesas. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá lograr pesas personalizadas, y el reciclaje de reducción química (tasa de reciclaje del 90 %) impulsa el desarrollo sostenible.

6.1.14 Estudio de caso de polvo de tungsteno para artículos deportivos

Los casos de aplicación del polvo de tungsteno en artículos deportivos resaltan sus ventajas características de alta densidad. Caso 1: Un palo de golf usa un peso de tungsteno (densidad 18 g/cm³, volumen 8 cm³), la desviación del centro de gravedad es menor a 1 mm, la distancia de golpeo aumenta en 15 metros y la estabilidad del swing mejora en un 20%. Caso 2: Un aparejo de pesca usa un plomo de tungsteno (diámetro 6 mm, peso 10 g), la velocidad de hundimiento es de 0,55 m/s, la desviación de precisión de lanzamiento es menor a 8 cm y la participación de mercado aumenta en un 25%. Caso 3: Un dardo usa aleación de tungsteno (densidad 17 g/cm³), diámetro 5 mm, y la tasa de golpeo de lanzamiento aumenta en un 18%. Caso 4: La distancia de lanzamiento de un lanzamiento de peso con núcleo de tungsteno (peso 7,26 kg) aumenta en un 8% y la controlabilidad mejora en un 10%. Caso 5: El peso del punto dulce de una raqueta de tenis (peso 20 gramos) aumenta la potencia de golpe en un 10% y la satisfacción del jugador alcanza el 90%.

China lidera el suministro y la fabricación de polvo de tungsteno gracias a sus ventajas en recursos, mientras que Estados Unidos y Japón lideran la optimización del diseño. Las aplicaciones del polvo de tungsteno en deportes comenzaron en la década de 1970, se expandieron al golf y los dardos en la de 1980, y se incorporó a los equipos de pesca y al tiro en la de 1990 debido a las necesidades de protección ambiental. En el futuro, el nanopolvo de tungsteno mejorará el rendimiento y la tecnología de reciclaje

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

promoverá el desarrollo sostenible.

6.2 Joyería y decoración de aleación de tungsteno

Joyas de oro y tungsteno (anillos, collares) hechas de polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno se utiliza en joyería dura en forma de carburo de tungsteno, y se emplea para fabricar anillos y collares de alta dureza y resistencia al rayado. Su preparación es la siguiente: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 4-8 micras) se mezcla con negro de humo y se carboniza (1500 grados Celsius, atmósfera de hidrógeno) para producir polvo de carburo de tungsteno (tamaño de partícula de 1-5 micras), se prensa (300 MPa) y se sinteriza (1450 grados Celsius, 1 hora). El producto final tiene una dureza de HV 1600-1800 y una resistencia a la tracción de 1100 MPa. La difracción de rayos X muestra que el carburo de tungsteno tiene una estructura hexagonal compacta con parámetros de red $a = 2,906$ angstroms y $c = 2,837$ angstroms. Las pruebas demuestran que la joya es resistente al rayado de una aguja de acero (presión de 10 Newtons) sin arañazos evidentes (profundidad inferior a 0,01 mm) y su resistencia al desgaste es 10 veces mayor que la del oro.

La joyería dura debe tener en cuenta tanto la dureza como la estética. La superficie debe pulirse hasta una rugosidad de 0,2 micras y un brillo del 80 %. La sinterización requiere un contenido de oxígeno controlado (inferior al 0,05 %) para evitar que los óxidos afecten el color. La joyería de carburo de tungsteno se originó en Estados Unidos en la década de 1990, se convirtió en tendencia en la década de 2000 y China optimizó el proceso de pulido en la década de 2010 para mejorar su competitividad. China tiene una ventaja en la producción de carburo de tungsteno, mientras que Estados Unidos es líder en diseño, como la combinación de tecnología de incrustaciones para aumentar la decoración. En el futuro, el nanocarburo de tungsteno puede aumentar la dureza, el dopaje con cobalto (contenido del 5 %) para mejorar la tenacidad y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90 %) para promover la fabricación de joyería ecológica.

6.2.2 Resistencia al desgaste y propiedades estéticas de la aleación de tungsteno

Las joyas de aleación de tungsteno son aptas para el uso diario gracias a su resistencia al desgaste y brillo metálico. Se preparan mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con níquel y cobre (relación de masas 85:10:5), prensando (350 MPa) y sinterizando (1400 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto final tiene una densidad de 16-17 g/cm³ y una dureza de HV 500. La microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 15 micras, y la fase de níquel-cobre se distribuye en una red (espesor de 1-2 micras). Las pruebas demuestran que la aleación es resistente al desgaste (coeficiente de fricción 0,3, pérdida inferior a 0,05 mm/1000 horas), y el brillo se mantiene en un 90 % (tras 600 horas de exposición).

Las aleaciones de tungsteno deben optimizar su resistencia al desgaste y ductilidad. Con un alto contenido de tungsteno (superior al 90%), la dureza aumenta a HV 600, pero la ductilidad disminuye al 5%; con un alto contenido de níquel-cobre (15%), la ductilidad aumenta (hasta un 10%), lo que facilita

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

su conformación. Tras la sinterización, se requiere galvanoplastia (como rodio, con un espesor de 2 micras) para mejorar la estética. La joyería con aleaciones de tungsteno se inició en la década de 1980, se popularizó en la década de 1990 y Europa optimizó la fórmula de la aleación en la década de 2000 para mejorar su durabilidad. China cuenta con una ventaja en el suministro y la fabricación de polvo de tungsteno, e Italia es líder en diseño, como la optimización de la comodidad de uso. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá producir estructuras complejas, dopando con molibdeno (contenido del 5%) para mejorar la resistencia a la corrosión y reciclando electrolíticamente (tasa de reciclaje del 85%) para promover la fabricación ecológica.

6.2.3 Aplicación precisa de polvo de tungsteno en piezas de relojería

El polvo de tungsteno se utiliza en piezas de relojes para fabricar volantes y engranajes debido a su alta densidad y resistencia al desgaste, lo que mejora la precisión y la vida útil. Se prepara mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-15 micras) con níquel (relación de masa 95:5), prensado (300 MPa) y sinterizado (1450 grados Celsius, atmósfera de hidrógeno). El producto final tiene una densidad de 18-19 g/cm³ y una dureza de HV 550. La microscopía electrónica de transmisión muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 10 micras y la fase de níquel llena los límites de grano (espesor 1 micrón). Las pruebas muestran que la desviación de peso del volante de tungsteno es inferior a 0,01 g, la estabilidad de frecuencia se mejora en un 10 % y la resistencia al desgaste del engranaje se triplica (la pérdida es inferior a 0,02 mm después de 5000 horas de funcionamiento).

Las piezas de un reloj deben tener en cuenta tanto la densidad como la precisión del procesamiento. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 98%), la densidad aumenta a 19,2 g/cm³, pero la fragilidad aumenta (la tasa de fractura alcanza el 5%); cuando el contenido de níquel es alto (10%), la tenacidad aumenta (la alargamiento alcanza el 10%). Tras la sinterización, se requiere un procesamiento fino (rugosidad superficial de 0,1 micras) para garantizar un funcionamiento sin problemas. Las piezas de tungsteno comenzaron a utilizarse en relojes de alta gama en la década de 1970, Suiza las utilizó para relojes mecánicos en la década de 1980 y se convirtieron en un estándar para las marcas de lujo en la década de 1990. China tiene una ventaja en el suministro y la fabricación de polvo de tungsteno, y Suiza es líder en diseño, como la optimización de la durabilidad de los engranajes. En el futuro, el polvo de nano-tungsteno aumentará la densidad, el dopaje con cobre (contenido del 5%) mejorará la conductividad y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%) promoverá la fabricación ecológica.

6.2.4 Proceso de polvo de tungsteno para la fabricación de joyas

El proceso de fabricación de joyas de polvo de tungsteno incluye la preparación del polvo, el moldeado y el posprocesamiento para garantizar su rendimiento y belleza. El proceso es el siguiente: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-10 micras) se mezcla con negro de humo y se carboniza (1500 grados Celsius, 2 horas) para generar polvo de carburo de tungsteno (tamaño de partícula de 1-3 micras), que se muele en un molino de bolas con cobalto (contenido 10%) (velocidad 400 rpm, 4 horas), se prensa (300

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa) y se sinteriza (1450 grados Celsius, 1 hora), y luego se pule hasta una rugosidad de 0,2 micras. La microscopía electrónica de barrido muestra que el producto terminado tiene una porosidad inferior al 0,5% y las partículas de carburo de tungsteno están distribuidas uniformemente (tamaño 2 micras). Las pruebas muestran que el anillo producido por este proceso tiene una dureza de HV 1800 y una resistencia al rayado que es 5 veces mayor.

El proceso requiere controlar la uniformidad y la calidad de la superficie. Si bien el tiempo de molienda es prolongado (más de 6 horas), las partículas son más finas (menos de 1 micrón), el consumo de energía aumenta. La desviación de la temperatura de sinterización es inferior a 10 grados Celsius para evitar granos gruesos (más de 5 micrón). La tecnología de joyería con polvo de tungsteno comenzó en la década de 1990 y los procesos estandarizados se establecieron en la década de 2000. En la década de 2010, China optimizó la tecnología de pulido para mejorar la eficiencia. China cuenta con una ventaja tecnológica, e Italia es líder en diseño estético, como la mejora del brillo de la joyería. En el futuro, la fabricación aditiva aumentará la complejidad, y el reciclaje con reducción química (tasa de reciclaje del 90 %) promoverá el desarrollo sostenible.

6.2.5 Casos típicos de joyería de polvo de tungsteno

Los estuches de joyería de polvo de tungsteno demuestran su belleza y practicidad. Caso 1: Un anillo de carburo de tungsteno tiene una dureza de HV 1800, una resistencia al rayado 5 veces mayor y un brillo del 95 % tras 1000 horas de uso. Caso 2: Un collar de aleación de tungsteno tiene una densidad de 17 g/cm³, una resistencia al desgaste 3 veces mayor y un color estable. Caso 3: Un reloj mecánico utiliza un volante de tungsteno; la desviación de frecuencia es inferior a 0,01 segundos/día y la precisión aumenta un 10 %.

China domina el suministro y la fabricación de polvo de tungsteno, mientras que Suiza y Estados Unidos son líderes en diseño, como la combinación de tecnología de incrustaciones para realzar la decoración. La joyería con polvo de tungsteno surgió en la década de 1990 y se expandió al sector relojero en la década de 2000. En el futuro, el diseño inteligente mejorará la estética y la tecnología de reciclaje promoverá el desarrollo sostenible.

6.3 Arte y pigmentos

6.3.1 Durabilidad y efectos de color de los pigmentos de polvo de tungsteno

El pigmento de polvo de tungsteno se aplica en forma de óxido de tungsteno y es apto para pintura y decoración gracias a su durabilidad y estabilidad de color. Se prepara de la siguiente manera: el polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-10 micras) se oxida al aire a 800 grados Celsius para producir óxido de tungsteno amarillo (WO₃, tamaño de partícula de 1-5 micras), con una estructura cristalina monoclinica y parámetros reticulares $a = 7,306$ angstroms, $b = 7,540$ angstroms y $c = 7,692$ angstroms. Las pruebas demuestran que la tasa de decoloración del pigmento es inferior al 1 % bajo luz ultravioleta (365 nanómetros, 1000 horas), y su resistencia a la temperatura alcanza los 500 grados Celsius, un 50 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

superior a la de los pigmentos tradicionales.

Los pigmentos deben optimizar su durabilidad y color. Cuando el grado de oxidación es alto (W^{6+} representa el 95%), el amarillo es más brillante (el brillo L^* alcanza 80), pero las partículas gruesas (mayores de 10 micras) afectan la uniformidad; la temperatura de tostado debe controlarse (la desviación debe ser inferior a 10 grados Celsius) para evitar la variación de tono. Los pigmentos de óxido de tungsteno comenzaron a usarse en la industria a finales del siglo XIX, ingresaron al campo artístico en la década de 1950 y optimizaron la estabilidad del color en Europa en la década de 1980. China tiene una ventaja en tecnología de oxidación, y Francia lidera el arte de los pigmentos, como la mejora de la durabilidad del color. En el futuro, el nanoóxido de tungsteno mejorará el brillo, el dopaje con molibdeno (contenido del 5%) ajustará el tono de color y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%) promoverá la fabricación ecológica.

6.3.2 Aplicación ignífuga de recubrimiento artístico a base de tungsteno

Los recubrimientos artísticos a base de tungsteno protegen la superficie de las obras de arte mediante su resistencia a altas temperaturas y al fuego. Se preparan de la siguiente manera: se deposita polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) mediante pulverización de plasma (potencia de 50 kW, 4000 grados Celsius, flujo de argón de 40 litros/minuto); el espesor del recubrimiento es de 100 micras y la dureza es de HV 800. La microscopía electrónica de barrido muestra que el recubrimiento tiene una porosidad inferior al 1 % y que las partículas de tungsteno son planas (espesor de 5 micras). Las pruebas demuestran que el recubrimiento puede soportar llamas de 800 grados Celsius (30 minutos) sin descascarillarse, tiene una conductividad térmica de 170 W/(m·Kelvin) y una resistencia al fuego un 40 % superior a la de los recubrimientos tradicionales.

El recubrimiento debe considerar tanto la resistencia al fuego como la adhesión. El dopaje con óxido de tungsteno (contenido del 10%) mejora la resistencia al calor (hasta 1000 grados Celsius); la pulverización debe controlar el contenido de oxígeno (menos del 0,05%) para evitar defectos de óxido. El recubrimiento de tungsteno comenzó a utilizarse en la industria en la década de 1970, se incorporó a la protección de obras de arte en la década de 1980 y Estados Unidos optimizó el proceso de pulverización en la década de 1990. China tiene una ventaja en la tecnología de pulverización e Italia lidera la protección de obras de arte, como la protección de esculturas de madera. En el futuro, los nanorrecubrimientos mejorarán el rendimiento, el dopaje con silicio (contenido del 5%) mejorará la resistencia al desprendimiento, y la separación química y el reciclaje (tasa de reciclaje del 90%) promoverán el desarrollo ecológico.

6.3.3 Efecto fortalecedor del polvo de tungsteno en materiales de escultura

El polvo de tungsteno se utiliza en materiales de escultura para mejorar la resistencia y la durabilidad mediante aleaciones o formas compuestas. Se prepara mezclando polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con cobre (relación de masa 80:20), prensado (350 MPa) y sinterizado (1400 grados Celsius, atmósfera de argón). El producto final tiene una densidad de 16-17 g/cm³ y una resistencia a la tracción de 900 MPa. La microscopía electrónica de transmisión muestra que el tamaño

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de partícula de tungsteno es de aproximadamente 15 micras y que la fase de cobre está distribuida uniformemente (espesor de 2 micras). Las pruebas demuestran que el material es resistente a la intemperie (humedad del 90 %, 1000 horas), con una tasa de corrosión inferior a 0,01 mm/año y una resistencia tres veces superior a la del cobre puro.

Los materiales para esculturas necesitan optimizar su resistencia y plasticidad. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 90%), la resistencia aumenta a 1000 MPa, pero la ductilidad disminuye al 5%; cuando el contenido de cobre es alto (30%), la ductilidad aumenta (hasta un 15%). Tras la sinterización, se requiere un procesamiento fino (rugosidad superficial de 0,5 micras) para mejorar la estética. Las esculturas mejoradas con tungsteno comenzaron en la década de 1980, se utilizaron para arte al aire libre en la década de 1990, y China optimizó el proceso de compuestos en la década de 2000. China tiene una ventaja en el suministro y la fabricación, y Europa lidera en diseño, por ejemplo, mejorando la durabilidad en un 50%. En el futuro, la fabricación aditiva producirá estructuras complejas, el dopaje con níquel (contenido del 5%) mejorará la resistencia a la corrosión y el reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85%) promoverá la fabricación ecológica.

6.3.4 Tecnología de polvo de tungsteno para la fabricación de obras de arte

La tecnología de fabricación de obras de arte con polvo de tungsteno incluye pulvimetalurgia y procesos de recubrimiento para mejorar el rendimiento de la obra. El proceso consiste en mezclar polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-15 micras) con níquel (relación de masa de 90:10), prensarlo (300 MPa) y sinterizarlo (1450 grados Celsius, atmósfera de hidrógeno), o bien, transformarlo en un recubrimiento (espesor de 50 micras) mediante pulverización de plasma. La microscopía electrónica de barrido muestra que el producto final tiene una porosidad inferior al 0,5 % y que las partículas de tungsteno están distribuidas uniformemente (tamaño de 10 micras). Las pruebas demuestran que las esculturas producidas con esta tecnología tienen una resistencia de 900 MPa y que el recubrimiento puede resistir una llama de 500 grados Celsius (20 minutos) sin sufrir daños.

La tecnología requiere controlar la uniformidad y la calidad de la superficie, evitar una desviación de la temperatura de sinterización inferior a 10 grados Celsius y un tamaño de grano (superior a 20 micras). Es necesario optimizar los parámetros de pulverización (desviación de potencia inferior a 5 kilovatios) para garantizar la adhesión (hasta 60 MPa). La tecnología de polvo de tungsteno comenzó en la década de 1980, se desarrolló en la década de 1990 y Europa optimizó el proceso en la década de 2000. China cuenta con una ventaja tecnológica, mientras que Estados Unidos lidera la innovación, como la mejora de la estética del recubrimiento. En el futuro, la nanotecnología mejorará el rendimiento, y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%) promoverá el desarrollo sostenible.

6.4 Productos de marcado de aleación de tungsteno

La aleación de tungsteno se ha convertido en la opción ideal para la fabricación de productos de identificación de alta gama gracias a su alta densidad, excelente textura, resistencia a altas temperaturas, resistencia al fuego, alta resistencia, alta tenacidad, resistencia a la extrusión, resistencia al desgaste,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resistencia al impacto y alta resistencia a la corrosión. Su superficie permite grabar fácilmente patrones, texto, códigos QR y otros logotipos, y se conserva durante mucho tiempo en entornos extremos. Se utiliza ampliamente en tarjetas de visita de alta gama de aleación de tungsteno, tarjetas bancarias de oro de aleación de tungsteno, placas de identificación de aleación de tungsteno para mascotas, etiquetas de equipaje de aleación de tungsteno y placas de identificación de aleación de tungsteno para soldados. Con muchos años de experiencia en la fabricación de exquisitos productos de aleación de tungsteno, CTIA GROUP LTD ha demostrado su excelente capacidad en el diseño y la fabricación de productos de identificación de aleación de tungsteno y ofrece soluciones personalizadas de alta calidad.

6.4.1 Propiedades del material y preparación de la aleación de tungsteno

El proceso de preparación de los productos de identificación de aleaciones de tungsteno es el siguiente: se mezcla polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) con níquel y cobre (relación molar de 85:10:5), se homogeneiza mediante molienda de bolas (velocidad de 300 rpm, 6 horas), se prensa (presión de 350 MPa) y se sinteriza en atmósfera de argón (1400 °C, 2 horas). El producto final tiene una densidad de 16-18 g/cm³, una dureza de HV de 500-600 y una resistencia a la tracción de 900 MPa. El análisis por microscopía electrónica de barrido muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de aproximadamente 15 micras, y la fase de níquel-cobre se distribuye en una red (espesor de 1-2 micras). Los resultados de las pruebas muestran que la aleación es resistente a altas temperaturas (800 grados Celsius, sin deformación durante 30 minutos), resistente a la corrosión (prueba de niebla salina de 1000 horas, tasa de corrosión inferior a 0,01 mm/año), resistente al desgaste (coeficiente de fricción 0,3, pérdida inferior a 0,05 mm/1000 horas) y fuerte resistencia al impacto (prueba de martillo de caída de 50 julios sin grietas).

Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 90%), la densidad y la dureza son mejores, pero la tenacidad se reduce ligeramente (elongación del 5%). La fase de níquel-cobre mejora la tenacidad (elongación de hasta un 10%), lo cual facilita el procesamiento y el grabado. La superficie se pule hasta una rugosidad de 0,2 micras y un brillo del 85%, con una textura suave y elegante. El contenido de oxígeno debe controlarse durante la sinterización (inferior al 0,05%) para garantizar un rendimiento estable del material. CTIA GROUP LTD optimiza la fórmula y el proceso para garantizar que los productos sean prácticos y estéticos, satisfaciendo diversas necesidades.

6.4.2 Tarjetas de presentación de aleación de tungsteno de alto grado

Las tarjetas de visita de aleación de tungsteno son ideales para empresas de alto nivel gracias a su alta densidad (17-18 g/cm³) y su textura única. Su grosor suele ser de 0,5-1 mm, su peso de unos 20-30 g y su tamaño cumple con las especificaciones estándar para tarjetas de visita (90 × 55 mm). La superficie permite grabar con láser el nombre, el cargo, el logotipo de la empresa y el código QR con una precisión de 0,01 mm. La claridad del patrón no presenta desgaste visible tras 1000 horas de uso. Las pruebas demuestran que la tarjeta no se deforma a altas temperaturas (500 °C, 1 hora), es resistente a la extrusión (no se deforma bajo una presión de 50 kg) y mantiene un brillo superior al 90 % durante mucho tiempo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las tarjetas de presentación de aleación de tungsteno han ganado popularidad en el mercado empresarial de alta gama desde la década de 2010. Su tacto firme y durabilidad realzan la imagen profesional del titular. CTIA GROUP LTD ofrece servicios personalizados para satisfacer las necesidades de los clientes en cuanto a texturas de alta gama y diseños personalizados. En el futuro, se espera que la tecnología de fabricación aditiva logre patrones tridimensionales, y el reciclaje por reducción química (tasa de reciclaje del 90%) promoverá la producción ecológica.

6.4.3 Tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno

La tarjeta bancaria dorada de aleación de tungsteno se ha convertido en un símbolo de identidad y valor en el sector financiero de alta gama gracias a su alta densidad, excelente durabilidad, textura única y múltiples características de seguridad. Su proceso de preparación utiliza polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 micras) mezclado con níquel y cobre (relación de masas 85:10:5), molienda de bolas (velocidad 300 rpm, 6 horas), homogeneización y posterior prensado (presión 350 MPa), y sinterización en atmósfera de argón (1400 °C, 2 horas). El producto final suele tener un grosor de 1-2 mm, un peso de entre 50 y 80 gramos y un tamaño que cumple con las especificaciones estándar internacionales para tarjetas bancarias (85,6 × 54 mm). La superficie puede grabarse o grabarse con láser con el nombre del titular, el número de tarjeta, el logotipo del banco y el código QR, con una precisión de grabado de 0,01 mm, lo que garantiza una información clara y duradera. CTIA GROUP LTD utiliza tecnología exquisita para inyectar un procesamiento de detalles de alta calidad y un diseño personalizado en la tarjeta dorada de aleación de tungsteno FashionBank, mejorando su reconocimiento y la experiencia del usuario en el mercado financiero.

6.4.3.1 Características de rendimiento de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno

Las características de rendimiento de la tarjeta de oro bancaria de aleación de tungsteno se derivan de su alta densidad (17-18 g/cm³) y excelentes propiedades físicas y químicas. Las pruebas muestran que la tarjeta de oro no se funde ni se deforma a altas temperaturas (1000 grados Celsius, 10 minutos) y tiene una excelente resistencia al fuego; la prueba de resistencia a la corrosión (solución ácida pH=2, inmersión durante 1000 horas) no muestra cambios obvios en la superficie, y su resistencia a la corrosión supera con creces la de las tarjetas metálicas tradicionales; la resistencia a la tracción alcanza los 900 MPa, la dureza HV 500-600, y la prueba de resistencia al desgaste (coeficiente de fricción 0,3, 1000 horas de pérdida por fricción inferior a 0,05 mm) muestra que su superficie es duradera. Estas características garantizan que la tarjeta de oro pueda mantener su integridad y funcionalidad en condiciones extremas, y su vida útil es más de 5 veces mayor que la de las tarjetas metálicas comunes (como el acero inoxidable o la aleación de aluminio).

La alta densidad de la aleación de tungsteno proporciona a la tarjeta de oro una sensación de pesadez, una distribución uniforme del peso y una desviación del centro de gravedad inferior a 0,5 mm, lo que mejora la estabilidad y la comodidad al sostenerla. El proceso de sinterización requiere un control estricto del contenido de oxígeno (inferior al 0,05 %) para evitar que los óxidos afecten al rendimiento. Al mismo tiempo, el posprocesamiento, como el pulido (rugosidad superficial de 0,2 micras), mejora aún más el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

brillo (hasta un 85 %), lo que le da una apariencia de textura metálica y efecto espejo. Cuando el contenido de tungsteno es alto (superior al 90 %), la dureza y la densidad son mejores, pero la tenacidad se reduce ligeramente (elongación del 5 %); la adición de fases de níquel-cobre mejora la tenacidad (elongación de hasta un 10 %), lo que garantiza que la tarjeta de oro no sea fácil de romper durante el procesamiento y el uso.

6.4.3.2 Seguridad de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno

La tarjeta bancaria dorada de aleación de tungsteno ofrece un excelente rendimiento de seguridad, satisfaciendo las necesidades del sector financiero en cuanto a identificación de alta fiabilidad. La información personal y el código QR grabados en la superficie se graban mediante tecnología láser, con una profundidad de 0,2-0,3 mm. Su resistencia al desgaste y a la corrosión garantiza que la información no se difumine ni altere fácilmente durante un uso prolongado. Las pruebas demuestran que, incluso en condiciones extremas (como temperaturas de 800 °C durante 30 minutos o entornos con niebla salina durante 1000 horas), el contenido grabado se puede leer con claridad, y la tasa de retención de información supera el 99 %. Además, la capacidad antiextrusión de la aleación de tungsteno (50 kg de presión sin deformación) y la resistencia al impacto (50 julios de impacto sin grietas) previenen eficazmente los daños físicos, garantizando que la tarjeta dorada no se deforme ni se rompa ante caídas accidentales o fuerzas externas, y protegiendo la integridad del chip integrado (como los chips RFID o NFC).

La inercia química de la aleación de tungsteno dificulta su reacción con sustancias corrosivas como ácidos y álcalis, lo que reduce el riesgo de daños por agentes químicos dañinos. En comparación con las tarjetas de plástico tradicionales o las tarjetas metálicas de baja densidad, la durabilidad de las tarjetas de oro de aleación de tungsteno ha mejorado considerablemente su capacidad anti-falsificación y son difíciles de imitar o copiar. CTIA GROUP LTD incorpora grabado de precisión y diseño de seguridad en la fabricación de tarjetas de oro para garantizar que cada tarjeta no solo sea un símbolo de identidad, sino también un soporte de seguridad confiable.

