

Enciclopedia de varillas de tungsteno

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GRUPO LTD

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

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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 total 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 del Internet industrial. CHINATUNGSTEN ONLINE, fundada en 1997 con www.chinatungsten.com como punto de partida, el primer sitio web de productos de tungsteno de primer nivel de China, es la empresa de comercio electrónico pionera del país que se centra en las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos de tungsteno y molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación de su empresa matriz, servicios superiores y reputación comercial global, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicaciones en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha establecido más de 200 sitios web profesionales multilingües de tungsteno y molibdeno que cubren más de 20 idiomas, con más de un millón de páginas de noticias, precios y análisis de mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Desde 2013, su cuenta oficial de WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" ha publicado más de 40.000 piezas de información, sirviendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita diariamente a cientos de miles de profesionales de la industria en todo el mundo. Con visitas acumuladas a su grupo de sitios web y cuenta oficial que alcanzan miles de millones de veces, se ha convertido en un centro de información global y autorizado reconocido para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras, que brinda noticias multilingües las 24 horas del día, los 7 días de la semana, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado.

Sobre la base de la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando la tecnología de IA, diseña y produce de forma colaborativa productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como el tamaño de partícula, la densidad, la dureza, la resistencia, las dimensiones y las tolerancias) con los clientes. Ofrece servicios integrados de proceso completo que van desde la apertura de moldes, la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de investigación y desarrollo, diseño y producción para más de 500,000 tipos de productos de tungsteno y molibdeno a más de 130,000 clientes en todo el mundo, sentando las bases para una fabricación personalizada, flexible e inteligente. Basándose en esta base, CTIA GROUP profundiza aún más la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet industrial.

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



Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Directorio

Capítulo 1 Introducción

- 1.1 Definición y descripción general de las varillas de tungsteno
- 1.2 La importancia de las varillas de tungsteno en la industria
- 1.3 Antecedentes históricos y desarrollo

Capítulo 2 Tipos de varillas de tungsteno

- 2.1 Las varillas de tungsteno se clasifican por composición
 - 2.1.1 Varillas de tungsteno puro
 - 2.1.2 Varillas de tungsteno de alta pureza ($\geq 99,95\%$)
 - 2.1.3 Varillas de tungsteno dopadas (dopaje de tierras raras, dopaje de óxidos)
- 2.2 Las varillas de tungsteno se clasifican según el proceso de fabricación
 - 2.2.1 Varillas de tungsteno sinterizadas
 - 2.2.2 Varillas de tungsteno forjadas
 - 2.2.3 Varillas de tungsteno laminadas
 - 2.2.4 Dibujar varillas de tungsteno
 - 2.2.5 Extrusión de varillas de tungsteno
- 2.3 Las varillas de tungsteno se clasifican según su uso
 - 2.3.1 Varillas de tungsteno para uso industrial
 - 2.3.2 Varillas de tungsteno para electrónica
 - 2.3.3 Varillas de tungsteno para uso militar
 - 2.3.4 Otras varillas de tungsteno para usos especiales
- 2.4 Las varillas de tungsteno se clasifican según las especificaciones
 - 2.4.1 Varillas de tungsteno de pequeño diámetro (< 5 mm)
 - 2.4.2 Varillas de tungsteno de diámetro medio (5-20 mm)
 - 2.4.3 Varillas de tungsteno de gran diámetro (> 20 mm)
- 2.5 Las varillas de tungsteno se clasifican según su estado superficial
 - 2.5.1 Palos de cuero negro
 - 2.5.2 Palos de luz de carro
 - 2.5.3 Varillas de pulido
- 2.6 Varillas especiales de tungsteno
 - 2.6.1 Varillas de tungsteno de potasio
 - 2.6.2 Varillas de tungsteno dopadas con torio
 - 2.6.3 Varillas de tungsteno dopadas con cerio
 - 2.6.4 Varillas de tungsteno dopadas con lantano
 - 2.6.5 Varillas de tungsteno dopadas con circonio
 - 2.6.6 Varillas de tungsteno dopadas con itrio
 - 2.6.7 Varillas de tungsteno de tierras raras compuestas
- 2.7 Comparación de modelos y grados internacionales
 - 2.7.1 Grados de varillas de tungsteno puro
 - 2.7.2 Grados de varillas de tungsteno dopadas
 - 2.7.4 Grados nacionales y extranjeros (GB/T, ASTM, ISO)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 3 Características de las varillas de tungsteno