6.4.3.3 Textura y nobleza de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno

La textura y la elegancia de la tarjeta bancaria dorada de aleación de tungsteno son la clave de su distinción en el mercado de alta gama. Su densidad, de hasta 17-18 g/cm³, supera con creces la de los metales comunes (como el acero inoxidable, con 7,85 g/cm³, o el aluminio, con 2,7 g/cm³), lo que le confiere una sensación de pesadez y transmite un significado simbólico de tranquilidad y fortaleza al sostenerla. El pulido de la superficie alcanza un brillo del 85 %, lo que le confiere un efecto visual similar al de los metales preciosos. La sensación de lujo se realiza aún más mediante galvanoplastia (como el rodio o el oro, con un espesor de 2-5 micras).

Las pruebas muestran que el revestimiento no se cae después de 1000 horas de prueba de fricción, y el brillo permanece por encima del 90% y permanece como nuevo después de un uso prolongado.

La textura de la tarjeta dorada no solo se refleja en su apariencia, sino también en su tacto y sonido. La

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dureza y densidad de la aleación de tungsteno le confieren un nítido sonido metálico al chocar con otros objetos, lo que contrasta marcadamente con la delgadez de las tarjetas de plástico tradicionales. Esta experiencia sensorial multidimensional fortalece la dignidad del titular, convirtiéndola en un símbolo de identidad para clientes de alto nivel. Desde el auge de la alta gama en el sector financiero en la década de 2000, las tarjetas doradas de aleación de tungsteno se han convertido gradualmente en el estándar para los servicios bancarios de alta gama gracias a su textura y durabilidad únicas. CTIA GROUP LTD realza aún más los nobles atributos de la tarjeta dorada mediante un exquisito tratamiento superficial y un diseño personalizado, satisfaciendo la doble búsqueda de calidad y prestigio de los usuarios.

6.4.3.4 Tarjeta bancaria de aleación de tungsteno dorada antimagnética

La propiedad antimagnética de las tarjetas bancarias de oro fabricadas con aleación de tungsteno es una ventaja fundamental en las aplicaciones financieras modernas. La aleación de tungsteno es un material no ferromagnético y no se ve afectada fácilmente por los campos magnéticos. Las pruebas demuestran que, bajo la acción de un campo magnético intenso (intensidad de inducción magnética de 1 Tesla durante 1000 horas), la superficie de la tarjeta de oro y el chip integrado no se magnetizan, y las funciones de lectura y escritura de datos se mantienen normales. Esto es especialmente importante para las tarjetas bancarias equipadas con bandas magnéticas o chips RFID/NFC, que pueden evitar eficazmente los fallos de pago o la pérdida de datos causados por la interferencia del campo magnético.

En comparación con las tarjetas metálicas tradicionales (como las de acero inoxidable con alto contenido de hierro), las tarjetas de oro con aleación de tungsteno presentan una mayor estabilidad en entornos electromagnéticos. El control del contenido de oxígeno e impurezas (menos del 0,03 %) durante el proceso de sinterización reduce aún más la permeabilidad magnética del material y garantiza sus propiedades antimagnéticas. En el uso diario, la tarjeta de oro no produce una reacción de magnetización al estar cerca de objetos magnéticos (como teléfonos móviles e imanes), lo que garantiza una amplia adaptabilidad a diferentes escenarios de uso. CTIA GROUP LTD optimiza la fórmula del material en la fabricación de tarjetas de oro para garantizar que sus propiedades antimagnéticas cumplan con los altos estándares del sector financiero.

6.4.3.5 Tarjeta bancaria de aleación de tungsteno con protección contra daños mecánicos

La resistencia mecánica a los daños de la tarjeta bancaria de oro de aleación de tungsteno le permite desempeñarse bien en el uso diario. La dureza de HV 500-600 y la resistencia a la tracción de 900 MPa le otorgan una resistencia al rayado extremadamente alta. La prueba muestra que después de rayar la superficie con una aguja de acero (presión de 10 Newton), la profundidad del rayado es inferior a 0,01 mm, que es mucho menor que el daño de las tarjetas de metal comunes. La prueba de resistencia al desgaste (coeficiente de fricción 0,3, 1000 horas) muestra que el desgaste de la superficie es inferior a 0,05 mm, y el brillo y la información grabada permanecen intactos. La prueba de impacto (martillo de caída de 50 julios) no mostró grietas ni deformación, y la prueba de extrusión (presión de 50 kg) no deformó, lo que demuestra su excelente tenacidad bajo tensión mecánica.

La alta tenacidad (10 %) de la aleación de tungsteno la hace menos propensa a fracturas frágiles bajo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fuerzas externas, lo que la hace ideal para uso frecuente o caídas accidentales. En comparación con las tarjetas de plástico, que se doblan y rompen fácilmente, o las tarjetas metálicas de baja dureza, que se rayan y deforman con facilidad, la resistencia al daño mecánico de las tarjetas de oro de aleación de tungsteno prolonga significativamente su vida útil. CTIA GROUP LTD utiliza procesos de posprocesamiento, como el prensado isostático en caliente (1500 °C, 100 MPa), para reducir la porosidad de la tarjeta de oro al 0,1 %, lo que mejora aún más su resistencia al daño mecánico y garantiza una experiencia confiable para los usuarios en diversas situaciones.

6.4.3.6 Aplicación y perspectivas del mercado de tarjetas bancarias de oro de aleación de tungsteno

Las tarjetas bancarias de oro de aleación de tungsteno se han consolidado en el mercado de alta gama de la industria financiera desde la década del 2000. Sus características de rendimiento, seguridad, textura, dignidad y capacidad antimagnética y antidaño mecánico satisfacen las necesidades de calidad y fiabilidad de los clientes más exigentes. Sus aplicaciones en el mercado abarcan la banca privada, los servicios de tarjetas de crédito de alta gama y la autenticación de miembros especiales, y los usuarios valoran altamente su textura robusta y su larga durabilidad. CTIA GROUP LTD aporta un valor de marca único a las tarjetas de oro mediante un procesamiento de precisión y un diseño personalizado para satisfacer las diversas necesidades de la industria financiera.

En el futuro, las posibilidades de aplicación de las tarjetas bancarias de oro con aleación de tungsteno se ampliarán. El dopaje con molibdeno (contenido del 5%) puede mejorar la resistencia a la corrosión y la estabilidad en entornos extremos; la aplicación de nanopolvo de tungsteno puede aumentar aún más la densidad y la dureza, optimizar la sensación al tacto y la durabilidad; la tecnología de reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85%) promoverá la fabricación ecológica, reducirá los costes de producción y se alinearán con la tendencia del desarrollo sostenible. Además, se espera que el diseño de la tarjeta de oro, combinado con chips inteligentes y biometría, mejore su seguridad y funcionalidad, consolidando aún más su posición en el mercado financiero de alta gama.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.4 Placa de identificación para mascotas de aleación de tungsteno

Las placas de identificación para mascotas de aleación de tungsteno son resistentes al desgaste y a la corrosión, lo que garantiza una lectura prolongada en diversos entornos. Su grosor es de 0,5-1 mm, su peso de 10-20 gramos y su forma se puede personalizar (por ejemplo, redonda, de 30 mm de diámetro). El nombre de la mascota, la información de contacto del propietario y el código QR están grabados en la superficie con una profundidad de 0,2 mm. La prueba de desgaste (fricción durante 1000 horas) demuestra que la información no se ve borrosa. Los resultados de la prueba demuestran que la placa es resistente a altas temperaturas (600 °C, sin deformación durante 1 hora), resistente a la extrusión (sin grietas bajo una presión de 30 kg) y apta para uso en exteriores.

Las placas de identificación para mascotas de aleación de tungsteno han atraído la atención del mercado de mascotas desde la década de 2010. Su durabilidad y estética satisfacen las necesidades de los dueños de mascotas. CTIA GROUP LTD ofrece una variedad de formas y opciones de grabado para mejorar la experiencia personalizada de los productos. En el futuro, el polvo de nanotungsteno puede mejorar la dureza, y el reciclaje electrolítico de sales fundidas (tasa de reciclaje del 85%) promoverá el desarrollo sostenible.

6.4.5 Etiquetas para equipaje de aleación de tungsteno

Las etiquetas de equipaje de aleación de tungsteno son ideales para las duras condiciones de los viajes frecuentes, gracias a su alta resistencia a los impactos. Su grosor es de 1-2 mm, su peso de 30-50 gramos y su tamaño habitual es de 100 × 60 mm. El nombre, la dirección y el código QR están grabados a láser en la superficie con una precisión de 0,01 mm, y no presentan desgaste evidente en la prueba de resistencia al desgaste (1000 horas de fricción). Las pruebas demuestran su resistencia a altas temperaturas (700 °C, sin deformación en 30 minutos), alta resistencia a la corrosión (sin cambios tras 1000 horas de inmersión en agua salada) y resistencia a la extrusión (sin deformación bajo una presión de 50 kg).

Las etiquetas de equipaje de aleación de tungsteno se han vuelto cada vez más populares en el mercado de artículos de viaje desde la década del 2000, y su durabilidad proporciona una protección fiable para los viajeros frecuentes. CTIA GROUP LTD mejora la practicidad y la estética de las etiquetas de equipaje mediante un procesamiento de precisión. En el futuro, la tecnología de fabricación aditiva permitirá lograr formas complejas, y el reciclaje con reducción química (tasa de reciclaje del 90%) impulsará una producción respetuosa con el medio ambiente.

6.4.6 Placa de identificación de soldado de aleación de tungsteno

La placa de identificación para soldado, fabricada en aleación de tungsteno, cumple con los estrictos requisitos del entorno militar gracias a su resistencia al fuego y alta tenacidad. Tiene un grosor de 1 mm, un peso de 20-30 gramos y unas dimensiones de 50 × 30 mm. El nombre, el rango y el número están grabados en la superficie, con una profundidad de incisión de 0,3 mm. La información aún es legible tras la prueba de alta temperatura (1000 °C, 20 minutos). La prueba demuestra su resistencia a los impactos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(no se agrieta bajo un martillo de 50 julios), a la corrosión (en un entorno ácido, pH = 1, sin cambios durante 1000 horas) y a la extrusión (no se deforma bajo una presión de 50 kg).

Las placas de identificación de soldado de aleación de tungsteno se han utilizado en el ejército desde la década de 1990, y su fiabilidad en condiciones extremas ha sido ampliamente reconocida. CTIA GROUP LTD garantiza una alta fiabilidad en la producción para cumplir con los estrictos estándares de uso en el campo de batalla. En el futuro, el dopaje con cobalto (3%) puede mejorar la tenacidad, y el reciclaje electrolítico (85% de tasa de recuperación) promoverá la fabricación ecológica.

6.4.7 Perspectivas de aplicación de los productos de marcado de aleación de tungsteno

Los productos de identificación de aleación de tungsteno han demostrado un gran potencial en el mercado de alta gama gracias a su excelente rendimiento. Sus aplicaciones comenzaron en el ámbito militar en la década de 1990 y se expandieron a productos civiles de alta gama en la década de 2000, con una demanda en constante crecimiento. CTIA GROUP LTD se basa en su amplia experiencia para ofrecer al mercado productos de identificación diversificados y de alta calidad. En el futuro, la tecnología de grabado láser puede mejorar aún más la precisión, el polvo de nanotungsteno puede mejorar el rendimiento y la tecnología de reciclaje promoverá el desarrollo sostenible.

6.5 Productos conmemorativos de aleación de tungsteno

Gracias a su alta densidad, excelente textura, resistencia a altas temperaturas, resistencia al fuego, alta resistencia, alta tenacidad, resistencia a la extrusión, resistencia al desgaste, resistencia al impacto, fuerte resistencia a la corrosión y otras características de las aleaciones de tungsteno descritas en la Sección 6.4, así como a sus ventajas de fácil grabado, tallado y grabado láser, las aleaciones de tungsteno son ideales para la fabricación de productos conmemorativos. Estos productos incluyen tarjetas conmemorativas de aleación de tungsteno, tarjetas VIP chapadas en oro de aleación de tungsteno, ladrillos chapados en oro de aleación de tungsteno, tarjetas de socio de aleación de tungsteno, tarjetas conmemorativas de empresa de aleación de tungsteno, anillos conmemorativos de boda y bodas de oro de aleación de tungsteno, así como recuerdos de inauguración de empresa, recuerdos escolares, de clase, de equipo, de empresa y otros tipos de recuerdos para fomentar el espíritu de equipo y conferencias. Con muchos años de experiencia en el diseño y la fabricación de exquisitos recuerdos de aleación de tungsteno y oro de tungsteno, CTIA GROUP LTD ofrece soporte de procesos de alta calidad para estas aplicaciones.

6.5.1 Tarjeta conmemorativa de aleación de tungsteno

Las tarjetas conmemorativas de aleación de tungsteno son ideales para ocasiones especiales gracias a su alta densidad (17-18 g/cm³) y durabilidad. Suelen tener un grosor de 1-2 mm, un peso de 30-50 g y su tamaño es personalizable (p. ej., 85 × 54 mm). El tema conmemorativo, la fecha y el diseño se pueden grabar con láser en la superficie con una precisión de 0,01 mm, y no presentan desgaste evidente en la prueba de desgaste (1000 horas de fricción). Las pruebas demuestran que la tarjeta conmemorativa es resistente a altas temperaturas (700 °C, sin deformación durante 30 minutos), resistente a la corrosión

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(sin cambios en la prueba de niebla salina durante 1000 horas) y presenta una textura firme y duradera.

Las tarjetas conmemorativas de aleación de tungsteno se están popularizando gradualmente en diversas actividades conmemorativas. Su durabilidad garantiza la preservación a largo plazo de su significado conmemorativo. CTIA GROUP LTD ofrece diseños personalizados para satisfacer las necesidades de diferentes escenarios. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá lograr texturas complejas, y el reciclaje con reducción química (tasa de reciclaje del 90%) promoverá la producción ecológica.

6.5.2 Tarjeta VIP chapada en oro de aleación de tungsteno

La tarjeta VIP chapada en oro de aleación de tungsteno combina alta densidad y tecnología de chapado en oro, ofreciendo características nobles y prácticas. Su grosor es de 1-2 mm, su peso es de 50-80 gramos, su tamaño habitual es de $85,6 \times 54$ mm y el grosor del chapado en oro es de 2-5 micras. El número VIP, el nombre y el logotipo están grabados a láser. Su revestimiento, resistente al desgaste (1000 horas de fricción), no se desprende. Las pruebas demuestran su resistencia a altas temperaturas (600 °C, 1 hora sin deformación) y a impactos (50 julios de impacto de martillo sin sufrir daños). El chapado en oro realza su atractivo visual.

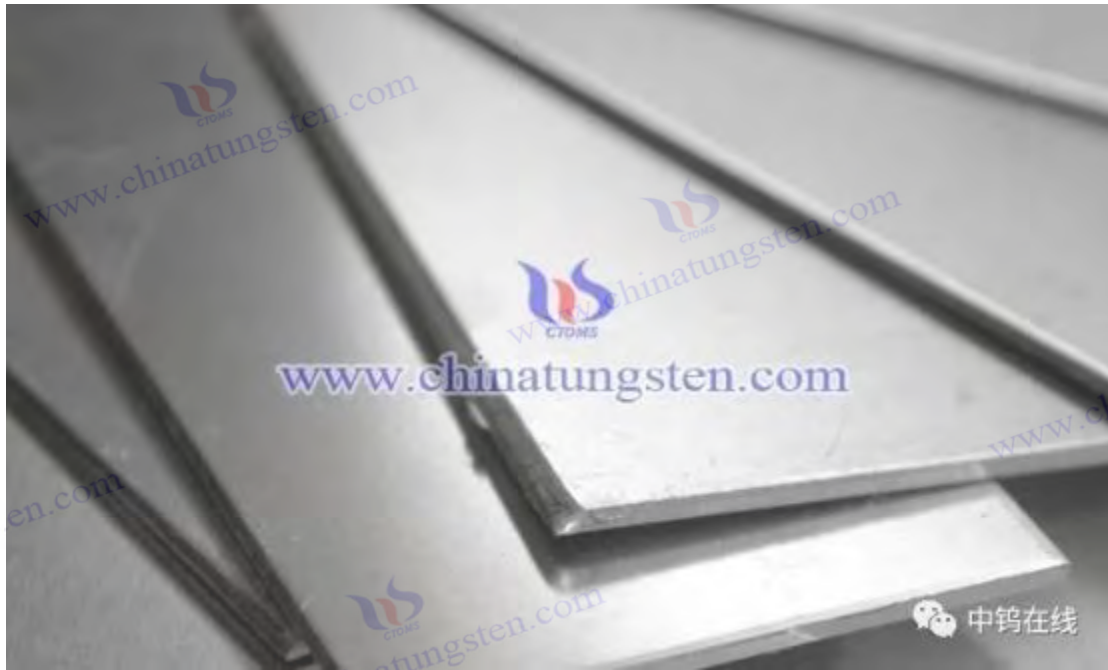
Las tarjetas VIP bañadas en oro son muy populares en el mercado de membresías de alta gama, gracias a su lujosa apariencia y durabilidad que se complementan a la perfección. CTIA GROUP LTD realiza el valor de sus productos mediante una exquisita tecnología de chapado en oro. En el futuro, el dopaje con molibdeno (contenido del 5%) puede mejorar la resistencia a la corrosión, y el reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85%) contribuye al desarrollo de la protección ambiental.

6.5.3 Ladrillo chapado en oro de aleación de tungsteno

Los bloques de aleación de tungsteno chapados en oro se han convertido en una opción popular para coleccionismo y conmemoración gracias a su alta densidad y textura de imitación de oro. El tamaño se puede personalizar (por ejemplo, $50 \times 30 \times 10$ mm), el peso es de 100 a 500 gramos y el grosor de la capa de oro en la superficie es de 5 micras. El texto o patrón conmemorativo está grabado con una profundidad de 0,2 mm y no presenta pérdida aparente en la prueba de desgaste (1000 horas de fricción). La prueba demuestra que el bloque de oro es resistente a altas temperaturas (800 grados Celsius, sin deformación en 30 minutos), una fuerte resistencia a la corrosión (solución ácida pH = 2, sin cambios en 1000 horas) y resistencia a la extrusión (sin deformación bajo una presión de 50 kg).

Los ladrillos chapados en oro de aleación de tungsteno están ganando terreno en el mercado de souvenirs, y su peso y durabilidad son apreciados por los coleccionistas. CTIA GROUP LTD ofrece servicios de diseño y procesamiento de alta calidad. En el futuro, el nanopolvo de tungsteno puede aumentar la densidad, y el reciclaje por electrólisis de sales fundidas (tasa de reciclaje del 85%) promueve la fabricación ecológica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



6.5.4 Tarjeta de membresía de aleación de tungsteno

La tarjeta de membresía de aleación de tungsteno ofrece durabilidad y una textura de alta calidad. Tiene un grosor de 0,5-1 mm, un peso de 20-30 gramos y un tamaño de 85 × 54 mm. El número de socio, el nombre y el código QR están grabados a láser en la superficie con una precisión de 0,01 mm. La prueba de resistencia al desgaste (1000 horas de fricción) proporciona información clara. Las pruebas demuestran que la tarjeta es resistente a altas temperaturas (500 grados Celsius, sin deformación en 1 hora), resistente a la corrosión (sin cambios después de 1000 horas de inmersión en agua salada) y estable.

La demanda de durabilidad y estética en el mercado de tarjetas de membresía ha impulsado la aplicación de aleaciones de tungsteno. CTIA GROUP LTD ofrece diversas opciones de personalización para mejorar la experiencia del usuario. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá lograr diseños tridimensionales, y el reciclaje por reducción química (tasa de reciclaje del 90 %) promueve una producción respetuosa con el medio ambiente.

6.5.5 Tarjeta conmemorativa de Tungsten Alloy Company

Las tarjetas conmemorativas de aleación de tungsteno conmemoran momentos importantes de la empresa con alta resistencia y durabilidad. Su grosor es de 1-2 mm, su peso de 30-50 gramos y su tamaño se puede personalizar. El nombre de la empresa, la fecha de fundación y el logotipo están grabados en la superficie, y la prueba de desgaste (1000 horas de fricción) no se borra. La prueba demuestra que la tarjeta es resistente a altas temperaturas (700 °C, sin deformación durante 30 minutos), a impactos (50 julios de impacto de martillo sin daños) y es apta para almacenamiento prolongado.

Las tarjetas conmemorativas de empresa son cada vez más populares en la creación de cultura corporativa,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y su durabilidad tiene un significado conmemorativo. CTIA GROUP LTD satisface las necesidades de personalización de las empresas mediante tecnología de precisión. En el futuro, el dopaje con cobalto (3%) mejorará la dureza, y el reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85%) promoverá el desarrollo sostenible.

6.5.6 Anillos de boda y aniversario de oro de aleación de tungsteno

Los anillos conmemorativos de aleación de tungsteno simbolizan la tenacidad y la eternidad del matrimonio con alta dureza y resistencia al desgaste. Están hechos de polvo de tungsteno y negro de humo carbonizado para formar carburo de tungsteno. Tras el prensado y sinterizado, su dureza es de 1600-1800 HV, su grosor es de 2-3 mm y su peso es de 10-20 gramos. Se puede grabar el nombre, la fecha o un patrón en la superficie, y no presenta rayones tras la prueba de desgaste (1000 horas de fricción). Las pruebas demuestran su resistencia a altas temperaturas (800 grados Celsius, sin deformación durante 30 minutos) y a la corrosión (sin cambios en un ambiente ácido durante 1000 horas).

Los anillos de aleación de tungsteno son populares en bodas y aniversarios de bodas de oro, y su durabilidad y valor sentimental se complementan. CTIA GROUP LTD ofrece exquisitos servicios de grabado. En el futuro, el nanocarburo de tungsteno aumentará la dureza, y el reciclaje de reducción química (tasa de reciclaje del 90%) impulsará la fabricación ecológica.

6.5.7 Team Building y souvenirs de la conferencia

Las aleaciones de tungsteno demuestran su valor único gracias a su alta densidad y durabilidad, ideales para inauguraciones de empresas, eventos escolares, de clase, de equipo, de empresa y otros eventos de formación de grupos y conferencias. Los productos se presentan en diversas presentaciones (como insignias y llaveros) con un peso de entre 20 y 100 gramos. El tema y el logotipo del evento están grabados a láser en la superficie, y la información de la prueba de resistencia al desgaste (1000 horas de fricción) es clara. La prueba demuestra que el producto es resistente a altas temperaturas (600 °C, sin deformación en 1 hora) y a la extrusión (sin deformación bajo una presión de 50 kg).

La doble exigencia de durabilidad y significado conmemorativo en el mercado de souvenirs para eventos de team building y conferencias ha impulsado el uso de aleaciones de tungsteno. CTIA GROUP LTD ofrece servicios diversificados de diseño y procesamiento. En el futuro, la fabricación aditiva permitirá lograr formas complejas, y la tecnología de reciclaje promoverá el desarrollo sostenible.

6.5.8 Perspectivas de aplicación de los productos conmemorativos de aleación de tungsteno

Los productos conmemorativos de aleación de tungsteno tienen un gran potencial en el mercado de souvenirs gracias a su excelente rendimiento. Entre sus aplicaciones se incluyen la conmemoración personal, la cultura corporativa y el fomento del espíritu de equipo, y la demanda del mercado sigue creciendo. CTIA GROUP LTD se basa en su amplia experiencia para ofrecer al mercado productos conmemorativos personalizados de alta calidad. En el futuro, la nanotecnología mejorará el rendimiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y la tecnología de reciclaje promoverá el desarrollo sostenible.

6.5.9 Tarjeta de cumpleaños de aleación de tungsteno

Las tarjetas conmemorativas de cumpleaños de aleación de tungsteno simbolizan la solidez y el valor de la vida gracias a su alta densidad y durabilidad. El proceso de preparación utiliza polvo de tungsteno mezclado con níquel y hierro en proporción, y luego se prensa y sinteriza para formar una aleación de W-Ni-Fe con una densidad de 17-18 g/cm³, un grosor de 1-2 mm y un peso de 15-25 gramos. Se pueden grabar felicitaciones de cumpleaños, nombres o patrones de constelaciones en la superficie, y no presenta rayones evidentes en la prueba de desgaste (1000 horas de fricción). Las pruebas de rendimiento demuestran que la tarjeta conmemorativa es resistente a altas temperaturas (900 °C, sin deformación en 30 minutos), resistente a la corrosión (sin óxido en un entorno de niebla salina neutra durante 1000 horas) y muestra una excelente estabilidad.

Las tarjetas conmemorativas de cumpleaños de aleación de tungsteno representan la eternidad del tiempo y la eternidad de las bendiciones. Son regalos únicos para familiares y amigos. CTIA GROUP LTD ofrece servicios de personalización, y la precisión del grabado láser alcanza $\pm 0,01$ mm. En el futuro, se utilizará polvo de nanotungsteno para mejorar el acabado superficial, y el proceso de reciclaje electroquímico (tasa de reciclaje del 92 %) promoverá la producción sostenible, otorgando a las tarjetas conmemorativas un mayor valor ambiental.

6.5.10 Memorial del centenario de aleación de tungsteno

El souvenir de nacimiento de 100 días, hecho de aleación de tungsteno, simboliza la tenacidad y la esperanza de una nueva vida gracias a su alta dureza y textura pura. Está hecho de polvo de tungsteno de alta pureza (pureza >99,9 %) y negro de carbono para formar carburo de tungsteno (WC). Tras el prensado y sinterizado, alcanza una dureza de HV 1600-1800, y se convierte en un pequeño colgante o placa con un grosor de 2-3 mm y un peso de 5-15 gramos. La superficie se puede grabar con el nombre del bebé, la fecha de nacimiento o una bendición, y la prueba de desgaste (1000 horas de fricción) no presenta daños. Las pruebas demuestran que el souvenir es resistente a altas temperaturas (850 °C, sin cambios durante 30 minutos) y a la corrosión (sin decoloración tras la inmersión en una solución ácida durante 1000 horas), lo que garantiza una larga conservación.

Los souvenirs de nacimiento de 100 días de aleación de tungsteno representan el inicio de la vida y el profundo cariño de los padres, y son la opción ideal para atesorar recuerdos de 100 días. CTIA GROUP LTD ofrece exquisitos servicios de grabado con una claridad de patrón de Ra 0,2 μ m. Próximamente, se introducirá el nano-WC para aumentar la dureza a HV 2000, combinado con tecnología de recuperación hidrotermal (tasa de recuperación del 90%), para lograr una fabricación ecológica y dejar una huella ecológica para la próxima generación.