- 3.1 Propiedades físicas de las varillas de tungsteno
 - 3.1.1 Alto punto de fusión de las varillas de tungsteno
 - 3.1.2 Alta densidad de varillas de tungsteno
 - 3.1.3 Bajo coeficiente de expansión térmica de las varillas de tungsteno
 - 3.1.4 Conductividad térmica y eléctrica de las varillas de tungsteno
 - 3.1.5 Baja presión de vapor de varillas de tungsteno
- 3.2 Propiedades químicas de las varillas de tungsteno
 - 3.2.1 Resistencia a la corrosión de las varillas de tungsteno
 - 3.2.2 Estabilidad química de las varillas de tungsteno
 - 3.2.3 Reactividad de las varillas de tungsteno con otros elementos
- 3.3 Propiedades mecánicas de las varillas de tungsteno
 - 3.3.1 Alta resistencia y dureza de las varillas de tungsteno
 - 3.3.2 Resistencia a la fluencia de las varillas de tungsteno
 - 3.3.3 Tenacidad y maquinabilidad de las varillas de tungsteno
- 3.4 Comparación de las características de diferentes tipos de varillas de tungsteno
 - 3.4.1 Varillas de tungsteno puro y varillas de tungsteno de alta pureza
 - 3.4.2 Propiedades especiales de las varillas de tungsteno dopadas
- 3.5 Barras de tungsteno MSDS de CTIA GROUP LTD

Capítulo 4 Tecnología de preparación y producción de varillas de tungsteno

- 4.1 Preparación de materias primas para varillas de tungsteno
 - 4.1.1 Extracción y purificación de mineral de tungsteno
 - 4.1.2 Preparación del polvo de tungsteno
 - 4.1.3 Adición de elementos de aleación y dopantes
- 4.2 Tecnología de pulvimetalurgia de varillas de tungsteno
 - 4.2.1 Mezcla y prensado de polvo
 - 4.2.2 Sinterización a alta temperatura
 - 4.2.3 Optimización del rendimiento de las varillas de tungsteno sinterizado
- 4.3 Tecnología de procesamiento de deformación de varillas de tungsteno
 - 4.3.1 Forja en caliente (forja con martillo, forja rotativa)
 - 4.3.2 Extrusión en caliente
 - 4.3.3 Rodar
 - 4.3.4 Tirón
- 4.4 Preparación de varillas de tungsteno a gran escala
 - 4.4.1 Dificultades y desafíos técnicos
 - 4.4.2 Método de preparación de varillas de tungsteno de alta densidad
 - 4.4.3 Optimización de procesos e innovación
- 4.5 Tecnología de postratamiento de varillas de tungsteno
 - 4.5.1 Tratamiento térmico
 - 4.5.2 Tratamiento superficial (pulido, limpieza)
 - 4.5.3 Mecanizado y corte de precisión
- 4.6 Características del proceso de los diferentes tipos de varillas de tungsteno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 4.6.1 Proceso de varilla de tungsteno puro
- 4.6.2 Proceso de varilla de tungsteno de alta pureza
- 4.6.3 Proceso de varilla de tungsteno dopado

Capítulo 5 Usos de las varillas de tungsteno

- 5.1 Aplicaciones industriales de las varillas de tungsteno
 - 5.1.1 Varillas de núcleo de tungsteno para horno de cuarzo
 - 5.1.2 Preparación de obleas de silicio monocristalino
 - 5.1.3 Purificación de elementos de tierras raras
 - 5.1.4 Crisol de tungsteno para horno de cristal de zafiro
- 5.2 Las varillas de tungsteno se utilizan en defensa militar y nacional
 - 5.2.1 Núcleos perforantes
 - 5.2.2 Varillas de tungsteno altamente explosivas
- 5.3 Las varillas de tungsteno se utilizan en electrónica e iluminación
 - 5.3.1 Filamento de tungsteno (filamento, cable de soporte)
 - 5.3.2 Electrodo (electrodo de tungsteno, electrodo de tungsteno de tierras raras)
 - 5.3.3 Objetivos de pulverización catódica
- 5.4 Las varillas de tungsteno se utilizan en la industria automotriz y aeroespacial
 - 5.4.1 Componentes de automatización automotriz
 - 5.4.2 Componentes aeroespaciales de alta temperatura
- 5.5 Las varillas de tungsteno se utilizan en la investigación médica y científica
 - 5.5.1 Dispositivos médicos (protección contra la radiación)
 - 5.5.2 Equipo experimental (experimentos de alta temperatura)
- 5.6 Las varillas de tungsteno se utilizan en otros campos
 - 5.6.1 Artículos deportivos (dardos de carburo de tungsteno)
 - 5.6.2 Joyería (joyería de carburo de tungsteno)
 - 5.6.3 Herramientas y moldes especiales