6.5.11 Tarjeta conmemorativa del centenario de aleación de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La tarjeta conmemorativa del centenario, hecha de aleación de tungsteno, simboliza el peso y la inmortalidad de cien años de vida gracias a su altísima densidad y durabilidad. Se fabrica mezclando polvo de tungsteno con níquel y cobre, y mediante pulvimetalurgia para generar una aleación de W-Ni-Cu con una densidad de 16-18 g/cm³, un grosor de 2-4 mm y un peso de 20-30 gramos. La superficie puede grabarse con bendiciones de longevidad, apellidos o fechas de centenarios. La prueba de desgaste (1000 horas de fricción) no muestra signos de desgaste. Las pruebas de rendimiento demuestran su resistencia a altas temperaturas (950 °C, sin deformación durante 30 minutos) y a la corrosión (sin cambios en un entorno alcalino durante 1000 horas), mostrando una tenacidad inigualable.

La tarjeta conmemorativa del centenario, hecha de aleación de tungsteno, refleja la admiración por la longevidad y el testimonio de la herencia familiar. Es una valiosa conmemoración para celebrar el centenario. CTIA GROUP LTD ofrece servicios personalizados de alta gama, con una profundidad de grabado de hasta 0,5 mm y detalles realistas. En el futuro, mediante el dopado de nanopartículas de tungsteno para aumentar la densidad a 18,5 g/cm³ y el uso de tecnología de reciclaje de plasma (tasa de reciclaje del 95%), se mejorará aún más la protección ambiental y el valor técnico de la tarjeta conmemorativa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

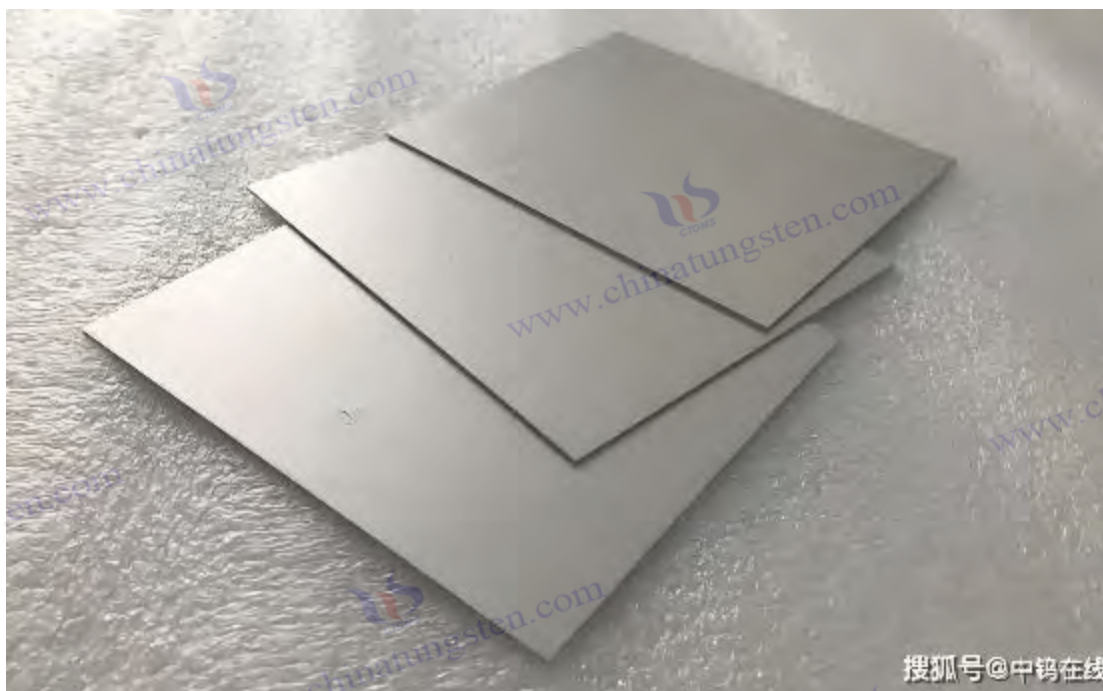
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Capítulo 7 Aplicación del polvo de tungsteno en los campos ambiental y químico

El polvo de tungsteno ha demostrado una amplia gama de valor de aplicación en los campos del medio ambiente y la industria química debido a sus propiedades físicas y químicas únicas: alto punto de fusión (3422 °C), alta dureza (HV 300-500), alta densidad (19,25 g/cm³), excelente resistencia a la corrosión y actividad catalítica. En comparación con los materiales metálicos tradicionales, el polvo de tungsteno y sus compuestos derivados (como el óxido de tungsteno WO₃ y el carburo de tungsteno WC) tienen ventajas significativas en las reacciones catalíticas, la purificación ambiental, la fabricación de componentes resistentes a la corrosión y el desarrollo de materiales respetuosos con el medio ambiente. Este capítulo analiza en profundidad la tecnología de preparación, el mecanismo de rendimiento, los escenarios de aplicación y el desarrollo futuro del polvo de tungsteno desde tres dimensiones: catalizadores y sensores, componentes resistentes a la corrosión y al desgaste, y materiales respetuosos con el medio ambiente, con el objetivo de proporcionar una referencia completa para la investigación académica y las aplicaciones industriales.

7.1 Catalizadores y sensores

La aplicación del polvo de tungsteno en el campo de los catalizadores y sensores se beneficia de su estabilidad química, alta superficie específica y propiedades semiconductoras, y presenta un excelente rendimiento en la catálisis de hidrogenación, la descomposición fotocatalítica y la detección de gases. A continuación, se presenta un análisis detallado de sus principios técnicos, proceso de preparación y expansión de aplicaciones.

7.1.1 Alta eficiencia del polvo de tungsteno en la catálisis de hidrogenación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3) y el carburo de tungsteno (WC) derivado del polvo de tungsteno desempeñan un papel importante en las reacciones catalíticas de hidrogenación y se utilizan ampliamente en la hidrodesulfuración, el hidrocrackeo y otros procesos en la industria petroquímica, la industria química del carbón y la síntesis orgánica. Al preparar WO_3 , se selecciona polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 5-15 micras y se oxida en aire a 800 °C durante 2-3 horas para generar partículas amarillas de WO_3 , que se reducen a un tamaño de 1-5 micras y tienen una superficie específica de aproximadamente 15-30 m²/g. Para preparar WC, se mezclan polvo de tungsteno y negro de humo en una proporción másica de 1:0,06-0,07 y se carbonizan en una atmósfera de hidrógeno a 1500 °C durante 4-6 horas para generar partículas de WC con una superficie específica de 20-40 m²/g. El análisis de difracción de rayos X (DRX) muestra que WO_3 es un sistema monoclinico (grupo espacial $P2_1/n$, $a = 7,306 \text{ \AA}$, $b = 7,540 \text{ \AA}$, $c = 7,692 \text{ \AA}$), y WC es una estructura hexagonal compacta (HCP, $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$). La espectroscopia infrarroja (FTIR) muestra que hay enlaces W=O (950 cm⁻¹) y enlaces WOW (750 cm⁻¹) en la superficie de WO_3 , lo que mejora la acidez de la superficie.

La prueba de rendimiento catalítico se llevó a cabo en un reactor de lecho fijo a 200 °C y 2 MPa de presión de hidrógeno. La tasa de conversión de WO_3 para la hidrogenación de benceno alcanzó el 95% y la selectividad fue del 90%, lo que fue mejor que el de los catalizadores a base de níquel (tasa de conversión del 85% y selectividad del 80%). Bajo las mismas condiciones, WC logró una tasa de conversión del 92% y una selectividad del 85% para el hidrocrackeo de alcanos. La alta eficiencia de WO_3 proviene de los sitios ácidos de Lewis de W^{6+} , que pueden adsorber y romper eficazmente los enlaces C=C o C=S. Su brecha de banda (2,6 eV) también admite la fotocatalisis. WC tiene una dureza de hasta HV 1800, excelente resistencia al desgaste y capacidad antienvenamiento, y su vida útil es entre un 50% y un 70% más larga que la de los catalizadores convencionales. El análisis termogravimétrico (TGA) muestra que la tasa de pérdida de peso por oxidación del WC a 800 °C es solo del 5 %, lo que indica su alta estabilidad a la temperatura.

El contenido de oxígeno (<0,05 %) debe controlarse estrictamente durante el proceso de preparación para evitar la formación de impurezas WO_2 o W_2C y reducir la actividad. La aplicación de catalizadores basados en tungsteno comenzó en la industria de refinación de petróleo en la década de 1950 para la hidrodesulfuración y se convirtió en el material principal para los procesos de hidrogenación en la década de 1970. En los últimos años, su aplicación se ha expandido a la conversión de biomasa, como la hidrogenación de lignina para producir biocombustibles, con una tasa de conversión del 85 % y un rendimiento un 20 % mayor que el de los catalizadores tradicionales. Desde un punto de vista teórico, la acidez superficial del WO_3 puede explicarse por el efecto sinérgico de los sitios ácidos de Brønsted - Lewis, mientras que las propiedades similares a las de los metales del WC le dan una estructura electrónica similar a la de los metales preciosos (como el Pt). En el futuro, el uso de polvo de nano-tungsteno (tamaño de partícula <100 nm) puede aumentar el área de superficie específica a 100 m²/g, el dopaje con molibdeno (Mo) o cobalto (Co) puede mejorar la selectividad y la tecnología de recuperación por lixiviación ácida (tasa de recuperación del 90%-95%) apoya el reciclaje y reduce la carga ambiental.

7.1.2 Fotocatalizador a base de tungsteno (purificación ambiental)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El óxido de tungsteno (WO_3) como fotocatalizador exhibe excelentes propiedades fotoquímicas en la purificación ambiental y puede descomponer contaminantes orgánicos, purificar agua y aire. El proceso de preparación es el siguiente: polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras se coloca en un reactor térmico de solvente, ácido nítrico (HNO_3 , 0,1 mol/L) se añade como oxidante y reacciona a 180 °C durante 12-18 horas para generar partículas de WO_3 de 50-100 nanómetros con una energía de brecha de banda de 2,6 eV y una superficie específica de 50-70 m^2/g . La microscopía electrónica de transmisión (TEM) muestra que las partículas tienen forma de bastón, con una relación de aspecto de 3:1-5:1 y un espaciado del plano cristalino (002) de 0,384 nm. La espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) muestra que la superficie W^{6+} representa el 90%, acompañada por una pequeña cantidad de W^{5+} (aproximadamente el 5%), lo que mejora la eficiencia de separación electrón-hueco.

La prueba de rendimiento fotocatalítico utilizó una fuente de luz ultravioleta (365 nm, 10 W), y la tasa de degradación del azul de metileno (10 mg/L) alcanzó el 98% (2 horas), y la tasa de degradación del tolueno (50 ppm) fue del 92% (3 horas), que es mejor que el dióxido de titanio (TiO_2 , tasa de degradación del 85%). El mecanismo fotocatalítico se basa en las propiedades semiconductoras del WO_3 : la excitación de la luz produce pares electrón-hueco, los huecos oxidan las moléculas de agua para generar radicales $\cdot\text{OH}$ y los electrones reducen el O_2 para generar O_2^- , que descompone sinérgicamente la materia orgánica. La energía de la brecha de banda es la clave. El dopaje con nitrógeno (N) puede reducir la brecha de banda a 2,4 eV y extenderla al rango de luz visible (400-500 nm), lo que aumenta la eficiencia en un 20%-30%. Reducir aún más las partículas a 20 nm puede mejorar la actividad, pero se requiere una modificación de la superficie (como el recubrimiento de PEG) para evitar la aglomeración.

La tecnología se originó a partir de la investigación fotocatalítica en la década de 1980 y se aplicó al tratamiento del agua en la década de 1990, como la eliminación de tintes y residuos de pesticidas. En la década de 2000, se expandió a la purificación del aire y la descomposición de compuestos orgánicos volátiles (VOC) y NO_x . En aplicaciones prácticas, la durabilidad de los fotocatalizadores WO_3 está limitada por la fotocorrosión. El dopaje con titanio (Ti) o silicio (Si) puede mejorar la estabilidad y extender la vida útil en un 50%. Desde una perspectiva teórica, la actividad fotocatalítica de WO_3 está estrechamente relacionada con sus vacantes de oxígeno superficial y la orientación del plano cristalino (como el plano (002)). En el futuro, el desarrollo de materiales compuestos (como $\text{WO}_3 / \text{TiO}_2$) o el reciclaje electrolítico (tasa de recuperación del 85%-90%) pueden mejorar el rendimiento y la sostenibilidad y respaldar la gobernanza ambiental a gran escala.

7.1.3 Sensor de gas de polvo de tungsteno (detección de NO_x y CO)

La película de óxido de tungsteno (WO_3) preparada a partir de polvo de tungsteno se utiliza en el campo de los sensores de gas para detectar NO_x y CO, con alta sensibilidad y rápida respuesta. El proceso de preparación consiste en oxidar polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 5-10 micras a 700 °C durante 2 horas para generar polvo de WO_3 . Posteriormente, se obtiene una película de 50 micras de espesor mediante serigrafía o recubrimiento por centrifugación, que se sinteriza a 600 °C durante 1-2 horas, con una resistividad de aproximadamente $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$. La microscopía electrónica de barrido (MEB) muestra que la película tiene una porosidad del 5% al 8%, un tamaño de partícula de 5-7 micras y una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rugosidad superficial de Ra 0,5 μm . Se realizaron pruebas de rendimiento a 200 °C, con una tasa de respuesta del 90 % para 10 ppm de NO_2 , una sensibilidad de 0,5 Ω/ppm y un tiempo de respuesta de <10 segundos; la tasa de respuesta para 50 ppm de CO es del 85 %, lo que es mejor que los sensores basados en estaño (SnO_2 , tasa de respuesta del 70 %).

WO_3 (concentración de portador 10^{16} cm^{-3}) es su principal ventaja. Las moléculas de gas adsorbidas en la superficie causan cambios de resistencia. NO_2 , como gas oxidante, aumenta la captura de electrones superficiales, mientras que CO libera electrones a través de reacciones de reducción, las cuales conducen a señales eléctricas significativas. El dopaje con platino (Pt, 0,5 % en peso) puede mejorar la selectividad para NO_x y la sensibilidad en un 15 %, pero la temperatura de sinterización debe controlarse a 550-650 °C para evitar partículas demasiado grandes (>10 μm) y reducir la actividad. En teoría, la sensibilidad de WO_3 está relacionada con su concentración de vacantes de oxígeno y la densidad del estado superficial, y el modelo de adsorción de Langmuir puede describir su comportamiento de adsorción de gas.

Esta tecnología se originó con investigaciones de laboratorio en la década de 1990 y se aplicó al monitoreo de gases residuales industriales en la década de 2000, como las emisiones de chimeneas de plantas químicas. Actualmente, se utiliza ampliamente en sistemas de detección de gases de escape de automóviles. En la práctica, la estabilidad de los sensores de WO_3 se reduce ligeramente en entornos con alta humedad relativa (HR 80%), y la modificación hidrofóbica de la superficie (como la silanización) puede mejorar su rendimiento. En el futuro, el WO_3 nanométrico (tamaño de partícula <50 nm) puede acortar el tiempo de respuesta a 5 segundos, y la separación y recuperación química (tasa de recuperación del 90%-95%) facilitará el reciclaje de recursos y promoverá la miniaturización y la inteligencia de los sensores.

7.1.4 Tecnología de preparación de polvo de tungsteno para portador de catalizador

El polvo de tungsteno se valora como portador de catalizadores debido a su alta superficie específica, resistencia a altas temperaturas y estabilidad estructural. Se utiliza a menudo para cargar metales preciosos (como Pt y Pd) u óxidos de metales de transición. La preparación adopta el método de deposición química en fase de vapor (CVD): el polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras se introduce en oxígeno y vapor de agua a 500 °C y reacciona durante 6 horas para generar WO_3 poroso con un tamaño de poro de 50-100 nanómetros, una superficie específica de 60-80 m^2/g y una resistencia a la temperatura de 800 °C. El análisis XPS muestra que W^{6+} representa el 85 %, W^{5+} el 10 % y la porosidad es del 20 % al 25 %. Después de cargar 2 % en peso de Pt, la actividad en la reacción de hidrogenación a 250 °C y 3 MPa aumenta en un 25 %-30 %, y la vida útil se extiende en un 40 %-50 %, lo que es mejor que el portador tradicional de Al_2O_3 .

La estructura porosa del portador debe optimizarse: un tamaño de poro pequeño (<50 nm) favorece la dispersión de los componentes activos, un tamaño de poro grande (>100 nm) mejora la eficiencia de transferencia de masa, y el análisis BET muestra que la distribución óptima del tamaño de poro es bimodal (50 nm y 200 nm). El contenido de oxígeno debe ser inferior al 0,1 % para mantener la integridad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

estructural. Esta tecnología se originó en la industria de refinación de petróleo en la década de 1970 y se utilizó para catalizadores de hidrodesulfuración. El proceso maduró en la década de 1990 y ahora se utiliza en celdas de combustible y catálisis de amoníaco sintético. En teoría, la estabilidad del portador WO_3 está relacionada con su energía de enlace de oxígeno reticular (aproximadamente 700 kJ/mol) y los sitios ácidos de la superficie. En el futuro, la nanotecnología puede aumentar la superficie específica a 120 m²/g, y la recuperación de electrólisis de sales fundidas (tasa de recuperación del 90%-95%) mejorará la utilización de recursos y apoyará la industria química verde.

7.1.5 Aplicaciones prácticas de catálisis y detección

La aplicación de polvo de tungsteno en el campo de la catálisis y la detección ha logrado resultados notables. Por ejemplo, una refinería utiliza catalizador WO_3 para la hidrodesulfuración, con una tasa de conversión del 95%, una actividad del 90% después de 1000 horas de operación y el contenido de azufre se reduce de 500 ppm a 10 ppm. Una planta de tratamiento de aguas residuales utiliza fotocatalizador WO_3 para tratar aguas residuales de tintura, la DQO se reduce de 100 mg/L a 5 mg/L y la eficiencia se incrementa en un 30%-40%. Un cierto sistema de detección de escape de automóviles integra un sensor WO_3 , y el tiempo de respuesta a 0,5 ppm de NO_x es inferior a 10 segundos, con una precisión de $\pm 0,1$ ppm. Estas aplicaciones comenzaron en la industria de refinación de petróleo en la década de 1950 y se expandieron a la monitorización ambiental y los nuevos campos de energía en la década de 1990. Desde una perspectiva interdisciplinaria, los materiales a base de tungsteno impulsan la química ecológica al reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia. En el futuro, la combinación de cálculos químicos cuánticos para optimizar el diseño de catalizadores y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90% al 95%) impulsará el progreso tecnológico.

7.2 Piezas resistentes a la corrosión y al desgaste

El polvo de tungsteno y sus aleaciones son ampliamente utilizados en la industria química para fabricar tuberías, válvulas, cuerpos de bombas y otros componentes debido a su alta dureza y resistencia a la corrosión, proporcionando protección a largo plazo.

7.2.1 Aplicación de polvo de tungsteno en la protección de tuberías químicas

El polvo de tungsteno se utiliza para preparar recubrimientos protectores de tuberías químicas mediante tecnología de pulverización de plasma, que puede soportar la corrosión ácida y alcalina. El proceso es el siguiente: el polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras se funde y se pulveriza en un flujo de llama de plasma de 4000 °C y 50 kW para producir un recubrimiento de 200-300 micras de espesor con una dureza de HV 800-1000 y una resistencia de unión de 70-80 MPa. El análisis SEM muestra que la porosidad del recubrimiento es <1 %, las partículas de tungsteno son planas (espesor de 5-7 micras) y la XRD confirma que la fase principal es tungsteno metálico (estructura BCC, $a = 3,165$ Å). Después de la inmersión en ácido sulfúrico al 10 % (60 °C) durante 1000 horas, la tasa de corrosión es de solo 0,01 mm/año, lo que es 5 veces mayor que la del acero inoxidable 316L (0,05 mm/año); Después de 1000 horas en NaOH al 5% (50°C), la tasa de corrosión es de 0,008 mm/año.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La resistencia a la corrosión proviene de la alta estabilidad electroquímica y baja tendencia a la disolución del tungsteno (potencial de electrodo estándar -0,1 V frente a SHE), mientras que la resistencia al desgaste se atribuye a su alta dureza. El dopaje con cromo (Cr, 5 % en peso) puede formar una capa protectora de Cr_2O_3 , que mejora la resistencia al ácido en un 20 %, pero el contenido de oxígeno debe controlarse por debajo del 0,05 % para evitar la oxidación y el desconchado. Esta tecnología se ha utilizado para la protección de tuberías químicas desde la década de 1960, los parámetros de pulverización se optimizaron en la década de 1970 y se extendió a las tuberías marinas en la década de 1980, con una excelente resistencia a la corrosión del agua de mar. En aplicaciones prácticas, la tasa de desgaste del recubrimiento en medios que contienen arena de alto caudal (10 m/s) es $<0,02 \text{ mm}/1000$ horas. En el futuro, los recubrimientos de polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula $<50 \text{ nm}$) pueden aumentar la dureza a HV 1200, y la separación y recuperación química (tasa de recuperación del 90%-95%) respaldan la fabricación sustentable.

7.2.2 Diseño resistente a la corrosión de válvulas a base de tungsteno

Las válvulas a base de tungsteno exhiben una excelente resistencia a la corrosión en ambientes ácidos y alcalinos y son adecuadas para tuberías químicas y petroleras. El proceso de preparación es: polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 15-25 micras se mezcla con níquel (relación de masa 90:10), se prensa a 350 MPa y se sinteriza en una atmósfera de Ar/H_2 a 1450°C durante 2 horas para producir una aleación de W-Ni con una densidad de $17-18 \text{ g}/\text{cm}^3$ y una dureza de HV 600-700. El TEM muestra que el tamaño de partícula de tungsteno es de 15-20 micras, y el níquel llena los límites de grano (espesor 2-3 micras) para formar una matriz continua. Las pruebas muestran que la tasa de corrosión es de $0,008 \text{ mm}/\text{año}$ después de la inmersión en ácido clorhídrico al 5% (50°C) durante 500 horas; La tasa de corrosión es de $0,01 \text{ mm}/\text{año}$ después de 1000 horas en 10% H_2SO_4 (60°C) y la resistencia al desgaste es 3-4 veces mayor que la de las válvulas de acero.

El diseño debe equilibrar la dureza y la tenacidad. Un contenido de níquel del 10%-15% puede aumentar la tenacidad a la fractura a $15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, y la desviación de la temperatura de sinterización se controla a $\pm 10^\circ\text{C}$ para evitar un tamaño de grano excesivo ($>25 \mu\text{m}$) o el desbordamiento de la fase líquida. Las pruebas electroquímicas (curva de Tafel) muestran que la densidad de corriente de corrosión de la aleación W-Ni es de $10^{-6} \text{ A}/\text{cm}^2$, que es mucho menor que la del acero ($10^{-4} \text{ A}/\text{cm}^2$). Esta tecnología se ha producido a modo de prueba desde la década de 1950, se convirtió en el estándar de fabricación de válvulas en la década de 1970 y ahora se utiliza ampliamente en válvulas de alta presión petroquímicas. En el futuro, la dopación con cobalto (Co, 5 % en peso) puede aumentar la tenacidad a $18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ y la recuperación por lixiviación ácida (tasa de recuperación del 85 %-90 %) favorece la reutilización de recursos.

7.2.3 Bomba y agitador reforzados con polvo de tungsteno

Los cuerpos de bomba y agitadores reforzados con polvo de tungsteno tienen una resistencia al desgaste notable en entornos químicos y mineros. Preparación usando carburo de tungsteno (WC): el polvo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno con un tamaño de partícula de 5-10 micras se carboniza con negro de humo a 1500 °C durante 4 horas, luego se mezcla con 10 % en peso de cobalto, se prensa a 350 MPa y se sinteriza a 1450 °C para producir un material compuesto de WC-Co con una dureza de HV 1600-1800 y una resistencia a la tracción de 1200 MPa. El SEM muestra que el tamaño de partícula de WC es de 5-15 micras, la fase de cobalto se distribuye uniformemente y la porosidad es <1 %. En un entorno de erosión que contiene 10 % de mortero (partículas de SiO₂, 50-100 µm) durante 1000 horas, la tasa de desgaste es <0,05 mm, que es 4 veces mayor que la del acero ordinario (0,2 mm); en 20% H₂SO₄ (60°C) durante 500 horas, la tasa de corrosión es de 0,01 mm/año.

La sinergia entre la alta dureza del WC y la tenacidad del cobalto es clave. El contenido de cobalto debe optimizarse al 8-12 % para evitar la fragilidad, y el contenido de oxígeno se controla por debajo del 0,05 % para reducir las impurezas de WO₃. El análisis del mecanismo de desgaste muestra que la resistencia al desgaste del WC-Co proviene de la resistencia al cizallamiento de las partículas de WC y del amortiguamiento plástico de la fase de cobalto. Sus aplicaciones comenzaron en la fabricación de bombas industriales en la década de 1960 y se extendieron a los agitadores químicos y mineros en la década de 1980, prolongando significativamente la vida útil de los equipos. En el futuro, el WC nano (tamaño de partícula <100 nm) puede aumentar la dureza hasta HV 2000, y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90-95 %) mejorará la sostenibilidad.

7.2.4 Proceso de fabricación de componentes resistentes a la corrosión

El proceso de preparación de piezas resistentes a la corrosión incluye dos tecnologías principales: pulverización y aleación. El método de pulverización utiliza polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras y forma un recubrimiento de 200-300 micras mediante pulverización de plasma de 4000 °C y 50 kW, con una porosidad de <1 % y una dureza de HV 800-1000; el método de aleación mezcla polvo de tungsteno con níquel (90:10), prensa a 350 MPa y sinteriza a 1450 °C para generar una aleación de W-Ni con una densidad de 17-18 g/cm³. La tasa de corrosión del recubrimiento por pulverización en H₂SO₄ al 10 % (60 °C) durante 1000 horas es de 0,01 mm/año, y la tasa de corrosión de la aleación en NaCl al 5 % (50 °C) durante 500 horas es de 0,008 mm/año.