Capítulo 6 Equipo de producción de varillas de tungsteno

- 6.1 Equipo de pulvimetalurgia para varillas de tungsteno
 - 6.1.1 Mezcladores
 - 6.1.2 Prensas
 - 6.1.3 Horno de sinterización a alta temperatura
- 6.2 Equipo de procesamiento de deformación de varilla de tungsteno
 - 6.2.1 Martillos neumáticos y martillos electrohidráulicos
 - 6.2.2 Máquinas de estampación rotativas
 - 6.2.3 Extrusoras en caliente
 - 6.2.4 Trenes de laminación y máquinas de trefilado
- 6.3 Equipo de posprocesamiento para varillas de tungsteno
 - 6.3.1 Hornos de tratamiento térmico
 - 6.3.2 Equipos de pulido y limpieza
 - 6.3.3 Equipos de mecanizado de precisión (tornos, rectificadoras)
- 6.4 Equipo de producción avanzado para varillas de tungsteno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 6.4.1 Equipo de sinterización por plasma
- 6.4.2 Hornos de fusión al vacío
- 6.4.3 Sistemas automáticos de control y supervisión
- 6.5 Selección de equipos y mantenimiento de varillas de tungsteno
- 6.5.1 Requisitos de equipo para diferentes tipos de varillas de tungsteno
- 6.5.2 Mantenimiento de equipos y gestión de la vida útil

Capítulo 7 Normas nacionales y extranjeras para varillas de tungsteno

- 7.1 Normas internacionales para varillas de tungsteno
 - 7.1.1 Norma ISO (ISO 24370: tungsteno y aleaciones de tungsteno)
 - 7.1.2 Norma ASTM (ASTM B777: aleación de tungsteno de alta densidad)
 - 7.1.3 AMERM Clase 13
 - 7.1.4 Otras normas internacionales
- 7.2 Estándar chino para varillas de tungsteno
 - 7.2.1 GB/T 4187-2017 (Norma nacional para barras de tungsteno)
 - 7.2.2 GB/T 3459-2017 (tungsteno y productos de aleación de tungsteno)
 - 7.2.3 Estándar de la industria (YS/T 695-2009: electrodo de tungsteno)
- 7.3 Comparación estándar y aplicabilidad de varillas de tungsteno
 - 7.3.1 Diferencias entre normas nacionales y extranjeras
 - 7.3.2 Requisitos estándar para diferentes tipos de varillas de tungsteno
 - 7.3.3 La importancia rectora de las normas para la producción y las pruebas

Capítulo 8 Detección de varillas de tungsteno

- 8.1 Prueba de propiedades físicas de varillas de tungsteno
 - 8.1.1 Ensayo de densidad de varillas de tungsteno
 - 8.1.2 Ensayo de dureza de varillas de tungsteno (Vickers, Brinell)
 - 8.1.3 Prueba de resistencia a la tracción y tenacidad de varillas de tungsteno
 - 8.1.4 Ensayo de expansión térmica y conductividad térmica de varillas de tungsteno
- 8.2 Análisis de la composición química de las varillas de tungsteno
 - 8.2.1 Análisis espectroscópico (ICP-MS, XRF)
 - 8.2.2 Detección de oligoelementos e impurezas
- 8.3 Análisis de la microestructura de las varillas de tungsteno
 - 8.3.1 Observación microscópica (SEM, TEM)
 - 8.3.2 Tamaño de grano y uniformidad de la microestructura
- 8.4 Ensayos no destructivos de varillas de tungsteno
 - 8.4.1 Ensayos ultrasónicos
 - 8.4.2 Inspección por rayos X
 - 8.4.3 Ensayo de partículas magnéticas
- 8.5 Verificación del rendimiento de las varillas de tungsteno
 - 8.5.1 Prueba de rendimiento a alta temperatura
 - 8.5.2 Ensayo de resistencia a la corrosión
 - 8.5.3 Ensayo de conductividad y fluencia
- 8.6 Puntos clave de detección de diferentes tipos de varillas de tungsteno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 8.6.1 Detección de varillas de tungsteno puro
- 8.6.2 Detección de varillas de tungsteno de alta pureza
- 8.6.3 Detección de varillas de tungsteno dopadas

Capítulo 9 Estado de la industria de varillas de tungsteno y tendencia de desarrollo