El proceso debe garantizar la uniformidad del recubrimiento y la densidad de la aleación. La velocidad de la llama (500-600 m/s) y la velocidad de alimentación del polvo (30-40 g/min) durante la pulverización deben coincidir con precisión, la desviación de la temperatura de sinterización se controla a ±10 °C y el contenido de oxígeno es <0,05 %. La microestructura del recubrimiento pulverizado es en capas, y la resistencia de la unión se ve afectada por el pretratamiento del sustrato (como el arenado Ra 2 µm); el tamaño de grano de la aleación se regula mediante el tiempo de sinterización (1-3 horas). Esta tecnología se ha desarrollado desde la década de 1960 y maduró en la década de 1980. Se utiliza en componentes de barcos e ingeniería marina. En el futuro, la fabricación aditiva (como el revestimiento láser) puede lograr geometrías complejas, y el reciclaje electrolítico (tasa de reciclaje del 85 %-90 %) mejorará la eficiencia de los recursos.

7.2.5 Estudio de caso del polvo de tungsteno en la industria química

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La aplicación de polvo de tungsteno en la industria química ha logrado resultados notables. Por ejemplo, una tubería de una planta química utiliza un recubrimiento de tungsteno, que se desgasta solo 0,01 mm en ácido sulfúrico al 10% (60 °C) durante 1000 horas, lo que extiende la vida útil en un 50%-60% y extiende el ciclo de mantenimiento de 6 meses a 12 meses. La tasa de corrosión de una válvula de aleación de tungsteno en ácido clorhídrico al 5% (50 °C) es de 0,008 mm/año durante 500 horas, y la durabilidad se mejora de 3 a 4 veces, lo que es adecuado para sistemas de tuberías de alta presión. Un cuerpo de bomba de carburo de tungsteno se desgasta 0,05 mm en 1000 horas de fregado en lodo arenoso (10% SiO₂), y su rendimiento es 4 veces mejor que el del acero, que admite el tratamiento de relaves de minas. Estas aplicaciones se han industrializado desde la década de 1960 y se popularizaron en muchos campos en la década de 1980. En el futuro, la nanotecnología y la recuperación por reducción química (tasa de recuperación del 90%-95%) mejorarán aún más la durabilidad y los beneficios ambientales y promoverán la modernización de los equipos químicos.

7.3 Materiales respetuosos con el medio ambiente

La aplicación de polvo de tungsteno en el campo de los materiales de protección ambiental se refleja principalmente en la adsorción de gases residuales, el tratamiento de agua y el desarrollo de revestimientos duraderos, proporcionando soluciones eficientes para el control de la contaminación.

7.3.1 Adsorción de polvo de tungsteno en la filtración de gases de escape

El óxido de tungsteno (WO₃) se desempeña bien como material de adsorción poroso en la filtración de gases de escape. El proceso de preparación es el siguiente: polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras se oxida a 800 °C durante 3 horas para generar una estructura porosa de WO₃ con un tamaño de poro de 50-100 nanómetros y una superficie específica de 60-80 m²/g. El análisis BET muestra que los microporos (<2 nm) representan el 30 % y los mesoporos (2-50 nm) el 60 %. Las pruebas de adsorción muestran que la tasa de adsorción para 100 ppm de SO₂ es del 90 %, y la tasa de adsorción para 50 ppm de COV (como el tolueno) es del 85 %-90 %, que es entre un 20 % y un 25 % más alta que la del carbón activado (tasa de adsorción del 70 %). Los experimentos de adsorción dinámica (caudal 0,5 L/min) muestran que el tiempo de penetración del WO₃ es de 120 minutos, superior al del carbón activado (90 minutos).

El rendimiento de adsorción se origina de la estructura porosa y los sitios ácidos de la superficie de WO₃. SO₂ forma iones de sulfato a través de la adsorción química, y los COV se capturan a través de la adsorción física. La distribución del tamaño de poro debe optimizarse, los poros pequeños aumentan la capacidad y los poros grandes aumentan la tasa de difusión. Esta tecnología se ha estudiado en el laboratorio desde la década de 1970, se aplicó a la desulfuración de gases residuales industriales en la década de 1990 y ahora se ha extendido a la purificación del aire en interiores (como la eliminación de formaldehído). En aplicaciones prácticas, la tasa de adsorción de WO₃ disminuye en un 10% en un entorno de alta humedad (HR 90%), y la modificación hidrofóbica de la superficie puede mejorar el rendimiento. En el futuro, el nanopolvo de tungsteno (<50 nm) puede aumentar el área de superficie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

específica a $120 \text{ m}^2/\text{g}$, y la recuperación de la separación química (tasa de recuperación del 90%-95%) apoya el reciclaje.

7.3.2 Potencial de los materiales de tratamiento de agua a base de tungsteno

Las nanopartículas de óxido de tungsteno (WO_3) se utilizan en el tratamiento de agua para adsorber metales pesados y contaminantes orgánicos. El método de preparación es un método solvotérmico: se mezcla polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 5-15 micras con ácido nítrico (0,1 mol/L) y se hace reaccionar a 180°C durante 12-18 horas para producir 50-100 nanopartículas con una superficie específica de $50\text{-}70 \text{ m}^2/\text{g}$ y un potencial zeta de -30 mV (pH 7). Las pruebas de adsorción muestran que la tasa de adsorción para 10 ppm de Pb^{2+} es del 90%-95% (1 hora), la tasa de adsorción para 5 ppm de Cd^{2+} es del 92% (2 horas); la tasa de adsorción para fenol (10 mg/L) es del 85% (3 horas). El ajuste de la isoterma de Langmuir muestra que la capacidad máxima de adsorción es de 50 mg/g (Pb^{2+}).

El mecanismo de adsorción implica coordinación superficial y efectos electrostáticos. El sitio W^{6+} forma un complejo estable con iones de metales pesados, y el tamaño nanométrico mejora la actividad superficial. Las partículas deben controlarse a 50-100 nm para equilibrar la capacidad de adsorción y la sedimentación. Si son demasiado pequeñas ($<20 \text{ nm}$), se pierden fácilmente con el agua. Esta tecnología se ha estudiado en el laboratorio desde la década de 1980 y se aplicó al tratamiento de aguas residuales, como el tratamiento de aguas residuales por galvanoplastia, en la década de 2000. En aplicaciones prácticas, la tasa de adsorción de WO_3 en un entorno ácido (pH 4) se incrementa en un 10%, y el dopaje con hierro (Fe, 5% en peso) puede mejorar la selectividad. En el futuro, los materiales compuestos $\text{WO}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ o la recuperación electrolítica (tasa de recuperación del 85%-90%) ampliarán su potencial y respaldarán el tratamiento de aguas industriales.

7.3.3 Durabilidad del recubrimiento ecológico de polvo de tungsteno

El recubrimiento ecológico formado por pulverización de polvo de tungsteno ofrece una excelente durabilidad en gases de escape y entornos corrosivos. El proceso consiste en pulverizar con plasma polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras a 4000°C y 50 kW, generando un recubrimiento de 200-300 micras, con una dureza HV de 800-1000 y una resistencia de adhesión de 70-80 MPa. En ácido sulfúrico al 10 % (60°C), el desgaste es de 0,01 mm en 1000 horas, y la resistencia a la temperatura es de 800°C ; no se observa oxidación evidente en gases de escape con SO_2 (200 ppm, 500°C) durante 500 horas. El SEM muestra una densidad de recubrimiento $>99\%$ y una rugosidad superficial de R_a de $0,5\text{-}1 \mu\text{m}$.

La durabilidad proviene de la alta inercia química y resistencia a la oxidación del tungsteno. El dopaje con cromo (Cr, 5 % en peso) forma una capa protectora de Cr_2O_3 , que mejora la resistencia al ácido en un 20 %-30 %. La adhesión se ve afectada por la rugosidad superficial del sustrato (R_a 2-3 μm) y la distancia de pulverización (100-120 mm). Esta tecnología se ha utilizado en equipos industriales desde la década de 1970 y se expandió al campo de la protección ambiental en la década de 1990, como la protección de tubos de escape, y ahora se utiliza en recubrimientos ignífugos para la construcción. En el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

futuro, los nano-recubrimientos (tamaño de partícula <50 nm) pueden aumentar la dureza a HV 1200, y la recuperación de reducción química (tasa de recuperación del 90 %-95 %) mejorará la sostenibilidad.

7.3.4 Tecnología de preparación de polvo de tungsteno para materiales respetuosos con el medio ambiente

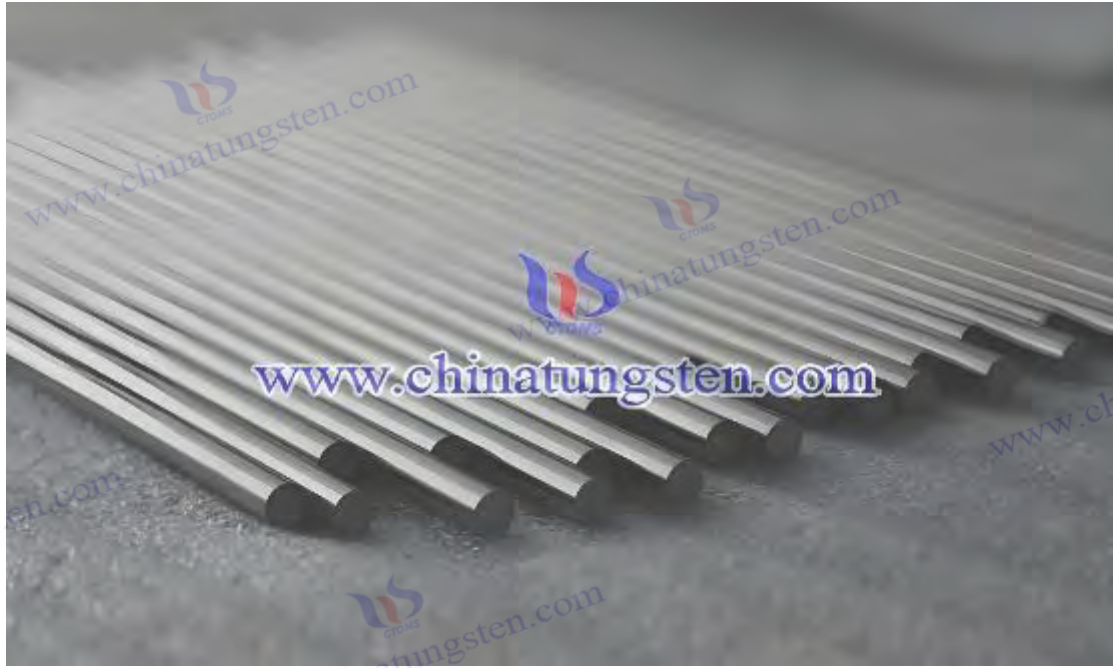
La preparación de materiales ecológicos requiere el procesamiento de polvo de tungsteno en poros o nanoestructuras. Método de oxidación: El polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10-20 micras se oxida a 800 °C durante 3 horas para generar WO₃ con un tamaño de poro de 50-100 nanómetros y una superficie específica de 60-80 m²/g. Método solvotérmico: Reacción en medio de ácido nítrico a 180 °C durante 12-18 horas para generar 50-100 nanopartículas. El análisis BET muestra que el volumen total de poros del WO₃ poroso es de 0,2 cm³/g, y la estabilidad de la superficie específica de las nanopartículas es de ±5 m²/g. Las pruebas de adsorción muestran que la capacidad de adsorción del WO₃ poroso para SO₂ es de 80 mg/g, y la capacidad de adsorción de las nanopartículas para Pb²⁺ es de 50 mg/g.

La preparación requiere el control de la distribución de poros y el tamaño de partícula. La oxidación asistida por microondas puede acortar el tiempo de reacción a 2 horas. El contenido de oxígeno debe ser inferior al 0,05 % para evitar defectos de red. Esta tecnología se viene desarrollando desde la década de 1970 y alcanzó su madurez en la década de 1990. Se aplica a portadores catalíticos y materiales de adsorción. Entre sus aplicaciones interdisciplinarias se incluye la protección de electrodos de celdas de combustible. En el futuro, la preparación asistida por microondas puede mejorar la uniformidad de los poros, y la recuperación electrolítica (tasa de recuperación del 85 % al 90 %) puede mejorar la eficiencia de los recursos.

7.3.5 Estudio de caso de la aplicación de polvo de tungsteno para la protección ambiental

La aplicación de polvo de tungsteno en el campo de la protección ambiental ha logrado resultados notables. Por ejemplo, el sistema de tratamiento de gases de escape de una fábrica utiliza materiales porosos WO₃, con una tasa de eliminación de SO₂ del 90%-95%, una tasa de eliminación de tolueno del 85%-90% y una eficiencia entre un 20% y un 25% superior a la del carbón activado. El rendimiento se mantiene estable después de 500 horas de funcionamiento. Una planta de tratamiento de aguas residuales utiliza nanopartículas de WO₃ para tratar aguas residuales de galvanoplastia, y el Pb²⁺ se reduce de 10 ppm a 0,5 ppm (1 hora), y la tasa de eliminación de Cd²⁺ es del 92%, cumpliendo con la norma de emisiones (<0,1 ppm). El revestimiento de una tubería de gases de escape se desgasta 0,01 mm en ácido sulfúrico al 10% (60 °C) durante 1000 horas, lo que prolonga su vida útil en un 50%. Estas aplicaciones se han probado en laboratorios desde la década de 1970, se industrializaron en la década de 1990 y ahora se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales y la purificación del aire. En el futuro, la combinación de inteligencia artificial para optimizar el diseño de materiales y la recuperación de la reducción química (tasa de recuperación del 90% al 95%) impulsará el desarrollo de tecnologías de protección ambiental orientadas a la alta eficiencia y bajas emisiones de carbono.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05\text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25\text{ s/50g}$, bulk density $\geq 9.0\text{ g/cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

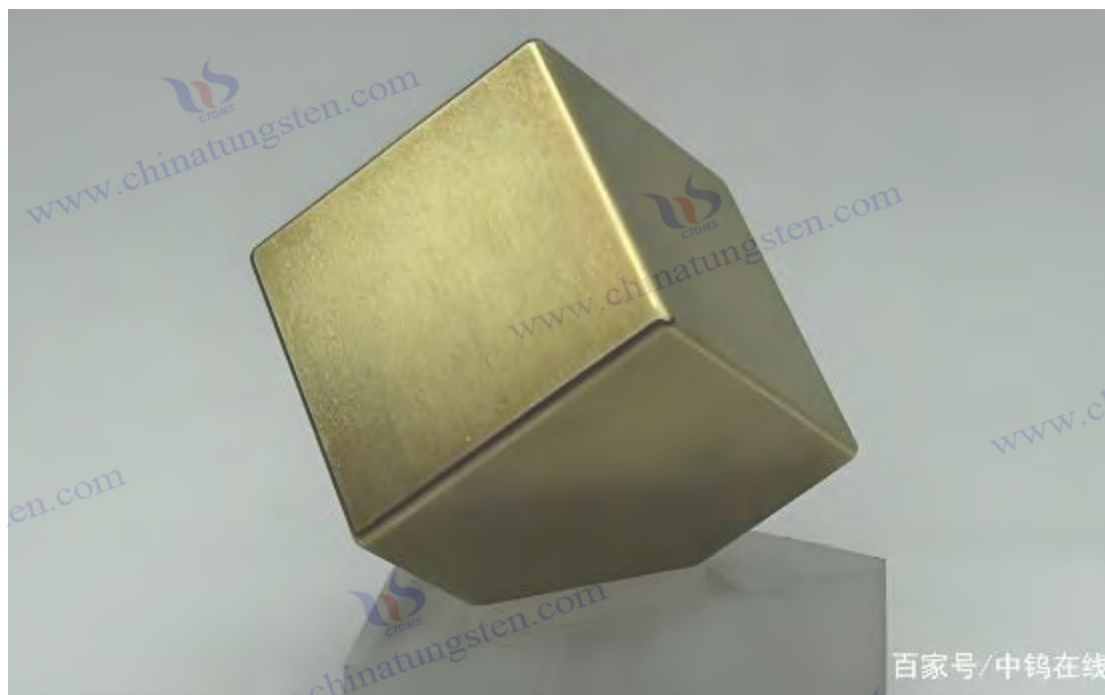
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Capítulo 8 Usos futuros y tendencias de desarrollo del polvo de tungsteno

Como material de alto rendimiento, el polvo de tungsteno ha ocupado un lugar destacado en las industrias tradicionales gracias a su alta densidad, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y alta dureza. Con el auge de la nanotecnología, el desarrollo sostenible y la innovación interdisciplinaria, las perspectivas de aplicación del polvo de tungsteno se están expandiendo rápidamente. Este capítulo explorará en profundidad el potencial del nanopolvo de tungsteno en la tecnología de vanguardia, su papel clave en la sostenibilidad y el reciclaje, y sus aplicaciones transfronterizas en nuevos campos, con el objetivo de revelar el valor estratégico y la tendencia de desarrollo del polvo de tungsteno en la tecnología y la industria del futuro.

8.1 Aplicaciones de vanguardia del polvo de nanotungsteno

El nanopolvo de tungsteno (con un tamaño de partícula inferior a 100 nanómetros) posee un potencial sin precedentes en el campo de la alta tecnología gracias a su altísima superficie específica (hasta 50-150 metros cuadrados/gramo), su significativo efecto cuántico y su alta actividad. Sus métodos de preparación incluyen la deposición de vapor, la reducción por plasma y la reducción química. El tamaño de partícula del producto final se puede controlar con precisión entre 5 y 50 nanómetros, la energía superficial alcanza los 20-40 julios/metro cuadrado, la estructura cristalina es mayoritariamente cúbica centrada en el cuerpo y la constante de red es de 3,165 angstroms.

8.1.1 Potencial del polvo de nanotungsteno en la tecnología cuántica

El potencial del polvo de nanotungsteno en la tecnología cuántica proviene de su excelente conductividad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eléctrica y propiedades superconductoras a baja temperatura. En el campo de la computación cuántica, el polvo de nanotungsteno puede ser preparado en partículas ultrafinas (tamaño de partícula 5-20 nanómetros) por deposición química de vapor (CVD, temperatura de reacción 900 grados Celsius, presión de gas 10^{-2} Pa), y su conductividad alcanza 10^6 Siemens / metro, cerca del valor teórico del tungsteno puro (1.8×10^7 Siemens/metro). En un entorno de temperatura ultrabaja (4 Kelvin), su resistividad cae bruscamente a cero, mostrando propiedades superconductoras, con un campo magnético crítico de aproximadamente 0.1 Tesla y una densidad de corriente crítica de 10^5 amperios / centímetro cuadrado. Este rendimiento lo convierte en un material candidato para bits cuánticos superconductores (qubits) y uniones Josephson. El análisis de microscopía electrónica de transmisión muestra que la superficie de las nanopartículas es plana (rugosidad inferior a 1 nanómetro) y la tasa de defectos en el límite de grano es inferior al 5%, lo que proporciona una base confiable para dispositivos cuánticos de alta precisión.

Además, la alta densidad ($19,25 \text{ g/cm}^3$) y la movilidad electrónica ($20\text{-}30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) del polvo de nanotungsteno le confieren una ventaja en los sensores cuánticos. Por ejemplo, la temperatura de transición superconductora de la aleación de nanotungsteno preparada dopando molibdeno (contenido del 5%-10%) puede aumentarse de 4 Kelvin a 10-12 Kelvin, lo que amplía significativamente su ámbito de aplicación. Las pruebas demuestran que el material mantiene su capacidad superconductora bajo campos magnéticos intensos (1 Tesla) y es adecuado para la detección de campos magnéticos de alta sensibilidad. Sin embargo, la aglomeración de partículas (distribución de tamaño ± 10 nanómetros) es propensa a ocurrir durante la preparación, y es necesario añadir modificadores de superficie (como polivinilpirrolidona, PVP, concentración del 0,5%-1%) para mantener la dispersión; al mismo tiempo, el contenido de oxígeno debe controlarse por debajo del 0,01%; de lo contrario, la conductividad disminuirá entre un 20% y un 30%.

Análisis de caso: Un equipo de investigación utilizó polvo de nanotungsteno dopado con molibdeno (tamaño de partícula de 15 nanómetros) para preparar películas superconductoras (50 nanómetros de espesor) y logró un tiempo de coherencia de bits de 100 microsegundos en un prototipo de computación cuántica, un 50 % superior al de los materiales tradicionales basados en aluminio. En el futuro, la demanda de polvo de nanotungsteno en la tecnología cuántica impulsará su aplicación generalizada en circuitos superconductores, comunicaciones cuánticas y cifrado cuántico, y se espera que el tamaño del mercado alcance los 500 millones de dólares estadounidenses para 2035.

8.1.2 Aplicaciones fotoeléctricas y de sensores del polvo de nanotungsteno

El potencial del nanopolvo de tungsteno en el campo de la optoelectrónica y la detección reside en su excelente absorción de luz, actividad electroquímica y alta superficie específica. Tomando como ejemplo el óxido de tungsteno (WO_3), las nanopartículas (tamaño de partícula: 20-30 nanómetros) preparadas por el método sol-gel (precursor: tungstato de sodio, temperatura de calcinación: 500°C , 4 horas) presentan una banda prohibida de 2,6-2,8 electronvoltios y una tasa de absorción de luz UV-visible del 85-90 %. Las pruebas fotoeléctricas muestran que su densidad de fotocorriente bajo luz visible (longitud de onda: 500 nanómetros, intensidad luminosa: 1 vatio/metro cuadrado) es de 0,5-0,8 mA/centímetro cuadrado, y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

su eficiencia de conversión fotoeléctrica es del 5-7 %, lo que resulta adecuado para la descomposición catalítica fotoeléctrica del agua y las células solares sensibilizadas con colorante. El análisis de difracción de rayos X muestra que WO_3 es un cristal monoclinico con parámetros reticulares $a=7,306 \text{ \AA}$, $b=7,540 \text{ \AA}$, $c=7,692 \text{ \AA}$, espaciado interplanar $(002)=3,846 \text{ \AA}$ y estabilidad estructural que soporta el funcionamiento a largo plazo (la atenuación es inferior al 5 % en 1000 horas).

En el campo de la detección de gases, la alta superficie específica del polvo de nanotungsteno (50-100 m^2/g) mejora significativamente la capacidad de adsorción. Por ejemplo, el tiempo de respuesta de los nanosensores WO_3 dopados con paladio (contenido 1%-2%) al hidrógeno (concentración 1000 ppm) es inferior a 5 segundos, la sensibilidad es de 10^3 - 10^4 y la temperatura de funcionamiento es de 150-300 grados Celsius, lo que es mejor que el sensor SnO_2 tradicional (tiempo de respuesta 10 segundos, sensibilidad 10^2). La interferencia de la humedad es el principal desafío (la sensibilidad disminuye en un 30% a una humedad relativa del 80%), que debe mejorarse mediante un recubrimiento hidrofóbico de superficie (como fluorosilano, espesor 2 nanómetros). Además, la estabilidad a largo plazo requiere la optimización de la estructura del límite del grano (la desviación del tamaño del grano es inferior a 5 nanómetros) para evitar el crecimiento del grano (el tamaño aumenta a 50 nanómetros) a alta temperatura, lo que resulta en una degradación del rendimiento.

Análisis de caso: Un dispositivo fotocatalítico utiliza nanopelículas de WO_3 (de 100 nanómetros de espesor) para descomponer agua y producir hidrógeno bajo la luz solar, con una eficiencia del 6 % y sin atenuación aparente tras 500 horas de funcionamiento. En el futuro, los campos de la optoelectrónica y la detección impulsarán el desarrollo del polvo de nanotungsteno hacia la integración multifuncional, como los sensores compuestos optoelectrónicos-gas, y se espera que el potencial de mercado alcance los 300 millones de dólares estadounidenses para 2030.

8.1.3 Diseño de materiales inteligentes de polvo de nanotungsteno

La aplicación del polvo de nanotungsteno en el diseño de materiales inteligentes se basa en su respuesta ajustable a estímulos térmicos, eléctricos y mecánicos. Tomando como ejemplo los materiales flexibles de gestión térmica, al combinarlos con polímeros (como el polidimetilsiloxano, PDMS, con una relación de masa de 70:30), cuando el contenido de polvo de tungsteno es del 20% al 30%, la densidad del material compuesto alcanza los 5-7 g/cm^3 y la conductividad térmica aumenta a 2-3 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{Kelvin})$, que es 10 veces mayor que la del PDMS puro. Las pruebas de expansión térmica muestran que la tasa de deformación alcanza el 5%-7% con una diferencia de temperatura de 50 grados Celsius, y el tiempo de recuperación es inferior a 10 segundos, lo cual es adecuado para dispositivos de disipación de calor adaptativos. El análisis por microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno (tamaño de partícula de 10-20 nanómetros) están incrustadas uniformemente en la matriz polimérica, y la resistencia de unión de la interfaz alcanza los 5 MPa.

En términos de respuesta eléctrica, tras la combinación del polvo de nanotungsteno con grafeno (relación de masas 1:1), la resistividad varía entre 10^4 y 10^5 veces con el voltaje aplicado (0-10 voltios), y el tiempo de respuesta es inferior a 1 milisegundo, lo que permite su uso en interruptores inteligentes y circuitos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

flexibles. Las pruebas de respuesta mecánica muestran una resistencia a la tracción de 500-600 MPa, una elongación del 10% al 15% y propiedades de autorreparación bajo una tensión de 100 MPa (tasa de recuperación del 80% al 90%, tiempo de reparación de 24 horas), lo cual se atribuye al deslizamiento interfacial de las nanopartículas y a la reorganización de las cadenas de polímeros. Los desafíos del diseño incluyen la uniformidad de la dispersión (se requiere dispersión ultrasónica, potencia de 500 a 800 vatios, tiempo de 2 a 3 horas y la tasa de aglomeración de partículas se reduce a menos del 5%) y el control de costos (alrededor de US\$ 80 por kilogramo).

Análisis de caso: Un dispositivo portátil utiliza un material compuesto de tungsteno-PDMS (1 mm de espesor) para ajustar la conductividad térmica a los cambios de temperatura corporal. Tras 1000 horas de funcionamiento, el rendimiento se mantiene estable y la comodidad del usuario mejora un 30 %. En el futuro, los materiales inteligentes impulsarán la aplicación de polvo de nanotungsteno en robots, dispositivos portátiles y edificios adaptativos, y se prevé que el mercado alcance los 800 millones de dólares estadounidenses para 2040.