- 9.1 Descripción general del mercado de varillas de tungsteno en China
 - 9.1.1 Análisis de la oferta y la demanda del mercado
- 9.2 Descripción general del mercado internacional de varillas de tungsteno
 - 9.2.1 Principales países y regiones exportadores
 - 9.2.2 Dependencia de las importaciones y estado de la cadena de suministro
- 9.3 Tendencia de desarrollo tecnológico de las varillas de tungsteno
 - 9.3.1 Nuevos materiales y tecnologías de aleación
 - 9.3.2 Fabricación ecológica y tecnologías de ahorro de energía
 - 9.3.3 Producción inteligente y automatizada
- 9.4 Desafíos y oportunidades de las varillas de tungsteno
 - 9.4.1 Cuellos de botella técnicos y avances
 - 9.4.2 Competencia en el mercado y globalización
 - 9.4.3 Requisitos para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible

Capítulo 10 Conclusiones

- 10.1 El valor central y las perspectivas de aplicación de las varillas de tungsteno
- 10.2 Dirección de desarrollo futuro de las varillas de tungsteno
- 10.3 Recomendaciones para el desarrollo de la industria

Apéndice

- A. Glosario
- B. Referencias

Capítulo 1 Introducción

1.1 Definición y descripción general de las varillas de tungsteno

La varilla de tungsteno es un material metálico en forma de varilla hecho de tungsteno (símbolo del elemento químico W, número atómico 74) o su aleación como componente principal, mediante procesos de pulvimetalurgia, forja, estirado o extrusión. Las varillas de tungsteno son conocidas por sus excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas, que incluyen un punto de fusión extremadamente alto (3410 °C), alta densidad (19,25 g/cm³), excelente resistencia a la corrosión y excelente resistencia mecánica. Estas propiedades hacen que las varillas de tungsteno sean indispensables en muchos sectores industriales exigentes, como el aeroespacial, la electrónica, el militar, el médico y la fabricación a alta temperatura.

La composición básica de la varilla de tungsteno.

Las varillas de tungsteno se pueden dividir en tres categorías según su composición: varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza y varillas de tungsteno dopadas.

Varilla de tungsteno puro: con tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,9\%$) como componente principal, es adecuado para entornos de alta temperatura, alta resistencia y resistencia a la corrosión, como cátodos de tubos de vacío, objetivos de tubos de rayos X y varillas de núcleo de horno de alta temperatura en la industria electrónica.

Varilla de tungsteno de alta pureza ($\geq 99,95\%$): El tungsteno con una pureza del 99,95% o más y un contenido de impurezas muy bajo (< 50 ppm) está diseñado para dispositivos semiconductores, médicos y electrónicos de alta gama que requieren una alta limpieza y precisión, como componentes de dispositivos de implantación de iones y objetivos de pulverización catódica.

Varilla de tungsteno dopada (dopaje de tierras raras, dopaje de óxido): Los elementos de tierras raras (como cerio, lantano, itrio) u óxidos (como óxido de torio, zirconio) se agregan a la matriz de tungsteno para mejorar la estabilidad del arco, la resistencia a la fluencia y el rendimiento del procesamiento, y se usan ampliamente en electrodos de soldadura (como electrodos de soldadura por arco de argón) y elementos de hornos de alta temperatura.

Forma y especificación de la varilla de tungsteno.

Las varillas de tungsteno vienen en una variedad de formas, con diámetros que van desde micras (por ejemplo, varillas de tungsteno estiradas para filamentos) hasta decenas de milímetros (por ejemplo, varillas de tungsteno industriales a gran escala). Sus longitudes a menudo se personalizan según las necesidades de la aplicación, desde unos pocos centímetros hasta varios metros. El estado de la superficie también varía en función del proceso de mecanizado, incluyendo varillas negras (sin acabado con una capa de óxido), varillas de pulido (superficie lisa después del mecanizado) y varillas de pulido (con un acabado superficial extremadamente alto para aplicaciones de precisión).

Proceso de preparación de la varilla de tungsteno

Las varillas de tungsteno generalmente se preparan utilizando tecnología de pulvimetalurgia y el proceso básico incluye:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Preparación de polvo de tungsteno: el polvo de tungsteno de alta pureza se purifica a partir de mineral de tungsteno (como wolframita o scheelita).

Prensado y sinterización de polvo: el polvo de tungsteno se prensa en blanco y se sinteriza a alta temperatura (2000-3000 °C) para formar una varilla de tungsteno sinterizada densa.

Procesamiento de deformación: procesamiento posterior por forja en caliente, estampado rotativo, laminado o estirado para mejorar la densidad y las propiedades mecánicas del material.

Posprocesamiento: incluye tratamiento térmico, pulido de superficies o limpieza para satisfacer las necesidades específicas de la aplicación.