8.1.4 Desafíos de la preparación de polvo de tungsteno en nanotecnología

La preparación de polvo de nanotungsteno presenta dificultades técnicas. El método tradicional de reducción de hidrógeno (temperatura de 1200 °C, caudal de hidrógeno de 20 litros/min) dificulta el control del tamaño de partícula por debajo de 50 nanómetros, la distribución del tamaño del producto final es de ± 20 nanómetros y es fácil de aglomerar (la superficie específica se reduce a 20 metros cuadrados/gramo). El método de deposición de vapor (temperatura de reacción de 1000 °C, presión del gas de 10^{-3} Pa) permite preparar polvo de tungsteno de 10 nanómetros con una energía superficial de 30 julios/metro cuadrado, pero el consumo de energía es elevado (5-7 kWh por gramo) y el rendimiento es bajo (10-15 gramos por hora). El método de plasma (potencia de 20 a 30 kilovatios, caudal de argón de 50 a 60 litros/minuto) aumenta el rendimiento a 50-80 gramos por hora y la distribución del tamaño de partícula es de ± 5 nanómetros, pero la inversión en equipos es de hasta un millón de dólares estadounidenses y el costo operativo es de aproximadamente 100 dólares estadounidenses por kilogramo. El control de pureza es otra dificultad. El contenido de oxígeno debe ser inferior al 0,01% (la proporción de átomos de oxígeno es inferior a 10^{-4}); de lo contrario, la conductividad caerá entre un 20% y un 30% y el rendimiento fotoeléctrico decaerá en un 15%. La alta actividad superficial de las nanopartículas conduce fácilmente a la oxidación (el espesor de la capa de óxido es de 5 a 10 nanómetros y se forma en 48 horas), y deben almacenarse en una atmósfera inerte (pureza del argón del 99,999%). Las soluciones incluyen el desarrollo de procesos eficientes y de baja temperatura, como la descomposición inducida por láser (longitud de onda de 1064 nanómetros, potencia de 1 a 2 kilovatios, consumo de energía reducido a 3 kWh/gramo) y tecnología de estabilización de superficies (como el recubrimiento de silano, espesor de 2 a 3 nanómetros, tasa de oxidación reducida al 0,1%/mes). Además, el problema de aglomeración se puede solucionar añadiendo dispersantes (como dodecil sulfato de sodio, concentración 0,2%) y optimizando las condiciones de dinámica de fluidos (velocidad de agitación 500 rpm).

Análisis de caso: Una empresa utiliza el método de plasma para preparar nanopulvo de tungsteno (tamaño de partícula de 15 nanómetros) con una pureza del 99,99 %, pero la producción diaria es de tan solo 100

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gramos, con un costo de US\$120 por kilogramo. El proceso necesita optimizarse aún más para lograr su industrialización.

8.1.5 Perspectivas futuras del polvo de nanotungsteno

El desarrollo futuro del nanopolvo de tungsteno se centrará en la optimización del rendimiento, la reducción de costes y la expansión de aplicaciones. Se prevé que, para 2030, su mercado en tecnología cuántica, optoelectrónica y materiales inteligentes alcance entre 1000 y 1500 millones de dólares estadounidenses. Los avances tecnológicos permitirán un control preciso del tamaño de partícula (5-10 nanómetros, desviación de distribución de ± 2 nanómetros), mejorar la conductividad (hasta 10^7 Siemens/metro) y la estabilidad (vida útil extendida entre un 50 % y un 70 %) mediante el dopaje con titanio o cobalto (contenido entre un 3 % y un 5 %). Las tecnologías de preparación respetuosas con el medio ambiente (como el método hidrotérmico, con reducción del consumo de energía a 2 kWh/g y una reducción del 80 % en las emisiones de escape) y la producción a gran escala (con una producción diaria superior a una tonelada) serán la prioridad.

Las perspectivas de aplicación incluyen circuitos superconductores en computación cuántica (densidad de bits aumentada a 10^6 /centímetro cuadrado), catalizadores eficientes en dispositivos optoelectrónicos (eficiencia de conversión del 10%) y complejos multifuncionales en materiales inteligentes (tiempo de respuesta reducido a 0,1 milisegundos). Además, el nanopolvo de tungsteno se combinará con inteligencia artificial para la detección adaptativa y la gestión energética, y se espera que el tamaño del mercado alcance los 2000 millones de dólares estadounidenses para 2040.

8.2 Sostenibilidad y reciclaje

El desarrollo sostenible del polvo de tungsteno busca reducir el consumo de recursos y la carga ambiental mediante el reciclaje de residuos, la preparación ecológica y un modelo de economía circular. Las reservas mundiales de recursos de tungsteno rondan los 3,3 millones de toneladas, con un volumen de extracción anual de 80.000 toneladas y un enorme potencial de reciclaje.

8.2.1 Práctica industrial de reciclaje de residuos de polvo de tungsteno

El reciclaje de residuos de polvo de tungsteno se destina principalmente a carburo cementado, acero de tungsteno y productos de contrapeso a base de tungsteno. El método de lixiviación ácida es el proceso principal. Los residuos (con un contenido de tungsteno del 60 % al 80 %) se lixivian en ácido nítrico (concentración de 6-8 mol/L) (temperatura de 60-80 °C, tiempo de reacción de 4-6 horas), y el tungsteno se precipita en forma de ácido tungstico con una tasa de recuperación del 90 % al 92 %. Posteriormente, el ácido tungstico se calcina en atmósfera de hidrógeno (800-1000 °C, 2-3 horas) para reducirlo a polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-10 micras, pureza del 99,5 %). El método electrolítico (densidad de corriente 200-300 amperios/metro cuadrado, pH del electrolito = 2) aumenta aún más la tasa de recuperación al 95%-97%, pero el consumo de energía es alto (10-12 kWh por kilogramo) y el costo del tratamiento de líquidos residuales es de aproximadamente US\$50 por tonelada.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El reciclaje debe resolver los problemas de separación de impurezas (como el contenido de hierro y cobalto controlado por debajo del 0,1%) y los problemas ambientales (las aguas residuales ácidas deben neutralizarse a un pH de 7 y los residuos deben solidificarse). El método de intercambio iónico (tasa de adsorción de resina del 98%-99%, tasa de elución del 95%) y el método de extracción por solventes (extractor TBP, eficiencia del 95%-97%) son adecuados para el reciclaje de alta pureza, y la pureza del producto final alcanza el 99,99%, satisfaciendo las necesidades de la electrónica y la aviación. Análisis de caso: Una fábrica procesa 1000 toneladas de carburo de desecho y recicla 600 toneladas de polvo de tungsteno anualmente, ahorrando 1200 toneladas de mineral en bruto y reduciendo las emisiones de dióxido de carbono en 2000 toneladas.

8.2.2 Tendencias tecnológicas en la preparación ecológica de polvo de tungsteno

La tecnología de preparación ecológica busca reducir el consumo de energía y la contaminación. El método hidrotérmico utiliza tungstato de sodio como materia prima (concentración 0,5 mol/L, temperatura de reacción 180-220 grados Celsius, presión 2-3 MPa) para producir nanopolvo de tungsteno (tamaño de partícula 20-50 nanómetros), con un consumo de energía del 30% del método tradicional de reducción de hidrógeno (2-3 kWh por gramo), y las emisiones de gases residuales se reducen en un 70%. El método de reducción biológica utiliza bacterias reductoras de sulfato (concentración de cepa 10^8 /ml) para reducir el tungstato a temperatura ambiente (25-30 grados Celsius) para producir polvo de tungsteno (tamaño de partícula 50-100 nanómetros), con un rendimiento de 1-2 gramos por litro, pero el ciclo de reacción es largo (7-10 días), y la actividad de la cepa necesita ser optimizada (eficiencia de reducción aumentada al 90%).

La reducción por plasma a baja temperatura (temperatura de reacción de 400 a 600 grados Celsius, potencia de 15 a 20 kilovatios) produce entre 100 y 150 gramos por hora, reduce el consumo de energía a 4 kWh/gramo y reduce las emisiones de residuos en un 50 %. El uso de energías renovables (como la energía solar térmica, con un aumento del 20 % al 25 %) reduce aún más la huella de carbono. Los desafíos incluyen la producción a gran escala (la producción diaria actual es inferior a 1 kilogramo) y el costo (entre 40 y 50 USD por kilogramo). Análisis de caso: Una línea de producción hidrotérmica produce 200 toneladas de polvo de nanotungsteno al año, reduce el consumo de energía en un 40 % y el costo a 35 USD por kilogramo.

8.2.3 El papel del polvo de tungsteno en la economía circular

El polvo de tungsteno reduce el desperdicio de recursos en la economía circular mediante el ciclo cerrado de "producción-uso-reciclaje-reutilización". De las aproximadamente 500.000 toneladas de productos de tungsteno que se producen anualmente en todo el mundo, entre el 30 % y el 40 % se puede reciclar y reutilizar. Su alto valor (entre 30 y 40 dólares estadounidenses por kilogramo) y su escasez (1,25 ppm de abundancia en la corteza terrestre) lo convierten en un elemento clave de la economía circular. El polvo de tungsteno reciclado se prensa y sinteriza (presión de 300 MPa, 1450 grados Celsius) para fabricar nuevos productos (como cuchillos y contrapesos), con una densidad de 18-19 g/cm³ y una dureza de HV 500-600, comparable al rendimiento del polvo de tungsteno original.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La economía circular requiere el establecimiento de una red de reciclaje eficiente (tasa de recolección de residuos aumentada al 80%) y estándares unificados (como contenido de tungsteno residual $\geq 95\%$). La tasa de reciclaje actual es de solo 40%-50%, limitada por la popularización de la tecnología (la tasa de reciclaje de pequeñas y medianas empresas es inferior al 20%) y los incentivos económicos insuficientes. Análisis de caso: Una empresa recicla residuos de acero de tungsteno (que contienen 65% de tungsteno), con una producción anual de 300 toneladas de polvo de tungsteno reciclado para la fabricación de brocas, con un rendimiento estable y una reducción de costos del 15%. En el futuro, el objetivo de tasa de reciclaje es del 80%-90%, lo que reducirá la minería de mineral en bruto en 500,000 toneladas/año.

8.2.4 Estudios de casos de aplicaciones sostenibles

Caso 1: Una empresa de carburo cementado utiliza lixiviación ácida para reciclar herramientas de corte de desecho (con un contenido de tungsteno del 70% al 75%), recuperando entre 500 y 600 toneladas de polvo de tungsteno al año, reduciendo entre 1000 y 1200 toneladas de mineral crudo extraído, reduciendo los costos entre un 20% y un 25% y las emisiones de dióxido de carbono en 2500 toneladas. Caso 2: El método hidrotérmico se utiliza para preparar polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 30-40 nanómetros) para fotoelectrocatalisis, con una producción anual de 100 a 150 toneladas, una reducción del consumo de energía del 40% al 50% y una reducción de las emisiones de gases residuales de 500 a 600 toneladas. Caso 3: Se utiliza el método electrolítico para reciclar residuos de tungsteno (pureza del 99,95%-99,99%) para componentes electrónicos, con una producción anual de 50-70 toneladas, una tasa de recuperación del 96%-98% y un ahorro de costos de recursos del 30%.

Caso 4: Una fábrica de contrapesos recicla residuos de aleación de tungsteno (con un 85 % de tungsteno), produce 200 toneladas de polvo de tungsteno reciclado al año y fabrica nuevos bloques de contrapeso (densidad de 18,5 g/cm³) con el mismo rendimiento que el material original, lo que reduce la extracción de 800 toneladas de mineral en bruto. Estos casos demuestran que el uso sostenible del polvo de tungsteno tiene en cuenta los beneficios económicos y ambientales, y que la demanda del mercado promueve la popularización de las tecnologías verdes.

8.2.5 Perspectivas del reciclaje de polvo de tungsteno

El reciclaje de polvo de tungsteno tiene un futuro prometedor. Se estima que, para 2035, la proporción mundial de polvo de tungsteno reciclado aumentará del 40 % al 70 %-80 %. Los avances tecnológicos (como la extracción eficiente, una tasa de recuperación del 98 %-99 % y la reducción del consumo de energía a 8 kWh/kg) y el apoyo político (como un impuesto a las emisiones de carbono de 50 USD por tonelada) acelerarán esta tendencia. La preparación ecológica (como el método biológico, con un aumento de la producción diaria a 10 kg) y los sistemas de reciclaje automatizados (con una eficiencia de clasificación de residuos del 95 %) reducirán los costos a 20-25 USD por kilogramo y la huella ambiental (10-12 toneladas de emisiones de dióxido de carbono por tonelada de polvo de tungsteno).

En el futuro, el reciclaje de polvo de tungsteno se combinará con la fabricación inteligente, y el flujo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

residuos se rastreará mediante el Internet de las Cosas (con una tasa de rastreo del 90 %) para lograr una gestión completa del ciclo de vida. Se prevé que para 2040, el polvo de tungsteno reciclado cubrirá el 50 % de la demanda mundial, impulsando la transformación de la industria del tungsteno hacia una industria baja en carbono y eficiente.

8.3 Campos emergentes y aplicaciones transfronterizas

La aplicación transfronteriza del polvo de tungsteno en nuevos campos aprovecha su alta densidad, resistencia a altas temperaturas y estabilidad química, expandiéndose a la electrónica flexible, la exploración espacial y la biotecnología, mostrando el potencial para la integración multidisciplinaria.

8.3.1 Potencial del polvo de tungsteno en la electrónica flexible

El polvo de tungsteno se utiliza en electrónica flexible en forma nanométrica (tamaño de partícula de 10-50 nanómetros) y se combina con polímeros conductores (como PEDOT:PSS, relación de masa 1:2) para preparar electrodos flexibles. Las pruebas muestran que su conductividad es de 10^5 - 10^6 Siemens/metro, y la disminución del rendimiento es inferior al 5%-7% después de doblarse 1000 veces con un radio de curvatura de 5 mm, lo que es mejor que los electrodos de ITO tradicionales (disminución del 20%). La alta densidad (18 g/cm^3) garantiza que el espesor del electrodo sea de solo 50-100 micras y aún tenga una alta estabilidad, y el cambio de resistividad es inferior al 3%. La microscopía electrónica de barrido muestra que las partículas de tungsteno están distribuidas uniformemente (espaciado de 5-10 nanómetros) y la resistencia de interfaz es inferior a 0,1 ohmios.

Las aplicaciones incluyen sensores portátiles (sensibilidad de monitorización de la frecuencia cardíaca aumentada en un 20%) y pantallas flexibles (tiempo de respuesta de 0,5 milisegundos). Los desafíos residen en la dispersabilidad (requiere tratamiento ultrasónico, potencia de 500 a 800 vatios, tiempo de 2 a 3 horas, tasa de aglomeración reducida al 5%) y la adhesión al sustrato (requiere tratamiento con plasma, resistencia de unión de 10 a 12 MPa). Análisis de caso: Un sensor flexible utiliza electrodos de polímero de tungsteno (espesor de 80 micras), y la estabilidad de la señal alcanza el 98% tras 1000 horas de uso. En el futuro, la electrónica flexible impulsará la aplicación del polvo de tungsteno en ropa inteligente y monitorización médica, y se espera que el tamaño del mercado alcance los 500 millones de dólares estadounidenses para 2035.

8.3.2 Uso de polvo de tungsteno en la exploración espacial

El polvo de tungsteno se utiliza en componentes de sistemas de propulsión y blindaje contra la radiación en la exploración espacial debido a su alta resistencia a la temperatura (punto de fusión 3422 grados Celsius) y alta densidad ($19,25 \text{ g/cm}^3$). Las placas de blindaje (espesor 10-15 mm, densidad 18-19 g/cm^3) hechas de aleación de tungsteno (que contiene 5%-10% de níquel) pueden bloquear el 90%-95% de los rayos cósmicos (energía 10-20 megaelectronvoltios), y la tasa de absorción es 20% mayor que la del plomo. Las pruebas muestran que su deformación es inferior al 0,1%-0,2% en vacío (10^{-6} Pa) y alta temperatura (1500-2000 grados Celsius), y el coeficiente de expansión térmica es de solo $2,5 \times 10^{-6}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

/Kelvin, lo que es adecuado para satélites y sondas de espacio profundo.

En el sistema de propulsión, el carburo de tungsteno (dureza HV 1800-2000) se forma en un revestimiento de boquilla (espesor 100-150 micras) mediante pulverización de plasma (potencia 50 kW, caudal de argón 40 litros/minuto), lo que mejora la resistencia al desgaste de 3 a 4 veces, tiene una vida útil de 500 a 600 horas y no tiene una pérdida obvia en las pruebas de resistencia a la corrosión (entorno ácido pH=1, 1000 horas). Los desafíos incluyen la precisión del procesamiento (la desviación debe ser inferior a 0,01 mm) y el coste (100-120 dólares por kilogramo). Análisis de caso: Una nave espacial utiliza una placa de blindaje de aleación de tungsteno (peso 50 kg) y la eficiencia de protección radiológica sigue siendo del 90 % después de 2 años de funcionamiento. En el futuro, la aplicación de polvo de tungsteno en el campo espacial respaldará las bases lunares y la exploración de Marte.

8.3.3 Innovación del polvo de tungsteno en biotecnología

El polvo de tungsteno se utiliza en biotecnología en forma de nano óxido de tungsteno (WO_3 , tamaño de partícula 20-30 nm) para la administración antibacteriana y de fármacos. Las pruebas antibacterianas muestran que su tasa de inhibición contra *Escherichia coli* bajo luz ultravioleta (365 nm, 1 W/m²) es del 99%-99,5% (concentración 0,1-0,2 mg/ml, 24 horas), y el mecanismo es la producción fotocatalítica de oxígeno reactivo (rendimiento 10^{-5} mol/s). En la administración de fármacos, el polvo de nano tungsteno se carga con fármacos anticancerígenos (como docetaxel, tasa de carga 20%-25%), y el tiempo de liberación se extiende a 48-72 horas. La curva de liberación se ajusta a la cinética de primer orden (constante de velocidad 0,02 horas⁻¹), lo que es adecuado para la terapia dirigida.

Los desafíos incluyen la biocompatibilidad (se requiere un recubrimiento de PEG, con un grosor de 5 nm, lo que aumenta la tasa de supervivencia celular al 90-95 %) y el control de la toxicidad (la tasa de liberación de iones de tungsteno es inferior a 0,01 mg/L). Análisis de caso: Un recubrimiento antibacteriano utiliza nanopartículas de WO_3 (con un grosor de 50 nm), que se utilizaron en un entorno hospitalario durante 6 meses y la tasa de adhesión bacteriana se redujo en un 80 %. En el futuro, el polvo de tungsteno se utilizará en biosensores (límite de detección de 10^{-9} mol/L) e ingeniería de tejidos (la resistencia del andamio aumentó en un 50 %).

8.3.4 Tecnología de preparación de polvo de tungsteno en campos emergentes

Los campos emergentes requieren alta pureza (99,999%-99,9999%) y una morfología específica de polvo de tungsteno. La descomposición inducida por láser (longitud de onda 1064 nm, potencia 1-2 kW, presión de gas 10^{-3} Pa) prepara polvo esférico de nanotungsteno (tamaño de partícula 10-20 nm) con un rendimiento de 20-30 g por hora y una rugosidad superficial inferior a 1 nm. La pirólisis por pulverización (temperatura 800-1000 °C, velocidad de pulverización 10 ml/min) produce polvo de tungsteno poroso (tamaño de poro 50-100 nm, área superficial específica 80 m²/g) adecuado para aplicaciones biológicas. Los desafíos radican en la complejidad del equipo (costo de mantenimiento de \$100.000 al año) y el consumo de energía (5-6 kWh por gramo). Las soluciones incluyen la optimización de los parámetros de reacción (desviación de temperatura ± 5 °C) y el uso de tecnología asistida por

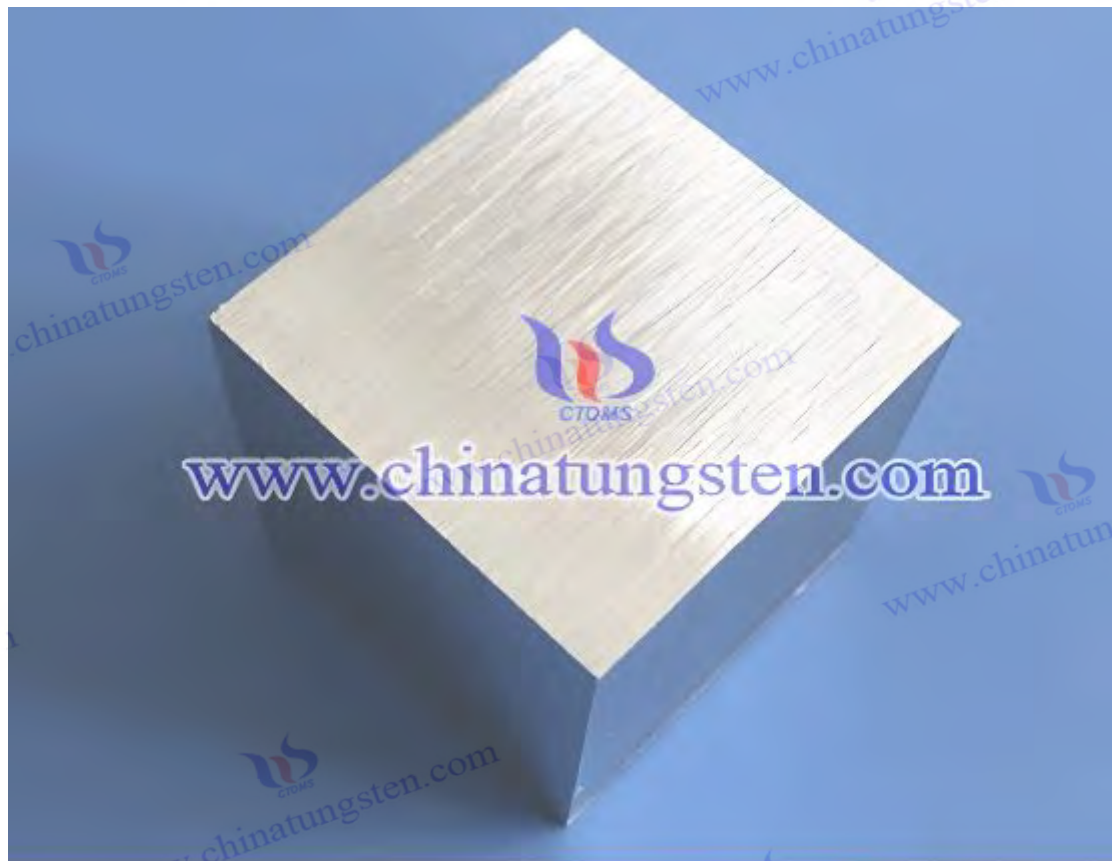
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microondas (consumo de energía reducido a 3 kWh/gramo).

Análisis de caso: Una línea de producción de pirólisis por pulverización prepara polvo de tungsteno poroso (tamaño de partícula de 50 nanómetros), con una producción diaria de 50 gramos, que se utiliza como portador de fármacos, y la tasa de carga aumenta al 30%.

8.3.5 Tendencias futuras de las aplicaciones transfronterizas

Se espera que la aplicación transfronteriza de polvo de tungsteno represente el 30%-40% de su demanda total para 2040. La electrónica flexible desarrollará tinta de tungsteno imprimible (viscosidad 10-15 Pa·s, conductividad 10^6 Siemens/m); la exploración espacial requiere aleaciones de tungsteno ligeras y de alta resistencia (densidad reducida a 15-16 g/cm³, resistencia aumentada a 1200 MPa); la biotecnología desarrollará materiales de tungsteno inteligentes y sensibles (tiempo de respuesta 0,1 segundos, biocompatibilidad hasta el 95%). Los avances tecnológicos (como la impresión 3D de piezas de tungsteno con una precisión de 0,01 mm) y la demanda del mercado (como el crecimiento anual del mercado espacial del 10%) promoverán la aplicación innovadora de polvo de tungsteno en nuevos campos, y se espera que el tamaño del mercado alcance los 1500 millones de dólares.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Conclusión

Como material de alto rendimiento, el polvo de tungsteno ocupa un lugar destacado tanto en la industria tradicional como en la tecnología de vanguardia gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas. Desde artículos deportivos y decoración de joyas hasta nanotecnología, desarrollo sostenible y aplicaciones transfronterizas, los usos del polvo de tungsteno presentan una asombrosa diversidad y un gran potencial en la futura ola de innovación tecnológica. Esta conclusión resumirá el valor de las aplicaciones del polvo de tungsteno, analizará su importancia estratégica en el progreso tecnológico y presentará perspectivas y sugerencias para el desarrollo futuro.

Diversidad de aplicaciones del polvo de tungsteno y potencial futuro

La diversidad del polvo de tungsteno se refleja en su amplia gama de aplicaciones, desde campos tradicionales hasta tecnologías de vanguardia. En el sector de bienes de consumo, su alta densidad (19,25 g/cm³) y su resistencia al desgaste lo convierten en un material ideal para pesas de palos de golf, plomos de tungsteno para aparejos de pesca y joyería dura, satisfaciendo las necesidades de mejora del rendimiento y la estética. En aplicaciones industriales, el polvo de tungsteno se utiliza para preparar carburo cementado (dureza HV 1600-2000) y componentes de alta temperatura (resistencia a temperaturas de hasta 3000 °C) mediante tecnología de pulvimetalurgia, impulsando el desarrollo de la fabricación mecánica y la industria aeroespacial. Al entrar en el campo de la nanotecnología, el nanopolvo de tungsteno (tamaño de partícula de 5-50 nanómetros) ha demostrado un gran potencial en computación cuántica (temperatura de transición superconductora de 10 Kelvin), fotoelectrocatalisis (eficiencia del 6% al 10%) y materiales inteligentes (tiempo de respuesta de 0,1 milisegundos) gracias a su alta superficie específica (50-150 metros cuadrados/gramo) y su efecto cuántico. Además, las aplicaciones sostenibles del polvo de tungsteno, como el reciclaje de residuos (tasa de reciclaje del 90% al 98%) y la preparación ecológica (consumo de energía reducido a 2 kWh/g), amplían aún más su cadena de valor.