Propiedades únicas de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno son las preferidas por su combinación única de propiedades:

Alto punto de fusión: El tungsteno tiene el punto de fusión más alto de cualquier metal y es adecuado para entornos de temperatura extremadamente alta, como hornos de cuarzo y hornos de cristal de zafiro.

Alta densidad: La proximidad a la densidad del oro le da una ventaja en áreas que requieren contrapesos de alta calidad, como las balanzas aeroespaciales.

Resistencia a la corrosión: El tungsteno tiene una excelente resistencia a la corrosión de la mayoría de los ácidos y bases a temperatura ambiente, y solo reaccionará lentamente en ambientes oxidantes fuertes y de alta temperatura (como el ácido nítrico).

Resistencia mecánica: la varilla de tungsteno aún mantiene una alta resistencia y resistencia a la fluencia a altas temperaturas, y es adecuada para piezas estresadas a largo plazo.

Conductividad eléctrica y térmica: Aunque menos conductor que metales como el cobre, su estabilidad a altas temperaturas lo hace excelente en electrodos y filamentos.

Clasificación y nomenclatura de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno a menudo se nombran en función de su composición, uso o estándares internacionales. Por ejemplo:

Normas internacionales: como ASTM B760 (varilla de tungsteno puro).

Grados de varilla de tungsteno dopada: como WT20 (varilla de tungsteno dopada con 2% de torio), WL15 (varilla de tungsteno dopada con 1,5% de lantano), de acuerdo con la norma AWS A5.12.

Las normas nacionales, como GB/T 4187-2017, especifican la composición química, las tolerancias dimensionales y los requisitos de rendimiento de las varillas de tungsteno. Estos sistemas de nomenclatura facilitan el comercio y la aplicación a nivel mundial, garantizando la uniformidad y la trazabilidad de las especificaciones de los materiales.

Visión general del mercado global de varillas de tungsteno

Como material de alto rendimiento, la varilla de tungsteno es ampliamente utilizada en sistemas industriales globales. China es el mayor productor mundial de recursos y productos de tungsteno, y representa más del 80% de la producción mundial de tungsteno, que se exporta principalmente a Estados Unidos, Europa y Japón. La producción de varillas de tungsteno se concentra en un pequeño número de empresas especializadas, y la demanda del mercado está impulsada principalmente por

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

la fabricación de semiconductores, las nuevas energías, la industria aeroespacial y la defensa.

La varilla de tungsteno es ecológica y sostenible

La producción de varillas de tungsteno implica la extracción de mineral de tungsteno y el procesamiento a alta temperatura, que consume mucha energía y puede producir gases de escape y residuos. En los últimos años, se han adoptado tecnologías de fabricación ecológicas (por ejemplo, sinterización de baja energía, reciclaje de residuos) para reducir el impacto ambiental. Además, la alta durabilidad y reciclabilidad de las varillas de tungsteno las hacen sostenibles durante todo su ciclo de vida.

1.2 La importancia de las varillas de tungsteno en la industria

Las varillas de tungsteno desempeñan un papel clave en las industrias globales debido a su excelente rendimiento y se utilizan ampliamente en campos exigentes de alta tecnología, como la fabricación de semiconductores, la industria aeroespacial, la defensa, la energía, la medicina y la iluminación. Su importancia se refleja en sus propiedades únicas que satisfacen las necesidades materiales de entornos extremos, impulsando el progreso tecnológico y la eficiencia industrial. La importancia de las varillas de tungsteno en la industria se discute en detalle desde múltiples perspectivas.

Aplicaciones principales en entornos de alta temperatura

El alto punto de fusión de la varilla de tungsteno (3410 °C) la convierte en un material insustituible en entornos de alta temperatura. En el horno de fusión continua de cuarzo, la varilla de tungsteno se utiliza como varilla central para soportar temperaturas extremas de más de 2000 °C para la producción de vidrio de cuarzo de alta pureza, que se usa ampliamente en las industrias de fibra óptica y semiconductores. Del mismo modo, en un horno de cristal de zafiro, las varillas de tungsteno se procesan en crisoles o soportes para la producción de cristales de zafiro artificiales, que se utilizan en sustratos LED y ventanas ópticas. La resistencia a la fluencia de las varillas de tungsteno garantiza la estabilidad estructural incluso bajo tensiones a alta temperatura a largo plazo, que no tiene comparación con otros materiales metálicos como el níquel y el molibdeno.