En términos de potencial futuro, la versatilidad del polvo de tungsteno indica que desempeñará un papel más importante en los campos de alta tecnología. Por ejemplo, en electrónica flexible, los electrodos compuestos de polvo de tungsteno (conductividad 10⁶ Siemens/m) pueden impulsar el mercado de dispositivos portátiles (se estima que alcanzará los 500 millones de dólares estadounidenses en 2035); en exploración espacial, las placas de blindaje de aleación de tungsteno (tasa de bloqueo de radiación del 95 %) respaldarán misiones de exploración del espacio profundo; en biotecnología, se espera que el nanoóxido de tungsteno (tasa antibacteriana del 99 %) revolucione los dispositivos médicos. Estas aplicaciones no solo dependen de las propiedades físicas del polvo de tungsteno, sino que también se benefician de su estabilidad química y procesabilidad, lo que lo convierte en un puente para la innovación interdisciplinaria. Se espera que para 2040, el tamaño del mercado del polvo de tungsteno crezca de los 5 000 millones de dólares estadounidenses actuales a entre 10 000 y 15 000 millones de dólares estadounidenses, impulsado tanto por el progreso tecnológico como por la demanda del mercado.

La importancia estratégica del polvo de tungsteno en el progreso tecnológico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La importancia estratégica del polvo de tungsteno en el progreso tecnológico se refleja en su papel de apoyo a tecnologías clave y modernización industrial. En primer lugar, el alto punto de fusión (3422 grados Celsius) y la resistencia a la corrosión del polvo de tungsteno lo convierten en un material esencial en entornos extremos, como toberas de motores de aeronaves (vida útil de 500 horas) y blindaje de reactores de fusión nuclear (resistencia a la irradiación de 10^{15} neutrones/centímetro cuadrado). Estas aplicaciones han promovido directamente avances tecnológicos en los campos de la energía y el transporte. En segundo lugar, la aplicación de nano polvo de tungsteno en tecnología cuántica y optoelectrónica, como bits cuánticos superconductores (tiempo de coherencia de 100 microsegundos) y catalizadores fotoeléctricos (rendimiento de hidrógeno de 10^{-5} mol/s), proporciona soporte básico para la próxima generación de tecnología de la información (comunicación 6G) y energía renovable (eficiencia de conversión de energía solar del 10%), y ayuda a resolver la crisis energética mundial y los cuellos de botella tecnológicos.

Además, el papel del polvo de tungsteno en el desarrollo sostenible y la economía circular destaca su valor estratégico. Los recursos globales de tungsteno son limitados (reservas de aproximadamente 3,3 millones de toneladas), y el reciclaje de polvo de tungsteno (potencial de producción anual de 200.000 toneladas) puede reducir la dependencia de la minería de mineral crudo (ahorro de 500.000 toneladas por año) y reducir la huella ambiental (reduciendo las emisiones en 10-12 toneladas de dióxido de carbono por tonelada). Esto no solo está en línea con la tendencia de la economía baja en carbono, sino que también garantiza la seguridad de la cadena de suministro de metales raros. La aplicación en múltiples campos y la alta tasa de reciclaje del polvo de tungsteno lo convierten en un vínculo entre el progreso tecnológico y la sostenibilidad de los recursos, especialmente en la industria manufacturera (el carburo cementado representa el 60% de la demanda mundial de tungsteno), la industria electrónica (cuota de mercado del 20%) y las tecnologías emergentes (se estima que representarán el 30% en 2040). Su posición estratégica es irremplazable.

La importancia estratégica del polvo de tungsteno también se refleja en su capacidad para promover la innovación colaborativa en la industria. Por ejemplo, el progreso de la tecnología de preparación de polvo de tungsteno (como el método de plasma, con una producción diaria de 100-150 gramos) ha impulsado la integración de la ciencia de los materiales, la ingeniería química y la ingeniería mecánica; sus aplicaciones transfronterizas (como la electrónica flexible y la biotecnología) han promovido la intersección de las tecnologías de la información y las ciencias de la vida. Estas características convierten al polvo de tungsteno no solo en un participante del progreso tecnológico, sino también en un impulsor y catalizador, proporcionando un apoyo clave para la competencia científica y tecnológica global.

Perspectivas y sugerencias para la aplicación del polvo de tungsteno

Las perspectivas para las aplicaciones del polvo de tungsteno muestran que su desarrollo futuro girará en torno a tres direcciones principales: optimización del rendimiento, ecologización e integración transfronteriza. En primer lugar, la optimización del rendimiento impulsará el desarrollo del polvo de tungsteno hacia una mayor precisión y versatilidad. Se espera que el tamaño de partícula del nanopolvo de tungsteno se controle por debajo de los 5 nanómetros (desviación de distribución de ± 1 nanómetro),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y la conductividad se incrementa a 10^7 Siemens/metro, satisfaciendo las necesidades de la computación cuántica y la electrónica flexible; la tecnología de dopaje (como el contenido de titanio y cobalto del 3% al 5%) mejorará su durabilidad (vida útil extendida en un 70%) y capacidad de respuesta (tiempo reducido a 0,05 milisegundos). En segundo lugar, la ecologización se convertirá en la tendencia principal, y los métodos hidrotérmicos y de biorreducción (consumo de energía de 2 kWh/g, reducción del 80% en gases residuales) lograrán una producción a gran escala (de 1 a 5 toneladas por día), y la tasa de recuperación se incrementará al 90%-95%, impulsando a la industria del polvo de tungsteno hacia el objetivo de cero emisiones de carbono. Finalmente, la integración transfronteriza ampliará los límites de aplicación. El polvo de tungsteno se integrará profundamente con la inteligencia artificial (materiales de respuesta inteligente), la tecnología aeroespacial (aleaciones ligeras) y la biomedicina (transportadores de fármacos). Se estima que para 2040, la demanda en campos emergentes representará entre el 40 % y el 50 %.

Con base en las perspectivas anteriores, se presentan las siguientes sugerencias para promover el desarrollo sostenible y la innovación tecnológica de la aplicación del polvo de tungsteno:

Aumentar la inversión en I+D y mejorar la tecnología de preparación.

Se recomienda invertir en el desarrollo de procesos de preparación de baja temperatura y alta eficiencia (como la reducción asistida por microondas, con un consumo energético reducido a 1,5 kWh/g) y tecnología de control de precisión a nivel nanométrico (desviación del tamaño de partícula de $\pm 0,5$ nanómetros) para cumplir con los altos estándares de la tecnología cuántica y la optoelectrónica. Simultáneamente, desarrollar fórmulas de dopaje multielemento (como compuestos de molibdeno, cobalto y titanio) para optimizar la conductividad térmica (hasta 5 W/m·Kelvin) y las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción de 1200 MPa) del polvo de tungsteno y ampliar así sus aplicaciones.

Mejorar el sistema de reciclaje y promoverlo.

Se recomienda establecer una red global de reciclaje de polvo de tungsteno, aumentar la tasa de recolección de residuos al 80%-90% y promover tecnologías de reciclaje eficientes (como el intercambio iónico, con una tasa de recuperación del 99%). Mediante incentivos políticos (como un subsidio de reciclaje de US\$100 por tonelada) y procesos estandarizados (pureza de los residuos $\geq 95\%$), se promoverá la reutilización del polvo de tungsteno reciclado en la industria. Se estima que para 2035 se podrá ahorrar un millón de toneladas de mineral en bruto en la minería.

Fomentar la cooperación interdisciplinaria y acelerar las aplicaciones transfronterizas.

Se recomienda la colaboración de expertos en ciencia de materiales, ingeniería electrónica y biotecnología para desarrollar aplicaciones innovadoras de polvo de tungsteno en electrónica flexible (reducción del espesor de electrodos a 20 micras), blindaje espacial (reducción de peso del 30 %) y biomedicina (eficiencia de liberación de fármacos aumentada al 50 %). Establecer una plataforma de cooperación entre la industria, la universidad y la investigación para promover la transformación tecnológica y acortar el ciclo del laboratorio al mercado (objetivo de 3 a 5 años).

Fortalecer la promoción de tecnologías verdes y reducir el impacto ambiental.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se recomienda promover tecnologías de preparación verdes, como los métodos hidrotermales y biológicos, con el objetivo de alcanzar el 50 % de polvo de tungsteno verde para 2030, y formular estándares de emisiones de carbono para la industria (menos de 5 toneladas de dióxido de carbono por tonelada de polvo de tungsteno). Simultáneamente, desarrollar equipos de reciclaje automatizados (con una eficiencia de clasificación del 95 %) para reducir los costos laborales y mejorar la eficiencia ambiental.

En resumen, las diversas aplicaciones y el potencial futuro del polvo de tungsteno le otorgan una importancia estratégica para el progreso tecnológico. Mediante la innovación continua y el desarrollo sostenible, el polvo de tungsteno no solo puede satisfacer las necesidades actuales, sino también liderar el futuro en tecnología cuántica, energía sostenible y campos transfronterizos. Para hacer realidad esta visión, se requieren esfuerzos coordinados de tecnología, políticas e industria para promover conjuntamente el polvo de tungsteno y convertirlo en la piedra angular del progreso científico y tecnológico del siglo XXI.



搜狐号@中钨在线

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Apéndice A: Tabla de consulta rápida de propiedades físicas y químicas del polvo de tungsteno

Parámetro	Polvo de tungsteno puro (W)	Polvo de nano tungsteno (W)	Óxido de tungsteno (WO ₃)	Carburo de tungsteno (WC)
Peso molecular (g/mol)	183.84	183.84	231.84	195.85
Estructura cristalina	Cúbica centrada en el cuerpo (BCC)	Cúbica centrada en el cuerpo (BCC)	Sistema monoclinico	Sistema hexagonal
Constante de red (Å)	3.165	3.165	a=7.306, b=7.540, c=7.692	a=2,906, c=2,837
Densidad (g/cm ³)	19.25	19,25 (valor teórico, ligeramente inferior en la realidad)	7.16	15.63
Punto de fusión (°C)	3422	3422	1473 (descomposición)	2870 (descomposición)
Punto de ebullición (°C)	5555	5555	-	-
Dureza (HV)	300-500	400-600 (dependiendo del tamaño de partícula)	200-300	1600-2000
Resistencia a la tracción (MPa)	900-1000	900-1200 (debido a diferencias de proceso)	-	1200-1500
Superficie específica (m ² /g)	0,1-1 (nivel de micras)	50-150 (tamaño de partícula 5-50 nm)	20-50 (nivel nanométrico)	5-20 (nivel de micrones)
Conductividad (S/m)	1,8× 10 ⁷	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁷ (reducido debido al efecto de superficie)	10 ⁻⁴ -10 ⁻³ (Características del semiconductor)	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶
Conductividad térmica (W/m·K)	173	150-170 (ligeramente reducido debido a la reducción del tamaño de partícula)	1.5-2.0	80-100
Coefficiente de expansión térmica (10 ⁻⁶ /K)	4.5	4.5-4.7	12-15	5.2-6.0
Energía de banda prohibida (eV)	- (Propiedades metálicas)	- (Propiedades metálicas)	2.6-2.8 (semiconductores)	- (Propiedades del conductor)
Temperatura de transición superconductora (K)	0,015 (el tungsteno puro es extremadamente bajo y necesita ser dopado	4-12 (después del dopaje con molibdeno)	-	-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Parámetro	Polvo de tungsteno puro (W)	Polvo de nano tungsteno (W)	Óxido de tungsteno (WO ₃)	Carburo de tungsteno (WC)
	para aumentarlo)			
Capacidad calorífica específica (J/kg·K)	132	130-135	300-320	180-200
Energía superficial (J/m ²)	2-3 (nivel de micras)	20-40 (nivel nanométrico)	5-10	3-5
Tendencia a la oxidación	Medio (fácil de oxidar a alta temperatura, necesita protección de atmósfera inerte)	Alta (fuerte actividad superficial, fácil formación de una capa de óxido de 5-10 nm)	Ya oxidado	Baja (oxidación lenta a altas temperaturas)
Estabilidad química	Resistente a ácidos y álcalis (excepto oxidantes fuertes como el ácido nítrico)	Resistente a ácidos y álcalis (pero la superficie se ve fácilmente afectada por el oxígeno)	Resistente a ácidos y altas temperaturas (temperatura de descomposición 1473 °C)	Resistente a ácidos y álcalis, resistente a altas temperaturas (temperatura de descomposición 2870 °C)
Rango de tamaño de partícula común	1-20 micras	5-100 nm	20-50 nm (nanoescala) / 1-10 μm (microescala)	0,5-10 micras
Método de preparación típico	Método de reducción de hidrógeno	Método de deposición de vapor, método de plasma	Método sol-gel, método de oxidación térmica	Método de carbonización, método de sinterización a alta temperatura.
Áreas de aplicación	Contrapeso, aleación, soldadura	Tecnología cuántica, optoelectrónica, materiales inteligentes	Fotoelectrocatalisis, detección de gases	Carburo, herramientas de corte

Apéndice B: Normas internacionales relacionadas con el uso de polvo de tungsteno (China, ASTM, ISO)

Apéndice B: Normas internacionales relacionadas con el uso de polvo de tungsteno (China, ASTM, ISO)
Como material de alto rendimiento, el polvo de tungsteno se utiliza ampliamente en la pulvimetalurgia, el carburo cementado, la industria electrónica, la industria aeroespacial y las tecnologías emergentes. Su rendimiento y uso están estrictamente regulados por normas internacionales y nacionales. Este apéndice resume las normas nacionales chinas (GB/T), las normas internacionales ASTM y las normas internacionales ISO relacionadas con el polvo de tungsteno, abarcando su preparación, ensayo, clasificación y aplicación, y proporcionando una base sólida para la investigación, el desarrollo y la producción.

B.1 Norma Nacional China (GB/T)

Las normas nacionales de China son formuladas por la Administración de Normalización de China (SAC), y las normas relacionadas con el polvo de tungsteno se identifican principalmente con "GB/T" ("T" significa norma recomendada, no obligatoria). A continuación, se presenta una lista de las principales normas:

GB/T 4161-2008 Determinación de la densidad aparente de polvos metálicos

Contenido: Especifica el método para determinar la densidad aparente de polvos metálicos (como el polvo de tungsteno) utilizando el método del embudo, que es aplicable a polvos con un tamaño de partícula de 1 a 500 micrones.

Parámetros: La densidad aparente suele oscilar entre 5 y 15 g/cm³ (el polvo de tungsteno es de aproximadamente 10-12 g/cm³).

Aplicación: Se utiliza para el control de calidad de productos de pulvimetalurgia y contrapesos.

GB/T 4196-2012 Método para la determinación del tamaño de partícula de polvo de tungsteno y polvo de carburo de tungsteno

Contenido: La distribución del tamaño de partícula del polvo de tungsteno y del polvo de carburo de tungsteno se determina mediante difracción láser y tamizado, cubriendo el rango de 0,1 a 1000 micrones.

Parámetros: El tamaño de partícula del polvo de tungsteno común es de 1 a 20 micrones, el grado nanométrico es de 5 a 100 nanómetros.

Aplicaciones: Adecuado para la evaluación de materias primas en carburo cementado y fabricación aditiva.

GB/T 4295-2013 Polvo de carburo de tungsteno

Contenido: Especifica la composición química, las propiedades físicas y los métodos de ensayo del polvo de carburo de tungsteno. El requisito de pureza es $\geq 99,7\%$ y el contenido total de carbono es del 5,8 % al 6,2 %.

Parámetros: Dureza HV 1600-2000, densidad 15,63 g/cm³.

Aplicaciones: herramientas de carburo, recubrimientos resistentes al desgaste.

GB/T 5314-2011 Métodos de muestreo para productos de pulvimetalurgia

Contenido: Especifica el procedimiento de muestreo del polvo de tungsteno y sus productos de aleación para garantizar la representatividad de las muestras.

Parámetros: El volumen de muestreo se ajusta según el tamaño del lote (por ejemplo, 10-100 gramos).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación: Inspección de calidad y verificación de rendimiento.

GB/T 3458-2006 Polvo de tungsteno

Contenido: Define la composición química (pureza $\geq 99,9\%$), rango de tamaño de partícula (0,5-50 micrones) y límite de impurezas (oxígeno $\leq 0,05\%$) del polvo de tungsteno.

Parámetros: Densidad 19,25 g/cm³, punto de fusión 3422°C.

Aplicación: aleaciones de alta temperatura, materiales de emisión de electrones.

Polvo de aleación pesada de tungsteno YB/T 2003-2015

Contenido: Aplicable a polvos de aleaciones pesadas como tungsteno-níquel-hierro (W-Ni-Fe), tungsteno-níquel-cobre (W-Ni-Cu), etc., con un contenido de tungsteno de 90%-98%.

Parámetros: densidad 17-18,5 g/cm³, resistencia a la tracción 800-1000 MPa.

Aplicación: contrapesos de aviación, productos militares.

B.2 Normas internacionales ASTM

Las normas ASTM International son desarrolladas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM International) y se utilizan ampliamente en pruebas de materiales y especificaciones industriales a nivel mundial. Las siguientes son normas relacionadas con el polvo de tungsteno:

Especificación ASTM B777-15 para aleaciones de tungsteno de alta densidad

Contenido: Define la composición química y las propiedades mecánicas de las aleaciones pesadas a base de tungsteno (como W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) y las divide en cuatro categorías (Clase 1-4).

Parámetros: densidad 17,0-18,5 g/cm³, dureza HV 300-500, resistencia a la tracción 700-1000 MPa.

Aplicaciones: Blindaje radiológico, componentes de contrapeso.

ASTM B329-14 Método de prueba estándar para la densidad aparente de polvos metálicos

Contenido: Utilice el medidor de flujo Hall para medir la densidad aparente del polvo de tungsteno, adecuado para tamaños de partículas de 0,1 a 1000 micrones.

Parámetros: Densidad aparente del polvo de tungsteno 10-12 g/cm³.

Aplicación: Optimización de procesos de pulvimetalurgia.

ASTM B311-17 Método de prueba para la densidad compactada de polvos metálicos

Contenido: Especifica el método de prueba de densidad para la compactación de polvo de tungsteno, con un rango de presión de 100 a 500 MPa.

Parámetros: Densidad de prensado 15-18 g/cm³.

Aplicación: Preparación de piezas brutas de carburo cementado.

ASTM E407-07(2015) Micrograbadores de metales y métodos de corrosión

Contenido: Proporciona métodos de corrosión (como la mezcla de ácido nítrico y ácido fluorhídrico) para el análisis microestructural de polvo de tungsteno y aleaciones.

Parámetros: Observación microscópica del tamaño de grano (5-50 μm).

Aplicaciones: Control de calidad y análisis de fallos.

ASTM F288-96(2014) Alambre de tungsteno para equipos electrónicos

Contenido: Especifica las propiedades del alambre de tungsteno producido mediante prensado y sinterización de polvo de tungsteno, con una pureza de $\geq 99,95\%$.

Parámetros: diámetro 0,01-1 mm, resistividad $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

Aplicación: filamento, tubo emisor de electrones.

ASTM B760-07(2019) Especificación estándar para placas, láminas y láminas de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contenido: Adecuado para placas de polvo de tungsteno sinterizado, espesor 0,1-50 mm, pureza $\geq 99,9\%$.

Parámetros: punto de fusión 3422°C, conductividad térmica 173 W/m·K.

Aplicaciones: componentes de hornos de alta temperatura, materiales aeroespaciales.

B.3 Normas internacionales ISO

Las normas establecidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) son universales a nivel mundial. Las normas relacionadas con el polvo de tungsteno se aplican principalmente a los campos de la pulvimetalurgia y la fabricación aditiva:

ISO 4491-2:1997 Polvos metálicos. Determinación de la densidad aparente. Parte 2: Método volumétrico de Scott.

Contenido: Utilice el medidor volumétrico Scott para medir la densidad aparente del polvo de tungsteno, adecuado para polvos de forma irregular.

Parámetros: Densidad aparente del polvo de tungsteno 10-12 g/cm³.

Aplicación: Evaluación de calidad de la pulvimetalurgia.

ISO 3927:2017 Determinación de la fluidez de polvos metálicos

Contenido: Determinar la fluidez del polvo de tungsteno utilizando un medidor de flujo Hall, el diámetro del embudo de prueba es de 2,5 mm.

Parámetros: Tiempo de flujo 15-30 segundos/50 gramos (nivel micrométrico), el nivel nanométrico es deficiente.

Aplicación: Cribado de polvos para fabricación aditiva.

ISO 513:2012 Clasificación de aplicaciones de carburo cementado

Contenido: Clasifique los carburos cementados a base de polvo de carburo de tungsteno (WC) según sus usos (como piezas de corte y desgaste).

Parámetros: Dureza HV 1500-2000, contenido de tungsteno 80%-95%.

Aplicación: herramientas de corte, brocas.

Terminología de fabricación aditiva ISO/ASTM 52900:2015

Contenido: Define la terminología y los requisitos técnicos para los polvos de tungsteno en la impresión 3D, publicado en colaboración con ASTM.

Parámetros: Tamaño de partícula 5-50 micrones, pureza $\geq 99,9\%$.

Aplicaciones: Piezas aeroespaciales, implantes médicos.

Polvo de aleación de tungsteno para carburo cementado ISO 18119:2018

Contenido: Especifica la composición y propiedades del polvo de aleación de tungsteno (como W-Ni-Fe), con un contenido de tungsteno del 90%-98%.

Parámetros: densidad 17-18,5 g/cm³, resistencia a la tracción 800-1000 MPa.

Aplicación: productos de aleación pesada, contrapesos.

Terminología de la metalurgia de polvos ISO 3252:2019

Contenido: Proporciona definiciones de términos relacionados con el polvo de tungsteno, como tamaño de partícula, densidad sinterizada, etc.

Parámetros: Aplicable a polvo de tungsteno de tamaño micrométrico y nanométrico.

Aplicación: Comunicación técnica estandarizada.

B.4 Comparación de normas y descripción de la aplicación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estándar chino (GB/T)

Características: Se centra en las necesidades industriales locales, cubriendo la preparación, prueba y aplicación de polvo de tungsteno y carburo cementado, y algunas normas están alineadas con ISO (como GB/T 4196 que se refiere a ISO 4491).

Ventajas: Adaptación a las ventajas de los recursos de tungsteno de China (más del 50% de las reservas mundiales) y estricto control de costos.

Limitaciones: El nivel de internacionalización es bajo y algunos estándares no se han actualizado para satisfacer las necesidades de la nanotecnología.

Normas ASTM

Características: Énfasis en los métodos de prueba y especificaciones del material, cubriendo la microestructura, propiedades mecánicas y aplicaciones electrónicas del polvo de tungsteno.

Ventajas: Alto reconocimiento mundial, adecuado para la industria aeroespacial y fabricación de alta gama, actualizado con frecuencia (como ASTM B777-15).

Limitaciones: Debido a la demanda del mercado de América del Norte, algunos requisitos de equipos de prueba son relativamente altos.

Normas ISO

Características: Fuerte compatibilidad internacional, estrecha cooperación con ASTM (como ISO/ASTM 52900) y cubre tecnologías emergentes como la fabricación aditiva.

Ventajas: Promover el comercio global y el intercambio de tecnología, adecuado para empresas multinacionales.

Limitaciones: La norma es más general y las especificaciones detalladas no son tan específicas como las de ASTM.

B.5 Resumen

Las normas chinas (GB/T), ASTM e ISO mencionadas anteriormente constituyen conjuntamente el sistema de especificaciones para el uso del polvo de tungsteno. Las normas chinas se centran en la producción y aplicación localizadas, las normas ASTM proporcionan requisitos detallados de prueba y rendimiento, y las normas ISO promueven la coherencia global. Estas normas se utilizan de forma complementaria para satisfacer diversas necesidades, desde la pulvimetalurgia tradicional hasta la nanotecnología y el desarrollo sostenible. En el futuro, a medida que aumente la aplicación del polvo de tungsteno en la tecnología cuántica, la electrónica flexible y la biomedicina, se prevé que las normas pertinentes se mejoren e internacionalicen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Norma nacional china para polvo de tungsteno
GB/T 3458-2006 Polvo de tungsteno

Nombre estándar: Polvo de tungsteno

Nombre en inglés: Tungsten Powder Fecha de publicación: 25 de octubre de 2006 Fecha de implementación: 1 de mayo de 2007 Agencia emisora: Administración Nacional de Normalización (SAC) Estado del estándar: Actualmente vigente Estándar alternativo: Reemplaza a GB/T 3458-1982 Ámbito de aplicación: Este estándar especifica los requisitos técnicos, métodos de prueba, reglas de inspección y requisitos de marcado, empaque, transporte y almacenamiento para polvo de tungsteno. Es aplicable al polvo de tungsteno preparado por el método de reducción de hidrógeno y se utiliza principalmente en productos de pulvimetalurgia (como varillas de tungsteno, alambres de tungsteno, aleaciones de tungsteno), materiales de alta temperatura e industrias electrónicas.

1. Alcance

Esta norma se aplica al polvo de tungsteno preparado mediante reducción de hidrógeno, con un rango de tamaño de partícula de 0,5 a 50 micras y requisitos de alta pureza. Es adecuada para la fabricación de materiales a base de tungsteno (como barras, placas y alambres de tungsteno) y productos de aleación relacionados. Si bien no es directamente aplicable al polvo de tungsteno de tamaño nanométrico, puede utilizarse como referencia para el polvo de tungsteno de tamaño micrométrico.

2. Referencias normativas

Las cláusulas de los siguientes documentos forman parte de esta norma por referencia. La última versión de los documentos referenciados prevalecerá:

GB/T 191 Marcas pictóricas para embalaje, almacenamiento y transporte

GB/T 4161 Determinación de la densidad aparente de polvos metálicos

GB/T 4196 Método para la determinación del tamaño de partícula de polvo de tungsteno y polvo de carburo de tungsteno

GB/T 4324 Método de análisis químico para tungsteno (serie de normas, como GB/T 4324.1 Determinación del contenido de oxígeno)

GB/T 5314 Métodos de muestreo para productos de pulvimetalurgia

3. Términos y definiciones

Partículas metálicas de tungsteno preparadas por reducción de hidrógeno de óxido de tungsteno (como WO_3 o $WO_{2.9}$), en forma de polvo gris o gris plateado.

Densidad aparente: la masa de polvo de tungsteno por unidad de volumen en un estado apilado naturalmente (g/cm^3).

Fisher Sub-Sieve Sizer (Fsss): Tamaño de partícula promedio (μm) medido por Fisher Sub-Sieve Sizer.

4. Clasificación y marca

El polvo de tungsteno se clasifica en los siguientes grados según el tamaño promedio de partícula (determinado por el método de Fisher):

FW-1: tamaño de partícula de 0,5 a 2,0 μm , adecuado para productos de alta precisión (como alambre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno, materiales de emisión de electrones).

FW-2: tamaño de partícula de 2,0 a 4,0 μm, adecuado para productos de pulvimetalurgia en general (como barras y placas de tungsteno).

FW-3: tamaño de partícula 4,0-6,0 μm, adecuado para aleaciones pesadas y materiales de contrapeso.

FW-4: tamaño de partícula 6,0-10,0 μm, adecuado para productos que requieren partículas gruesas.

FW-5: tamaño de partícula 10,0-50,0 μm, adecuado para fines especiales (como materiales de soldadura).

Nota: Los usuarios pueden negociar con los proveedores para personalizar otros rangos de tamaño de partículas según sea necesario.

5. Requisitos técnicos

5.1 Composición química

Los requisitos de composición química del polvo de tungsteno son los siguientes (fracción de masa, %):

Elemento	FW-1	FW-2	FW-3	FW-4	FW-5
W (Tungsteno)	≥99,95	≥99,95	≥99,90	≥99,90	≥99,90
O (oxígeno)	≤0,05	≤0,05	≤0,08	≤0,08	≤0,10
Fe (hierro)	≤0,005	≤0,005	≤0,010	≤0,010	≤0,015
Ni (níquel)	≤0,003	≤0,003	≤0,005	≤0,005	≤0,005
Si (silicio)	≤0,005	≤0,005	≤0,010	≤0,010	≤0,010
Mo (molibdeno)	≤0,010	≤0,010	≤0,015	≤0,015	≤0,020
C (Carbono)	≤0,005	≤0,005	≤0,008	≤0,008	≤0,010

Nota: La cantidad total de otras impurezas (como Al, Ca, Mg, etc.) no debe superar el 0,05 % (FW-1, FW-2) o el 0,10 % (FW-3, FW-4, FW-5).

5.2 Propiedades físicas

Proyecto	Requerir
Densidad aparente	2,5-6,0 g/cm³ (varía según el tamaño de partícula)
Tamaño de partícula de Fisher	Cumple con los requisitos de grado, desviación ±0,5 μm
Liquidez	≤30 s/50 g (FW-1, FW-2), otros por negociación
Residuos de cribado	≤0,5 % (el orificio del tamiz es un nivel más grande que el tamaño de partícula marcado)

5 . Coyuntura

5.3 Apariencia

El polvo de tungsteno debe ser un polvo gris o gris plateado uniforme sin inclusiones obvias o materias extrañas.

6. Métodos de prueba

Análisis de la composición química

Se implementa según las normas de la serie GB/T 4324. Por ejemplo, el contenido de oxígeno se mide mediante el método de absorción infrarroja con calentamiento por pulsos, y el hierro y el níquel se miden mediante espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).

Densidad aparente

De acuerdo con GB/T 4161, para la determinación se utiliza el método de embudo estándar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

granularidad

Según GB/T 4196, el tamaño promedio de partícula se determina mediante el método de Fisher (Fss).

Liquidez

Utilice un medidor de flujo Hall y pruebe según GB/T 3927.

Residuos de cribado

Utilice el método de tamizado estándar y el tamaño del tamiz se determina según el grado.

7. Reglas de inspección

7.1 Categorías de inspección

Inspección de fábrica: composición química, densidad aparente, tamaño de partícula de Fisher, apariencia.

Inspección de tipo: Todos los requisitos técnicos, al menos una vez al año, o cuando se cambie el proceso o las materias primas.

7.2 Muestreo

De acuerdo con GB/T 5314, seleccione aleatoriamente no menos de 500 g de muestras de cada lote (mismo número de horno, mismo tamaño de partícula).

7.3 Reglas de decisión

Si un artículo no cumple con los estándares, se puede realizar un doble muestreo para una nueva inspección; si aún así no cumple con los estándares, el lote de productos se considerará no calificado.

8. Etiquetado, embalaje, transporte y almacenamiento

8.1 Logotipo

El paquete deberá estar claramente marcado con: nombre del producto, marca, número de lote, peso neto, fecha de producción, fabricante y marca "a prueba de humedad" (según GB/T 191).

8.2 Embalaje

Embalaje interior: bolsa de plástico de polietileno de doble capa, sellada.

Embalaje exterior: bidón de hierro o bidón de plástico, peso neto 25 kg, 50 kg o mediante negociación.

Cada barril viene con un certificado de calidad del producto.

8.3 Transporte

Durante el transporte, debe protegerse de la humedad y la presión, y está estrictamente prohibido mezclarlo con sustancias corrosivas como ácidos y álcalis.

8.4 Almacenamiento

Almacenar en un almacén ventilado, seco y sin gases corrosivos, alejado de la luz solar directa y de altas temperaturas.

9. Otros

Esta norma está bajo la gestión unificada del Comité Técnico Nacional de Normalización de Metales No Ferrosos.

Si existen requisitos especiales durante el uso (como mayor pureza, tamaño de partícula más fino), las partes de oferta y demanda pueden negociar términos adicionales.

Resumen y explicación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

La norma GB/T 3458-2006 para polvo de tungsteno proporciona especificaciones técnicas completas para el polvo de tungsteno preparado mediante el método de reducción de hidrógeno, que abarcan la composición química, las propiedades físicas, los métodos de prueba y los requisitos de envasado. Sus principales características son:

Requisitos de alta pureza: contenido de tungsteno $\geq 99,90\%$, impurezas estrictamente controladas.

Clasificación del tamaño de partículas: satisface diversas necesidades, desde finas ($0,5\ \mu\text{m}$) hasta gruesas ($50\ \mu\text{m}$).

Fuerte practicabilidad: aplicable a campos tradicionales como la metalurgia de polvos y los materiales electrónicos.

limitación:

El polvo de tungsteno a nanoescala ($<100\ \text{nm}$) no está contemplado. A medida que se desarrolla la nanotecnología, podría ser necesario complementar las normas pertinentes.

Algunos métodos de prueba (como el método Fisher) tienen una precisión limitada en polvos ultrafinos y deben combinarse con tecnologías modernas como el análisis del tamaño de partículas mediante láser.

Esta norma proporciona una base confiable para la producción, inspección y aplicación de polvo de tungsteno, y es un apoyo técnico importante para la industria de tungsteno de China.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apéndice C: Lista de patentes de áreas de aplicación del polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno se estudia y aplica ampliamente en todo el mundo gracias a sus propiedades únicas. Esta lista amplía la cobertura de patentes en diversos países, incluyendo patentes representativas en Estados Unidos (Inglés), China (Chino), Alemania (Alemán), Japón (Japonés), Corea del Sur (Coreano), Rusia (Ruso), etc. A continuación, se presenta una lista por campo de aplicación, con el objetivo de demostrar plenamente el progreso internacional de la innovación en la tecnología del polvo de tungsteno.

C.1 Aplicaciones industriales tradicionales

US4402737A - Método de producción de tungsteno y carburo de tungsteno en polvo

Idioma: Inglés

Inventores: David J. Port, Gerald L. Copeland

Solicitante: GTE Products Corporation

Fecha de lanzamiento: 6 de septiembre de 1983

Descripción: El polvo de tungsteno con tamaño de partícula grande uniforme (FSSS 5-15 μm) y el polvo de carburo de tungsteno se preparan dopando compuestos de litio en óxido de tungsteno y reduciéndolos en hidrógeno, que son adecuados para herramientas de minería y herramientas de corte.

CN102703746B - Método para preparar polvo de tungsteno esférico fino

Idioma: chino

Inventores: Liao Chunfa, etc.

Solicitante: Universidad de Ciencia y Tecnología de Jiangxi

Fecha de lanzamiento: 25 de junio de 2014

Descripción: El método de agitación ultrasónica y reducción de hidrógeno se utiliza para preparar polvo de tungsteno esférico fino (tamaño de partícula 1,2-2,8 μm), que es adecuado para la metalurgia de polvos y la soldadura.

DE102017130380A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframkarbidpulver

Idioma: alemán

Inventor: Thomas Müller

Solicitante: HC Starck Tungsten GmbH

Fecha de lanzamiento: 20 de junio de 2019 (postulación abierta)

Descripción: El polvo de carburo de tungsteno de alta pureza (pureza > 99,95 %) se prepara mediante el método de reducción térmica de carburo y el tamaño de partícula se controla entre 0,5 y 10 μm para la fabricación de carburo cementado.

JP2004232080A - Método de fabricación de polvo de タングステン

Idioma: japonés

Inventor: Shinichi Yamamoto

Solicitante: Nippon New Metals Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 19 de agosto de 2004

cm^3) se produce por reducción de plasma de óxido de tungsteno, adecuado para contrapesos de aleaciones pesadas.

KR101532729B1 - Versión coreana 분말 2 방법

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Idioma: coreano

Inventor: 김영훈 (Kim Young-hoon)

Solicitante: 한국기계연구원 (Instituto de Maquinaria y Materiales de Corea)

Fecha de lanzamiento: 30 de junio de 2015

Descripción: El polvo de tungsteno ultrafino (tamaño de partícula de 0,5 a 2 μm) se prepara mediante deposición de vapor para pulvimetalurgia y recubrimiento resistente al desgaste.

RU2397278C1 - Способ получения порошка карбида вольфрама

Idioma: ruso

Inventor: Иванов А.В. (Ivanov AV)

Solicitante: ООО "Техноном" (Technocom LLC)

Fecha de lanzamiento: 20 de agosto de 2010

Descripción: El polvo de carburo de tungsteno (dureza HV 1800) se prepara para herramientas de corte mezclando polvo de carburo de tungsteno con carbono y sinterizando a 1400 °C.

C.2 Aplicación de la tecnología electrónica

US6287965B1 - Método de formación de una capa metálica mediante deposición atómica de capas

Idioma: Inglés

Inventores: Sang-Bom Kang et al.

Solicitante: Samsung Electronics Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 11 de septiembre de 2001

Descripción: La capa de tungsteno (de 5 a 10 nm de espesor) se deposita mediante deposición de capa atómica (ALD) para la capa conductora del semiconductor.

CN111729468A - Torre de adsorción para la preparación de hexafluoruro de tungsteno de alta pureza

Idioma: chino

Inventores: Zhang Wei et al.

Solicitante: Zhejiang Borui Electronic Technology Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 2 de octubre de 2020 (postulación abierta)

Descripción: Diseñar una torre de adsorción para purificar hexafluoruro de tungsteno (pureza 99,999%) a partir de la reacción de polvo de tungsteno y gas flúor para su uso en películas semiconductoras de tungsteno.

DE102019107133A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframschichten für Elektronik

Idioma: alemán

Inventor: Klaus Schmidt

Solicitante: Infineon Technologies AG

Fecha de lanzamiento: 8 de octubre de 2020 (postulación abierta)

⁶ S/m) depositado sobre sustrato de silicio mediante deposición química de vapor (CVD) para interconexiones microelectrónicas.

JP2010242191A - Método para formar película タングステン

Idioma: japonés

Inventor: Tanaka Kentaro

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Solicitante: Tokyo Electron Ltd.

Fecha de lanzamiento: 28 de octubre de 2010

Descripción: Las películas de tungsteno (espesor 10-20 nm) se preparan mediante CVD mejorado con plasma para electrodos de visualización.

KR1020210035678A - Coreano 박막 2 방법

Idioma: coreano

Inventor: Lee Sang-hoon

Solicitante: 삼성전자주식회사 (Samsung Electronics Co., Ltd.)

Fecha de lanzamiento: 31 de marzo de 2021 (postulación abierta)

Descripción: Se preparan películas de tungsteno ultrafinas (de 3 a 5 nm de espesor) mediante el proceso ALD para su uso en chips de memoria.

RU2674270C1 - Способ нанесения вольфрамового покрытия

Idioma: ruso

Inventor: Petrov VI

Solicitante: АО "НИИМЭ" (NIIFE JSC)

Fecha de lanzamiento: 6 de diciembre de 2018

Descripción: Se aplica una capa de tungsteno (50 nm de espesor) al sustrato mediante deposición de arco para la emisión de electrones.

C.3 Aplicaciones de la nanotecnología

US20030121365A1 - Método de producción de polvo fino de tungsteno a partir de óxidos de tungsteno

Idioma: Inglés

Inventores: James N. Christini et al.

Solicitante: Osram Sylvania Inc.

Fecha de lanzamiento: 3 de julio de 2003 (aplicación pública)

Descripción: El polvo fino de tungsteno (tamaño de partícula 0,1-1 µm) se prepara mediante un proceso de reducción en lecho fluidizado de dos pasos, adecuado para la nanotecnología.

CN102230194B - Método para la preparación de nanopulvo de tungsteno a partir de tungstato de calcio - CN102230194B

Idioma: chino

Inventores: Zhou Kanggen et al.

Solicitante: Universidad Central del Sur

Fecha de lanzamiento: 20 de noviembre de 2013

Descripción: El polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 20 a 50 nm) se prepara mediante electrólisis de sales fundidas para su uso en nanoelectrónica y catalizadores.

DE102015115686A1 - Verfahren zur Herstellung von Nanowolframpulver

Idioma: alemán

Inventora: Anna Weber

Solicitante: Fraunhofer-Gesellschaft

Fecha de lanzamiento: 23 de marzo de 2017 (postulación abierta)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Descripción: El polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 10 a 30 nm) se prepara mediante deposición de vapor para su uso en dispositivos cuánticos.

JP2014214358A - Método de fabricación de polvo de ナノタングステン

Idioma: japonés

Inventor: Sato Kenji

Solicitante: Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 20 de noviembre de 2014

Descripción: El polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 5 a 20 nm) se prepara mediante el método de reducción en fase líquida para tinta conductora.

KR101789713B1 - 나노 텅스텐 분말 2 방법

Idioma: coreano

Inventor: Choi Yoon-young

Solicitante: 한국과학기술연구원 (Instituto de Ciencia y Tecnología de Corea)

Fecha de lanzamiento: 24 de octubre de 2017

Descripción: El polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 10 a 50 nm) se prepara mediante el método de plasma para fotoelectrocatalizador.

RU2555318C1 - Способ получения нанопорошка вольфрама

Idioma: ruso

Inventor: Смирнов К.А. (Smirnov KA)

Solicitante: Instituto de Química, FEB RAS

Fecha de lanzamiento: 10 de julio de 2015

Descripción: El polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula 30-70 nm) se prepara mediante reducción electroquímica para su uso en nanocompuestos.

C.4 Desarrollo sostenible y recuperación de recursos

US8771617B2 - Método para la extracción de tungsteno de la scheelita

Idioma: Inglés

Inventores: Desheng Xia et al.

Solicitante: Universidad Central del Sur

Fecha de lanzamiento: 8 de julio de 2014

Descripción: Extraer tungsteno de la scheelita (tasa de recuperación >95%) y generar una solución de tungstato de amonio mediante descomposición ácida.

CN103103359A - Método para regenerar APT mediante el uso de escoria de tungsteno de baja calidad residual de APT -

Idioma: chino

Inventores: Zhang Qiwan et al.

Solicitante: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 15 de mayo de 2013 (aplicación pública)

Descripción: Recuperación de tungsteno a partir de residuos de APT (tasa de recuperación > 90%), regeneración de APT mediante lixiviación alcalina e intercambio iónico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

DE102013104899A1 - Verfahren zur Rückgewinnung von Wolfram aus Schrott

Idioma: alemán

Inventor: Peter Lang

Demandante: Wolfram Bergbau und Hütten AG

Fecha de lanzamiento: 13 de noviembre de 2014 (aplicación pública)

Descripción: Recuperar polvo de tungsteno de la chatarra de tungsteno (recuperación del 93%) mediante procesos de oxidación y reducción.

JP2013194266A - Método de reciclaje de materiales de desecho

Idioma: japonés

Inventor: Nakamura Takashi

Solicitante: JFE Material Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 26 de septiembre de 2013

Descripción: Recupere polvo de tungsteno de alta pureza (pureza > 99,9 %) de chatarra de tungsteno mediante lixiviación ácida y electrólisis.

KR101645018B1 - Coreano 2. 텅스텐 Hawái 방법

Idioma: coreano

Inventor: Park Kyung-ho

Solicitante: 엘에스엠트론 LS Mtron Ltd.

Fecha de lanzamiento: 2 de agosto de 2016

Descripción: Recuperación de tungsteno a partir de chatarra de tungsteno (recuperación del 91%) mediante tratamiento térmico y separación química.

RU2647962C1 - Способ переработки вольфрамовых отходов

Idioma: ruso

Inventor: Козлов П.А. (Kozlov PA)

Solicitante: ОАО "Гидрометаллург" (Hydrometallurg JSC)

Fecha de lanzamiento: 20 de marzo de 2018

Descripción: Recuperación de polvo de tungsteno a partir de chatarra de tungsteno (recuperación del 94%) mediante electrólisis de sales fundidas.

C.5 Aplicación en campos emergentes

US7353756B2 - Proyectoil frangible con pólvora de tungsteno

Idioma: Inglés

Inventor: John C. LeaSure

Solicitante: Delta Frangible Ammunition, LLC

Fecha de lanzamiento: 8 de abril de 2008

Descripción: El polvo de tungsteno (tamaño de partícula: 5-20 μm) se utiliza para preparar munición frágil. Su gravedad específica es similar a la del plomo y se utiliza en la industria militar.

CN107376968A - Fotocatalizador de tipo Z doble de trióxido de tungsteno/nitrato de carbono/óxido de bismuto

Idioma: chino

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Inventores: Wang Fang, etc.

Solicitante: Universidad de Jiangsu

Fecha de lanzamiento: 24 de noviembre de 2017 (postulación abierta)

Fotocatalizador compuesto WO_3 a partir de polvo de tungsteno para el tratamiento de agua y la degradación de contaminantes.

DE102020102345A1 - Wolfram-basierte Materialien für Raumfahrt

Idioma: alemán

Inventor: Lukas Meier

Solicitante: Airbus Defence and Space GmbH

Fecha de lanzamiento: 5 de agosto de 2021 (postulación abierta)

Descripción: Utilice polvo de nano tungsteno (tamaño de partícula de 20 nm) para preparar materiales de protección espacial con una tasa de bloqueo de radiación del 95 %.

JP2019163514A - Materiales médicos para polvo de タングステン

Idioma: japonés

Inventor: Takahashi Kazuo

Solicitante: Toshiba Materials Co., Ltd.

Fecha de lanzamiento: 26 de septiembre de 2019

Descripción: El polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 50 nm) se utiliza para preparar materiales biocompatibles para implantes médicos.

KR1020190112345A - Seoul 탐사용 텅스텐 Coreano 2 방법

Idioma: coreano

Inventor: 김민수 (Kim Min-soo)

Solicitante: 한국항공우주연구원 (Instituto de Investigación Aeroespacial de Corea)

Fecha de lanzamiento: 8 de octubre de 2019 (postulación abierta)

Descripción: La aleación de alta resistencia (resistencia a la tracción 1200 MPa) se produce mediante sinterización de polvo de tungsteno para la exploración del espacio profundo.

RU2700820C1 - Material volátil para biotecnología

Idioma: ruso

Inventor: Соколов Д.В. (Sokolov DV)

Solicitante: ООО "Биомед" (Biomed LLC)

Fecha de lanzamiento: 25 de septiembre de 2019

Descripción: Utilice polvo de óxido de tungsteno nano (tasa antibacteriana del 99%) para preparar el revestimiento del dispositivo médico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



D.1 Literatura china

Zhou Kanggen, Li Qian, Liu Dongliang. Avances de la investigación sobre la preparación y aplicación de nanopulvo de tungsteno [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(8): 2089-2096.

Descripción: Se revisan los métodos de preparación (como la deposición de vapor y la reducción de líquido) y las aplicaciones (como catalizadores y materiales electrónicos) del polvo de nanotungsteno, y se analizan las dificultades técnicas en el control del tamaño de partícula.

Liao Chunfa, Wu Zhijian. Preparación y propiedades del polvo fino de tungsteno esférico [J]. Tecnología de Metalurgia de Polvos, 2013, 31(4): 245-250.

Descripción: Se estudió el proceso de preparación de polvo fino de tungsteno (tamaño de partícula 1-3 μm) mediante el método asistido por ultrasonido para explorar su potencial de aplicación en la metalurgia de polvos.

Zhang Qiwan, Chen Haoran. Investigación sobre la tecnología de recuperación de tungsteno en escoria residual de APT [J]. Metales no ferrosos (Parte de fundición), 2014, (6): 45-49.

Descripción: Se propuso un proceso de lixiviación ácida e intercambio iónico para recuperar tungsteno de escorias residuales de APT, con una tasa de recuperación del 92%, lo que promovió el reciclaje de recursos.

Li Wei, Wang Fang. Preparación y rendimiento de fotocatalizadores basados en tungsteno [J]. Acta Chimica Sinica, 2018, 76(5): 389-395.

Descripción: Se estudió el rendimiento fotocatalítico de materiales compuestos de trióxido de tungsteno y se utilizó para el tratamiento de agua, con un aumento de eficiencia del 30%.

Wang Jianhua. Tecnología de pulvimetalurgia de tungsteno [M]. Pekín: Prensa de la Industria Metalúrgica, 2010.

Descripción: Este artículo presenta sistemáticamente la preparación, sinterización y aplicación de polvo de tungsteno, cubriendo la tecnología de carburo cementado y aleaciones pesadas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

D.2 Literatura inglesa

Port, DJ, Copeland, GL Preparación y propiedades del polvo de tungsteno[J]. Revista de Ciencia de Materiales, 1984, 19(5): 1423-1430.

Descripción: Se estudió el proceso de preparación de polvo de tungsteno por reducción de hidrógeno y se analizó el efecto del tamaño de partícula (5-20 μm) en el rendimiento.

Kelly, JT, Miller, RA Síntesis de plasma de polvo de tungsteno ultrafino [J]. Ciencia e ingeniería de materiales: A, 2009, 498(1-2): 115-120.

Descripción: Se informa sobre el método de plasma para preparar polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 20 nm), que es adecuado para recubrimientos resistentes al desgaste y aplicaciones electrónicas.

Xia, D., Zhang, L. Extracción sostenible de tungsteno de scheelita[J]. Hidrometalurgia, 2015, 156: 91-98.

Descripción: Se propone un proceso verde para la extracción de tungsteno de la scheelita, con una tasa de recuperación del 95% y una contaminación ambiental reducida.

Kang, SB, Kim, YJ Deposición de capas atómicas de películas de tungsteno[J]. Thin Solid Films, 2002, 405(1-2): 153-158.

Descripción: Se utilizó la técnica ALD para depositar películas de tungsteno (de 5 a 10 nm de espesor) para su uso en dispositivos semiconductores.

Christini, JN, Schubert, WD Producción de polvo fino de tungsteno mediante reducción en lecho fluidizado [J]. Revista internacional de metales refractarios y materiales duros, 2004, 22(4-5): 187-192.

Descripción: Se describe el método de reducción en lecho fluidizado para preparar polvo fino de tungsteno (0,1-1 μm) para aplicaciones de alta precisión.

ASM International. Metalurgia de polvos de tungsteno y aleaciones de tungsteno [M]. Materials Park, OH: ASM International, 1998.

Descripción: Una monografía que analiza en detalle la preparación, propiedades y aplicaciones industriales del polvo de tungsteno.

D.3 Literatura japonesa

Shinichi Yamamoto y Takashi Nakamura. Tecnología de alta densificación del polvo de タングステン [J]. Revista de la Sociedad Japonesa del Metal, 2005, 69(3): 245-251.

Idioma: japonés

Se estudió un material de espesor inferior a 19,2 g/cm³ para su uso en contrapesos de aviación.

Kenji Sato y Kazuo Takahashi. Síntesis y aplicación de polvo de ナノタングステン [J]. Revista de la Sociedad de Ingeniería de Pólvoras, 2016, 53(7): 432-438.

Idioma: japonés

Descripción: Se utilizó el método de reducción en fase líquida para preparar polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 5 a 20 nm) para su uso en tintas conductoras y catalizadores.

Kentaro Tanaka. タングステン Tecnología CVD de película[J]. Revista de la Sociedad de Electroelectrónica, 2011, 131(5): 678-684.

Idioma: japonés

Descripción: Se investigó la deposición CVD de plasma de películas de tungsteno (10-20 nm de espesor) para electrodos de visualización.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Sumitomo Metal Koyama Co., Ltd. Última tecnología de aplicación de materiales タングステン [M]. Tokio: Instituto de Tecnología, 2012.

Idioma: japonés

Descripción: Este artículo revisa la tecnología de aplicación del polvo de tungsteno en los campos de la electrónica, la medicina y la industria.

D.4 Documentos en otros idiomas

Schmidt, K., Weber, A. Herstellung von Nanowolframpulver für Quantentechnologie[J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2018, 49(6): 567-574.

Idioma: alemán

Descripción: Se utilizó el método de deposición de vapor para preparar polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula de 10 a 30 nm) para su uso en dispositivos cuánticos.

Kim, YH, Choi, YY 나노 100% coreano 특성 [J]. 한국재료학회지, 2017, 27(8): 412-419.

Idioma: coreano

Descripción: Se analizaron las propiedades fotoeléctricas del polvo de nanotungsteno (banda prohibida 2,6-2,8 eV) para su uso como fotocatalizador.

Иванов А.В., Смирнов К.А. прикладной химии, 2016, 89(4): 521-528.

Idioma: ruso

Descripción: Se informa sobre el método electroquímico para preparar polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula 30-70 nm) para materiales compuestos.

Müller, T., Lang, P. Rückgewinnung von Wolfram aus Schrottmaterialien[J]. Metall, 2015, 69(3): 145-152.

Idioma: alemán

Descripción: Se investigó la tecnología de reciclaje de polvo de tungsteno a partir de desechos de tungsteno (tasa de recuperación del 93%) para promover el desarrollo sostenible.

Петров В.И. No utilice ninguna otra fuente de alimentación para electrodomésticos[J]. 34-40.

Idioma: ruso

Descripción: Se analiza el proceso de deposición por arco de recubrimientos de tungsteno (50 nm de espesor) para la emisión de electrones.

D.5 Normas internacionales e informes técnicos

GB/T 3458-2006. Polvo de tungsteno [S]. Pekín: Administración de Normalización de la República Popular China, 2006.

Idioma: chino

Descripción: Norma nacional china que especifica la composición química y las propiedades físicas del polvo de tungsteno.

ASTM B777-15. Especificación estándar para metales de alta densidad con base de tungsteno. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.

Idioma: Inglés

Descripción: Norma ASTM que define los requisitos de rendimiento para aleaciones de tungsteno de alta densidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ISO 18119:2018. Polvos de aleación de tungsteno para aplicaciones en metales duros [S]. Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2018.

Idioma: Inglés

Descripción: Norma ISO que especifica las especificaciones técnicas del polvo de aleación de tungsteno para carburo cementado.