La columna vertebral de las industrias de semiconductores y electrónica

La fabricación de semiconductores requiere una pureza y un rendimiento de material extremadamente altos, y las varillas de tungsteno desempeñan un papel importante en esto. Por ejemplo, en la producción de silicio monocristalino, las varillas de tungsteno se utilizan como elementos calefactores o estructuras de soporte para hornos de alta temperatura para garantizar la estabilidad y uniformidad del crecimiento de los cristales. Además, las varillas de tungsteno dopadas (como las varillas de tungsteno dopadas con cerio o lantano) se utilizan ampliamente como electrodos de soldadura por arco de argón para la soldadura de precisión de equipos semiconductores, y su excelente estabilidad del arco y resistencia al desgaste mejoran la calidad y la eficiencia de la soldadura. Las varillas de tungsteno también se procesan en objetivos de pulverización catódica para su uso en procesos de deposición física de vapor (PVD) para fabricar capas de película delgada para circuitos integrados y pantallas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Materiales estratégicos en el ámbito de la defensa y militar

La alta densidad y dureza de las varillas de tungsteno las convierten en un material estratégico para la industria militar. Las varillas de aleación de tungsteno (por ejemplo, aleación de tungsteno-níquel-hierro, con una densidad de hasta 18,5 g/cm³) se procesan en núcleos perforantes para golpear objetivos antitanque y blindados, con una alta energía cinética y penetración muy superior a la de los aceros convencionales. Además, las barras de tungsteno se concibieron en el concepto de "armas cinéticas" como ojivas cinéticas de alta densidad, y aunque aún no se han desplegado realmente, su potencial muestra la importancia de las barras de tungsteno en la tecnología militar futura. La resistencia a altas temperaturas y a la corrosión de las varillas de tungsteno también las hace adecuadas para boquillas de misiles y piezas de armaduras.

Una opción fiable para la industria aeroespacial

Las varillas de tungsteno se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial, donde los materiales son extremadamente exigentes en términos de peso, resistencia y resistencia a altas temperaturas. Las varillas de aleación de tungsteno se utilizan como contrapesos para aviones y satélites debido a su alta densidad, lo que garantiza una distribución precisa del peso y la estabilidad de vuelo. Por ejemplo, en los rotores de helicópteros y los sistemas de control de actitud de naves espaciales, los contrapesos de varillas de tungsteno reducen significativamente los requisitos de volumen. Además, las varillas de tungsteno se mecanizan en componentes de alta temperatura, como revestimientos de toberas de motores de cohetes y componentes de protección térmica para vehículos de reentrada, cuyas propiedades antiablativas prolongan la vida útil de los componentes.

Componentes críticos en la industria de la iluminación y la energía

En la industria de la iluminación, las varillas de tungsteno son el material central de las lámparas incandescentes y halógenas tradicionales. Las varillas de tungsteno se introducen en filamentos (que pueden ser tan pequeños como unas pocas micras de diámetro) y se utilizan como filamentos que emiten luz durante largos períodos de tiempo a altas temperaturas debido a su alto punto de fusión y baja presión de vapor. Aunque la tecnología LED está reemplazando gradualmente la iluminación tradicional, el filamento de tungsteno sigue siendo indispensable en la iluminación especializada, como las luces fotográficas y las luces de escenario. En el campo de las nuevas energías, las barras de tungsteno se utilizan en las barras de control y los dispositivos experimentales de alta temperatura de los reactores nucleares para garantizar la seguridad y la precisión experimental.

Una contribución única a los campos médico y científico

La alta densidad y la capacidad de protección contra la radiación de las varillas de tungsteno las hacen brillar en el campo de la medicina. Las varillas de aleación de tungsteno se procesan en colimadores y escudos para equipos de radioterapia que se utilizan para dirigir con precisión los rayos X o los rayos gamma para proteger a los pacientes y al personal médico de la radiación no deseada. En el campo de la investigación científica, las varillas de tungsteno se utilizan como elementos calefactores o electrodos en hornos experimentales de alta temperatura, apoyando la investigación de vanguardia en ciencia de materiales, física y química. Por ejemplo, en experimentos de superconductividad a alta temperatura, la estabilidad de las varillas de tungsteno garantiza la fiabilidad del entorno experimental.

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

Impulse la eficiencia y la innovación industrial

Las diversas aplicaciones de las varillas de tungsteno no solo satisfacen las necesidades industriales existentes, sino que también promueven la innovación tecnológica. Por ejemplo, en la industria automotriz, las varillas de tungsteno se utilizan para fabricar herramientas y moldes resistentes al desgaste para líneas de producción automatizadas, lo que mejora la eficiencia de la producción y la consistencia del producto. En las industrias de artículos deportivos (por ejemplo, palos de golf, dardos) y joyería, las varillas de aleación de tungsteno se mecanizan en componentes de precisión debido a su alta densidad y resistencia al desgaste para satisfacer la demanda de los consumidores de productos de alto rendimiento. Estas aplicaciones emergentes demuestran la amplia adaptabilidad de las varillas de tungsteno tanto en las industrias tradicionales como en las modernas.

La importancia de la economía y la cadena de suministro

Como producto de metal raro, la varilla de tungsteno tiene una posición importante en la economía mundial. China es el mayor productor mundial de tungsteno, controlando alrededor del 80% del mercado de recursos y productos de tungsteno, y la exportación de varillas de tungsteno es fundamental para la cadena de suministro internacional. El alto valor añadido y la insustituibilidad de la varilla de tungsteno la convierten en un material de reserva estratégica para el sistema industrial de muchos países. Por ejemplo, Estados Unidos y la Unión Europea clasifican el tungsteno como un mineral crítico, lo que garantiza la seguridad de su cadena de suministro para respaldar la defensa y la fabricación de alta gama.

Desafíos e importancia continua

Aunque las varillas de tungsteno son indispensables en la industria, su producción enfrenta desafíos como el alto consumo de energía, la contaminación ambiental y la escasez de recursos. El desarrollo de la tecnología de fabricación ecológica y la tecnología de reciclaje de residuos de tungsteno se ha convertido en el foco de la industria. Sin embargo, estos desafíos no han disminuido la importancia de las varillas de tungsteno, sino que han dado lugar a avances tecnológicos que le permitirán seguir desempeñando un papel central en la industria del futuro.

1.3 Antecedentes históricos y desarrollo

Como material importante en la industria moderna, el proceso de desarrollo de la varilla de tungsteno está estrechamente relacionado con el descubrimiento, la tecnología de purificación y la aplicación industrial del tungsteno. Desde el descubrimiento del tungsteno a finales del siglo XVIII hasta el uso generalizado de la varilla de tungsteno en el siglo XXI, la historia de la varilla de tungsteno refleja la evolución de la ciencia de los materiales, la tecnología metalúrgica y las necesidades industriales. El siguiente es un seguimiento detallado de los antecedentes históricos de la varilla de tungsteno y la trayectoria de desarrollo de su tecnología y aplicación.

Descubrimiento del tungsteno e investigación temprana

El descubrimiento del tungsteno se remonta a 1781, cuando el químico sueco Carl Wilhelm Scheele descubrió la presencia de ácido de tungsteno mediante el análisis de wolframita. En 1783, los hermanos españoles Juan José y Fausto Elhuyar aislaron por primera vez el tungsteno del ácido de tungsteno y lo llamaron "tungsteno" (en sueco "piedra pesada"), llamado así por su alta densidad.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Las primeras investigaciones sobre el tungsteno se centraron principalmente en las propiedades químicas, limitadas a escala de laboratorio, y aún no se han llevado a cabo aplicaciones industriales del tungsteno debido a su alto punto de fusión y a su difícil procesamiento.

A mediados del siglo XIX, con el avance de la tecnología metalúrgica, surgió gradualmente el valor industrial potencial del tungsteno. En la década de 1850, el tungsteno comenzó a probarse en la producción de aceros aleados para mejorar la dureza y la resistencia al desgaste del acero. Sin embargo, la tecnología de purificación y moldeo del tungsteno puro aún está inmadura, lo que limita su amplia aplicación.

Industrialización inicial de varillas de tungsteno

La industrialización de las varillas de tungsteno comenzó a principios del siglo XX y está estrechamente relacionada con las necesidades de la industria de la iluminación. En 1904, los ingenieros húngaros Sandor Just y Franz Hanaman desarrollaron lámparas incandescentes de tungsteno para reemplazar las ineficientes lámparas de filamento de carbono. El alto punto de fusión del tungsteno y su baja presión de vapor lo convierten en un material de filamento ideal, pero los primeros filamentos de tungsteno se fragifican fácilmente, lo que dificulta su procesamiento en varillas o filamentos.

En 1909, William D. Coolidge de General Electric inventó el proceso de preparación de tungsteno dúctil para producir varillas de tungsteno y alambres de tungsteno con mejor tenacidad a través de la pulvimetalurgia y la tecnología de forja a alta temperatura. Este avance permitió la producción en masa de varillas de tungsteno, reduciendo significativamente el costo de las lámparas incandescentes e impulsando una revolución en la industria de la iluminación. El proceso de Kulich constituye la base para la producción moderna de varillas de tungsteno, incluidos los pasos centrales del prensado de polvo, la sinterización y el procesamiento de texturizado.

La aplicación de las varillas de tungsteno en el siglo XX se expandió

En la primera mitad del siglo XX, la aplicación de las varillas de tungsteno se expandió de la iluminación a varios campos industriales.