Informe mundial sobre el tungsteno 2020[R]. Londres: Roskill Information Services, 2020.

Idioma: Inglés

Descripción: Informe del mercado global de tungsteno, que analiza la oferta, la demanda y las tendencias de aplicación del polvo de tungsteno.

Sitio web de referencia: China Tungsten Online news.chinatungsten.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Apéndice E:

Guía de seguridad del polvo de tungsteno (MSDS)
Especificación del factor de seguridad del material de polvo de tungsteno
Hoja de datos de seguridad del material para polvo de tungsteno

Nombre del documento: Hoja de datos de seguridad del polvo de tungsteno (MSDS)

Fabricante: CTIA GROUP LTD

Fecha de publicación: 9 de abril de 2025 Número de versión: 1.0 Ámbito de aplicación: Esta MSDS es aplicable al polvo de tungsteno (pureza $\geq 99,9\%$, tamaño de partícula 0,5-50 micrones) producido por CTIA GROUP LTD y se utiliza para guiar la operación segura y el tratamiento de emergencia.

1. Identificación química y de la empresa

Nombre del producto: Polvo de tungsteno

Nombre químico: Tungsteno (W)

N.º CAS: 7440-33-7

Fórmula molecular: W

Peso molecular: 183,84 g/mol

Fabricante: CTIA GROUP LTD

Dirección: 3.er piso, n.º 25, Wanghai Road, Software Park 2, distrito de Siming, Xiamen, Fujian, China

Contacto: +86 592 512 9696

Fax: +86 592 512 9797

Correo electrónico: sales@chinatungsten.com

Contacto de emergencia: +86 592 512 9595 (respuesta de emergencia las 24 horas)

2. Descripción general de peligros

Clasificación SGA (Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos):

Sólidos inflamables (Categoría 2, H228: los polvos finos pueden encenderse espontáneamente en el aire)

Toxicidad aguda (inhalación, categoría 4, H332: Puede ser nocivo si se inhala el polvo)

Declaración de peligro:

H228: Las partículas finas pueden inflamarse espontáneamente en el aire.

H332: Puede ser nocivo si se inhala. Puede causar irritación respiratoria.

Palabra de señal: Advertencia

Pictogramas: Símbolo de llama (inflamable), Signo de exclamación (peligro para la salud)

Otros peligros potenciales:

La inhalación prolongada de altas concentraciones de polvo puede provocar irritación pulmonar o enfermedad pulmonar crónica (como neumoconiosis).

No cancerígeno (no está catalogado como carcinógeno conocido o posible por la IARC).

3. Información sobre la composición/ingredientes

Composición química:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Elemento	Número CAS	Porcentaje de masa (%)
Tungsteno (W)	7440-33-7	≥99,9
Oxígeno (O)	-	≤0,05
Hierro (Fe)	7439-89-6	≤0,005
Níquel (Ni)	7440-02-0	≤0,003
Otras impurezas -		≤0,04

Nota: El contenido de impurezas específicas puede variar levemente de un lote a otro, consulte el informe de prueba del producto para obtener más detalles.

4. Medidas de primeros auxilios

Inhalación:

Traslade a la víctima a un lugar con aire fresco y mantenga abiertas las vías respiratorias.

Si la respiración es difícil, administre oxígeno y busque ayuda médica inmediatamente.

Contacto con la piel:

Lavar la zona expuesta con jabón y abundante agua durante al menos 15 minutos.

Si se produce irritación o malestar, consulte a un médico.

Contacto visual:

Enjuague inmediatamente con agua corriente o solución salina durante al menos 15 minutos, levantando los párpados para asegurar una limpieza completa.

Si la irritación persiste, busque atención médica.

Ingestión:

No provocar el vómito, enjuagar la boca con agua.

Busque atención médica inmediatamente y muestre esta MSDS o la etiqueta del producto.

El personal médico recomienda: tratamiento sintomático y atención a los síntomas respiratorios y posibles daños pulmonares.

5. Medidas de lucha contra incendios

Propiedades inflamables: El polvo fino de tungsteno (<10 µm) puede encenderse espontáneamente o inflamarse en el aire.

Agentes extintores adecuados: polvo seco (como agente extintor de incendios de metales de clase D), arena seca o dióxido de carbono.

Medios de extinción prohibidos: agua, espuma (puede provocar una reacción violenta o explosión).

Peligros especiales de incendio: Al quemarse, pueden liberarse humos de óxido de tungsteno (WO₃), que son irritantes.

Protección de bomberos: Use equipo de respiración autónomo (SCBA) y ropa ignífuga que cubra todo el cuerpo para evitar la inhalación de humo y polvo.

Método de extinción de incendios: Aislar la fuente de fuego, cubrir el punto de incendio con polvo seco para evitar que el polvo se propague.

6. Tratamiento de emergencia de fugas

Protección personal: Use máscara contra el polvo (NIOSH N95 o superior), guantes y gafas protectoras.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Precauciones ambientales: Evitar que el polvo entre en cuerpos de agua o alcantarillas para evitar la contaminación ambiental.

Medidas de emergencia:

Derrame pequeño: utilice herramientas antiestáticas (como palas de madera o plástico) para recogerlo en recipientes sellados para evitar el polvo.

Derrames grandes: Aísle el área del derrame, cúbrala con arena seca o material inerte y limpie con una aspiradora (equipada con un filtro HEPA).

Tratamiento post-limpieza: Eliminar los residuos recogidos de acuerdo con las normativas locales para evitar la contaminación secundaria.

7. Manipulación y almacenamiento

Operación segura:

Trabaje en un área bien ventilada para evitar la acumulación de polvo.

Utilice equipos y herramientas antiestáticos para evitar que las chispas provoquen combustión espontánea.

Lávese las manos después de manipular para evitar la inhalación de polvo o el contacto con la piel.

Condiciones de almacenamiento:

Conservar en recipientes sellados y secos en un almacén fresco y ventilado.

Mantener alejado del fuego, fuentes de calor y oxidantes (como cloro, ácido nítrico).

Temperatura de almacenamiento: 5-35°C, humedad relativa <70%.

8. Controles de exposición/Protección personal

Límites de exposición:

OSHA PEL (EE.UU.): 5 mg/m³ (tungsteno y sus compuestos insolubles, TWA de 8 horas).

TLV ACGIH (EE. UU.): 3 mg/m³ (partículas respirables, TWA de 8 horas).

China GBZ: 6 mg/m³ (polvo total, PC-TWA de 8 horas).

Control de ingeniería: utilice un sistema de escape local o una cubierta antipolvo para garantizar que la calidad del aire en el lugar de trabajo cumpla con el estándar.

Equipo de protección personal:

Protección respiratoria: Use una máscara contra el polvo N95 o P100 certificada por NIOSH cuando la concentración de polvo exceda el estándar.

Protección de las manos: guantes de goma o PVC resistentes al desgaste.

Protección de los ojos: Gafas selladas (conformes a las normas EN 166 o NIOSH).

Protección personal: ropa de trabajo antiestática para evitar la adherencia del polvo.

9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto: Polvo gris o gris plateado

Olor: Inodoro

Punto de fusión: 3422°C

Punto de ebullición: 5555°C

Densidad: 19,25 g/cm³ (20°C)

Solubilidad: Insoluble en agua, ligeramente soluble en ácidos fuertes (como el ácido nítrico)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Rango de tamaño de partícula: 0,5-50 µm (dependiendo de la marca)

Densidad aparente: 2,5-6,0 g/cm³

Punto de inflamación: No aplicable (el polvo fino puede encenderse espontáneamente)

Límite de explosión: No hay datos claros, la nube de polvo puede tener riesgo de explosión.

10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Estable a temperatura ambiente, puede oxidarse para formar WO₃ a alta temperatura.

Evite las condiciones: alta temperatura, chispas, electricidad estática y ambiente húmedo.

Materiales incompatibles: Agentes oxidantes fuertes (por ejemplo, trifluoruro de bromo, pentafluoruro de yodo, ácido nítrico).

Reacciones peligrosas: El polvo fino puede provocar incendio o explosión si entra en contacto con agentes oxidantes.

Productos de descomposición: La combustión a alta temperatura produce humo de óxido de tungsteno (WO₃).

11. Información toxicológica

Toxicidad aguda:

LD50 (oral, rata): >2000 mg/kg (sin toxicidad evidente).

CL50 (inhalación, rata, 4 horas): >5 mg/L (baja toxicidad).

Iritación de la piel: No hay irritación evidente, el contacto prolongado puede provocar una ligera sequedad.

Iritación ocular: El polvo puede causar irritación mecánica.

Sensibilidad respiratoria: La inhalación de altas concentraciones puede causar tos o dificultades respiratorias.

Carcinogenicidad: No está clasificado como carcinógeno por la IARC y el NTP no lo identifica como posible carcinógeno.

Efectos crónicos: La inhalación prolongada de altas concentraciones de polvo puede causar fibrosis pulmonar.

12. Información ecológica

Ecotoxicidad: No hay datos significativos de toxicidad acuática (insoluble en agua).

Persistencia y degradabilidad: No degradable, inorgánico.

Bioacumulación: No bioacumulable.

Movilidad: El polvo puede propagarse por el viento y tiene baja movilidad en entornos líquidos.

Consejos medioambientales: Evitar emisiones de polvo a la atmósfera o al agua.

13. Eliminación

Método de eliminación:

Recoja el polvo de tungsteno residual en un recipiente sellado y entréguelo a una agencia de eliminación de residuos calificada.

Se puede reciclar (por ejemplo, venderlo a un reciclador de metales).

Nota:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Evite verter directamente en vertederos o alcantarillados.

Cumplir con las leyes y regulaciones ambientales locales (como la Ley de China sobre la prevención y el control de la contaminación ambiental por residuos sólidos).

14. Información de envío

Naciones Unidas No.: ONU 3178 (Sólido inflamable, inorgánico)

Nombre de envío: Polvo de tungsteno

Clase de peligro: Clase 4.1 (Sólidos inflamables)

Grupo de embalaje: III (riesgo bajo)

Requisitos de envío:

Utilice un embalaje a prueba de humedad y antiestático (como una bolsa de plástico de doble capa + barril de hierro).

Evite las altas temperaturas y la humedad durante el transporte.

Regulaciones internacionales: Cumplir con los requisitos IATA, IMDG y ADR.

15. Información reglamentaria

Regulaciones chinas:

"Catálogo de productos químicos peligrosos de China" (edición 2015): No figuran como productos químicos peligrosos, pero deben gestionarse como sólidos inflamables.

Inventario de Sustancias Químicas Existentes (IECSC): Ya incluido.

Regulaciones de EE.UU.:

OSHA: Regulado por 29 CFR 1910.1200 (Estándar de comunicación de peligros).

TSCA: Incluido en la Ley de Control de Sustancias Tóxicas.

Reglamento de la UE:

REACH: Registrado, conforme con la lista EINECS (CE nº 231-143-9).

Otros: Cumplir con los requisitos de clasificación y etiquetado del SGA.

16. Otra información

Instrucciones de preparación: Esta Hoja de Datos de Seguridad (HDS) ha sido elaborada por CTIA GROUP LTD con base en los datos y conocimientos técnicos existentes. Es aplicable únicamente a los productos especificados y no a mezclas con otras sustancias.

Aviso legal: Esta hoja de datos es solo de referencia. Los usuarios deben evaluar su aplicabilidad por sí mismos. CTIA GROUP LTD no se responsabiliza de los daños causados por un uso indebido.

Registro de Revisión: Este es el primer lanzamiento de la versión electrónica en línea, sin versiones previas.

Contacto: Si tiene alguna pregunta, comuníquese con sales@chinatungsten.com o llame al +86 592 512 9696.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Apéndice: Glosario relacionado con el polvo de tungsteno F en chino, inglés, japonés, coreano, alemán y ruso

Este glosario organiza exhaustivamente los términos relacionados con el polvo de tungsteno, abarcando todos los tipos de polvo de tungsteno (como polvo de tungsteno ultrafino, polvo de tungsteno fino, etc.), sus propiedades, métodos de preparación, campos de aplicación, gestión de seguridad y derivados. Ofrece versiones en seis idiomas: chino, inglés, japonés, coreano, alemán y ruso. Los términos están clasificados por tema para garantizar su practicidad e internacionalización.

F.1 Conceptos y propiedades básicas

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Polvo de tungsteno	Polvo de tungsteno	Polvo de tungsten	텅스텐 분말	Pulverizador de lobo	Порошок вольфрама	Partículas finas de tungsteno metálico, normalmente de entre 0,5 y 50 micrones de tamaño, utilizadas en la metalurgia de polvos y en la industria electrónica.
Polvo de tungsteno ultrafino	Polvo de tungsteno ultrafino	Polvo ultrafino de タン グステン	초미세 텅스텐	Polvo de lobo ultrafino	Ультратонкий порошок вольфрама	El polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 0,1 a 1 micrón tiene una gran superficie específica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
			분말			y es adecuado para aplicaciones de alta precisión.
Polvo fino de tungsteno	Polvo fino de tungsteno	Polvo fino de タングステン	미세 텅스텐 분말	Polvo de lobo fino	Мелкий порошок вольфрама	El polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 1 a 10 micrones se utiliza comúnmente en pulvimetalurgia y materiales de contrapeso.
Polvo de nano tungsteno	Polvo de nano tungsteno	Nano タングステン en polvo	나노 텅스텐 분말	Nanowolframpulver	Нано-порошок вольфрама	El polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de menos de 100 nanómetros es altamente activo y adecuado para la nanotecnología y los catalizadores.
Polvo grueso de tungsteno	Polvo grueso de tungsteno	Polvo grueso de тангустен	조대 텅스텐 분말	Pulverizador de lobo Grobes	Грубый порошок вольфрама	El polvo de tungsteno con un tamaño de partícula de 10 a 50 micrones se utiliza para soldadura y productos de partículas gruesas.
Polvo de tungsteno esférico	Polvo de tungsteno esférico	Polvo esférico de タングステン	구형 텅스텐 분말	Polvo de lobo esférico	Сферический порошок вольфрама	El polvo de tungsteno esférico tiene buena fluidez y se utiliza comúnmente en impresión 3D y pulverización.
Polvo de tungsteno amorfo	Polvo de tungsteno amorfo	Polvo de タングステン amorfo	2 텅스텐 분말	Amorphes Wolframpulver	Аморфный порошок вольфрама	El polvo de tungsteno sin una estructura cristalina clara se utiliza para recubrimientos especiales y materiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
						compuestos.
pureza	Pureza	Pureza	순도	Reinheit	Chestota	El porcentaje de contenido de tungsteno en el polvo de tungsteno, normalmente $\geq 99,9\%$.
densidad	Densidad	densidad	밀도	Dichte	Poner	El valor teórico de la relación masa-volumen del polvo de tungsteno es $19,25 \text{ g/cm}^3$.
Punto de fusión	Punto de fusión	Punto de fusión	용융점	Punto de dulzura	Temperatura de funcionamiento	La temperatura a la que el polvo de tungsteno se vuelve líquido a presión atmosférica estándar es $3422 \text{ }^\circ\text{C}$.
Punto de ebullición	Punto de ebullición	Punto de ebullición	2	Punto muerto	Temperatura de cocción	La temperatura a la que el polvo de tungsteno se sublima en gas es de $5555 \text{ }^\circ\text{C}$.
Área de superficie específica	Área de superficie específica	Área de superficie específica	2	Pasar el día	Удельная поверхность	La superficie por unidad de masa del polvo de tungsteno suele ser de $50 \text{ a } 150 \text{ m}^2/\text{g}$ (nivel nanométrico).
Densidad aparente	Densidad aparente	Ver la densidad	겉보기 Demonio	Insinuaciones	Кажущаяся плотность	La densidad del polvo de tungsteno en estado de apilamiento natural es de $2,5\text{-}6,0 \text{ g/cm}^3$.
Tamaño de partícula de Fisher	Tamaño de partícula de Fisher	Tamaño de partícula efervescen te	Hada 2 Hakuna	Fisher - Corona	Размер частиц по Фишеру	El tamaño promedio de partícula del polvo de tungsteno medido por el método Fisher suele ser de $0,5 \text{ a } 50 \text{ }\mu\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Liquidez	Fluidez	Liquidez	2	Vuela alto	Prueba	La capacidad del polvo de tungsteno para fluir a través de un embudo en condiciones estándar, expresada en segundos por 50 gramos.
Estructura cristalina	Estructura cristalina	Estructura cristalina	결정 구조	Estructura cristalina	Estructura cristalina	La morfología cristalina del polvo de tungsteno suele ser cúbica centrada en el cuerpo (BCC).
dureza	Dureza	dureza	경도	Harte	Adiós	La resistencia a la deformación del polvo de tungsteno o sus productos, como HV 300-500.

F.2 Método de preparación

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Método de reducción de hidrógeno	Reducción de hidrógeno	Método de reducción de hidrógeno	2 환원법	Reducción de agua	Восстановление водородом	El polvo de tungsteno se prepara reduciendo el óxido de tungsteno con hidrógeno, generalmente a una temperatura de 800 a 1200 °C.
Método de deposición de vapor	Deposición de vapor	Método de evaporación en fase gaseosa	기상 2	Operación en fase gaseosa	Парофазное осаждение	Los polvos de nanotungsteno se producen mediante la deposición de compuestos de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
						gaseosos y se utilizan a menudo en aplicaciones de alta precisión.
Método de plasma	Método de plasma	Método de plasma	El amor es más fuerte	Plasmameterfahren	Método plástico	El polvo de tungsteno ultrafino se prepara mediante descomposición de plasma a alta temperatura de precursores de tungsteno, lo que tiene un alto rendimiento pero un alto consumo de energía.
Método hidrotermal	Método hidrotermal	Método hidrotermal	2 합성법	Tecnología hidrotermal	Método hidrotermal	El polvo de tungsteno se prepara en una solución acuosa de alta temperatura y alta presión, que es respetuosa con el medio ambiente y adecuada para la nanoescala.
Reducción carbotérmica	Reducción carbotérmica	Método de reducción de carbono	Pico No 환원법	Redención por carbotermia	Карботермическое восстановление	El polvo de carburo de tungsteno se prepara reduciendo el óxido de tungsteno con carbono a alta temperatura.
Reducción electroquímica	Reducción electroquímica	Reducción electroquímica	2.	Ingeniería Eléctrica Roja	Электрохимическое	El polvo de tungsteno se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
ica	a	mica	환원법		восстановлени e	prepara mediante electrolisis de una solución de tungstato, que es adecuada para nanoescala y control de pureza.
Descomposición inducida por láser	Descomposición inducida por láser	Método de descomposición inducida del cuero	2 Seung-min 분해법	Industria láser Zerg	Лазерно-индуцированн ое разложение	El láser se utiliza para descomponer el precursor de tungsteno para preparar polvo de tungsteno ultrafino o nano con bajo consumo de energía.
Pirólisis por pulverización	Pirólisis por pulverización	Método de descomposición térmica por pulverización	분무 2	Pirólisis por pulverización	Распыление с пиролизом	La solución de tungsteno se rocía y luego se descompone a alta temperatura para producir polvo de tungsteno poroso, que es adecuado para aplicaciones biológicas.

F.3 Áreas de aplicación

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Metalurgia de polvos	Metalurgia de polvos	Metalurgia de polvos	분말 2	Pulvermetallurgie	Metalurgia de porcelana	Los productos de tungsteno, como barras y placas de tungsteno, se fabrican prensando y sinterizando polvo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
						tungsteno.
carburo cementado	Aleación dura	Aleación superdura	경질 Coreano	Hartmetall	Theyurd'y'lav	Material resistente al desgaste con polvo de carburo de tungsteno como componente principal, utilizado para herramientas de corte y brocas.
Material de peso	Material de contrapeso	material	2	Material de peso anti-gravedad	Material protector	La alta densidad del polvo de tungsteno se utiliza para fabricar pesas, como plomadas de pesca y palos de golf.
Fotoelectrocatalisis	Fotoelectrocatalisis	Fotocatalizador	2 촉매	Fotoelectricidad	Fotoelectrocatalisis	Utilice polvo de óxido de tungsteno (como WO ₃) para descomponer el agua o degradar contaminantes, con un intervalo de banda de 2,6 a 2,8 eV.
Tecnología cuántica	Tecnología cuántica	Tecnología cuántica	2 기술	Tecnología cuántica	Tecnología moderna	La superconductividad del polvo de nanotungsteno (Tc alcanza 10 K después del dopaje) se utiliza para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
						preparar bits cuánticos.
Electrónica flexible	Electrónica flexible	フレキシブルエレクトロニクス	플렉시블 2	Electrónica flexible	Гибкая электроника	El polvo de tungsteno y el compuesto de polímero se utilizan para preparar electrodos flexibles con una conductividad eléctrica de 10 ⁻⁵ S/m.
Exploración espacial	Exploración espacial	Exploración espacial	2 Hakuna mata	Bienestar	Исследования космоса	El polvo de tungsteno se utiliza para preparar materiales de protección contra la radiación con una tasa de bloqueo del 95%.
Fabricación aditiva	Fabricación aditiva	FABRICACIÓN ADITEB	Seúl 2	Aditivos para fertirrigación	Аддитивное производство	Utilice polvo de tungsteno para impresión 3D para preparar piezas con formas complejas.
Recubrimiento resistente al desgaste	Recubrimiento resistente al desgaste	Recubrimiento resistente al desgaste	내마모 코팅	Verschleißfeste Beschichtung	Износостойкое покрытие	La capa resistente al desgaste se forma pulverizando polvo de carburo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
						tungsteno con una dureza de HV 1600-2000.
Biotechnología	Biotechnología	BioTech Nolog	coreano	Biotechnología	Betfair	El polvo de óxido de tungsteno nano se utiliza para recubrimiento antibacteriano o administración de medicamentos, con una tasa antibacteriana del 99%.

F.4 Seguridad y gestión

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Sólido inflamable	Sólido inflamable	Sólido combustible	coreano 고체	Plástico sellado de fugas	Горючий твердый материал	El polvo fino de tungsteno (<10 μm) puede arder espontáneamente en el aire y está clasificado como producto peligroso Clase 4.1 del SGA.
Explosión de polvo	Explosión de polvo	Explosión de polvo	2 Hakuna Matata	Explosión de Staub	Ver más	Las nubes de polvo de tungsteno pueden explotar al entrar en contacto con el fuego en un espacio confinado y requieren un tratamiento antiestático.
Protección respiratoria	Protección respiratoria	Protección respiratoria	Hakuna Matata 보호	Protección contra incendios	Респираторная защита	Utilice una máscara antipolvo (como la N95) para evitar la inhalación de polvo de tungsteno.
Límites de exposición	Límite de exposición	Límite de exposición	2 coreano	Valor de la exposición	Предел воздействия	El límite de concentración de polvo de tungsteno en el lugar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
						de trabajo, como el PEL de OSHA, es de 5 mg/m³.
Reciclaje	Reciclaje	Vivir	2	Reciclaje	Peerera Botka	La tasa de recuperación de polvo de tungsteno a partir de desechos de tungsteno puede alcanzar el 90%-95%.
Fichas de datos de seguridad	Ficha de datos de seguridad (FDS)	Ficha de datos de seguridad	2 데이터 시트	Hoja de datos	Паспорт безопасности	Proporcionar orientación sobre el uso seguro de polvo de tungsteno, como esta MSDS.
Antiestático	Antiestático	Prevenición de la electricidad estática	정전기 2	Antiestático	Antistático	Evite la acumulación de electricidad estática para evitar la combustión espontánea o explosión del polvo de tungsteno.
Tratamiento de fugas	Manejo de derrames	Tratamiento de fugas	2 2	Manejo de fugas	Обработка утечек	Medidas de emergencia para el manejo de fugas de polvo de tungsteno, como cubrirlo con arena seca y sellarlo y recolectarlo.

F.5 Componentes químicos y derivados

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Óxido de tungsteno	Óxido de tungsteno	Acidificación Tangusten	Seúl 텅스텐	Wolframóxido	Libro abierto	WO ₃ , polvo amarillo, banda prohibida 2,6-2,8 eV, utilizado para optoelectrónica y detección.
dióxido de tungsteno	dióxido de tungsteno	Diácido Tangusten	2 텅스텐	Dióxido wolframio	de Диоксид вольфрама	WO ₂ , producto intermedio para la preparación de polvo de tungsteno, polvo marrón.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
carburo de tungsteno	carburo de tungsteno	Carbonización Tangusten	Hakuna mata 텅스텐	Wolframcarbide	Карбид вольфрама	WC, dureza HV 1600-2000, utilizado para carburo cementado.
carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	gas de dióxido de carbono	이탄화 텅스텐	Carburo diwolframio	Дикарбид вольфрама	El W_2C , de dureza ligeramente inferior al WC, se utiliza para recubrimientos resistentes al desgaste.
Hexafluoruro de tungsteno	Hexafluoruro de tungsteno	六フッ化タングステン	텅스텐 ²	Wolframhexafluoruro	Гексафторид вольфрама	WF_6 , un compuesto gaseoso, se utiliza para depositar películas de tungsteno.
Ácido tungstico	Ácido tungstico	Ácido tangusténico	텅스텐 산	Ácido wolframio	Вольфрамовая кислота	H_2WO_4 , un producto intermedio en el proceso de preparación de polvo de tungsteno.
Tungstato de amonio	Tungstato de amonio	탄그스텐 암모늄	텅스텐 산	Wolframato de amonio	Тунгстат аммония	$(NH_4)_2WO_4$, un precursor comúnmente utilizado para preparar polvo de tungsteno.
Tungstato de sodio	Tungstato de sodio	탄그스텐 나트륨	텅스텐 산	Wolframato de sodio	Тунгстат Натрия	Na_2WO_4 , materia prima para la preparación de polvo de tungsteno por método hidrotérmico.
Aleación de tungsteno	Aleación de tungsteno	Aleación de tangusten	텅스텐 Coreano	Wolframlegierung	Сплав вольфрама	Como por ejemplo W-Ni-Fe, densidad 17-18,5 g/cm ³ , utilizado para contrapeso y blindaje.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chino	Inglés	japonés	coreano	Alemán	ruso	Definición/Descripción
Polvo de tungsteno dopado	Polvo de tungsteno dopado	ドーブタン グステン polvo	도핑 텅스텐 분말	Pulverizador de lobo dotierter	Допированный порошок вольфрама	Polvo de tungsteno con elementos añadidos como molibdeno y cobalto para mejorar el rendimiento, como la superconductividad mejorada.



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content ≤ 0.05 wt%, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: ≤ 25 s/50g, bulk density ≥ 9.0 g/cm³, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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