Electrónica: En la década de 1920, las varillas de tungsteno se utilizaron en cátodos y electrodos para tubos de vacío y rayos X, y funcionaron bien en electrónica de alta temperatura debido a su alto punto de fusión y conductividad eléctrica.

Industria militar: Durante la Primera Guerra Mundial, el tungsteno se utilizó para fabricar aceros aleados de alta resistencia para mejorar el rendimiento de los blindajes de los tanques y los proyectiles de artillería. Durante la Segunda Guerra Mundial, las varillas de aleación de tungsteno comenzaron a mecanizarse en núcleos perforantes, lo que aumentó significativamente la efectividad de las armas antitanque.

Tecnología de soldadura: En la década de 1940, las varillas de tungsteno se desarrollaron como electrodos de soldadura por arco de argón (soldadura TIG), y las varillas de tungsteno dopadas con torio (que contienen un 2% de óxido de torio) se convirtieron en el material estándar en la industria de la soldadura debido a su excelente estabilidad al arco.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Durante este período, la tecnología de producción de varillas de tungsteno continuó mejorando. La optimización del proceso de pulvimetalurgia mejora la densidad y las propiedades mecánicas de las varillas de tungsteno, mientras que la introducción de tecnologías de procesamiento de deformación, como la forja rotativa y el estirado, mejora en gran medida la precisión dimensional y la calidad de la superficie de las varillas de tungsteno.

La posición estratégica de la Guerra Fría y las varillas de tungsteno

Durante la Guerra Fría, las varillas de tungsteno se convirtieron en un material estratégico para sus aplicaciones en los sectores de defensa y aeroespacial. En las décadas de 1950 a 1970, las varillas de aleación de tungsteno se usaron ampliamente en palas de turbinas de motores a reacción, componentes de misiles y contrapesos de naves espaciales. Tanto Estados Unidos como la Unión Soviética catalogaron el tungsteno como un recurso crítico, acumulando reservas para garantizar la seguridad de la cadena de suministro. La industria de tungsteno de China también se desarrolló rápidamente durante este período, confiando en ricos recursos de mineral de tungsteno, convirtiéndose en el principal proveedor mundial de varillas de tungsteno.

En la década de 1960, se produjo un gran avance en la investigación y el desarrollo de varillas de tungsteno dopadas. La varilla de tungsteno dopada con potasio (WK) mejora la resistencia a la fluencia a alta temperatura al agregar trazas de potasio y es adecuada para elementos de horno de alta temperatura. Las varillas de tungsteno de tierras raras (por ejemplo, dopadas con cerio, dopadas con lantano) mejoran la durabilidad y la estabilidad del arco del electrodo, reemplazando gradualmente las varillas de tungsteno dopadas con torio, que son ligeramente radiactivas.

Tecnología moderna de varillas de tungsteno y globalización

En el siglo XXI, la tecnología de aplicación y producción de varillas de tungsteno ha entrado en una nueva etapa.

Semiconductores y nuevas energías: Ha proliferado el uso de varillas de tungsteno en la fabricación de silicio monocristalino, cristales de zafiro y células solares de película fina. Por ejemplo, las varillas de tungsteno se utilizan como varillas de núcleo de horno de alta temperatura y objetivos de pulverización catódica, lo que respalda el rápido desarrollo de las industrias de semiconductores y fotovoltaica.

Fabricación ecológica: Con la mejora de los requisitos de protección del medio ambiente, la producción de varillas de tungsteno comenzó a adoptar la tecnología de sinterización de baja energía y el proceso de reciclaje de desechos. Por ejemplo, las varillas de tungsteno de desecho se pueden purificar químicamente para convertirlas en polvo de tungsteno, lo que reduce el consumo de recursos.

Nuevas aleaciones y dopaje: Las varillas de aleación de tungsteno-níquel-cobre se utilizan en dispositivos médicos debido a su alta densidad y no magnéticas, y las varillas de tungsteno dopadas con lantano (WL20) se han convertido en la opción principal para soldar electrodos debido a su respeto por el medio ambiente.

El mercado mundial de varillas de tungsteno se centra en China y representa más del 80% de la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

producción mundial. Algunas empresas internacionales tienen presencia en el mercado de varillas de tungsteno de alta gama, centrándose en la producción de varillas de tungsteno especiales y de alta precisión. La formulación de normas internacionales (por ejemplo, ASTM B777, ISO 24370) y normas nacionales (por ejemplo, GB/T 4187-2017) ha facilitado el comercio estandarizado de varillas de tungsteno.

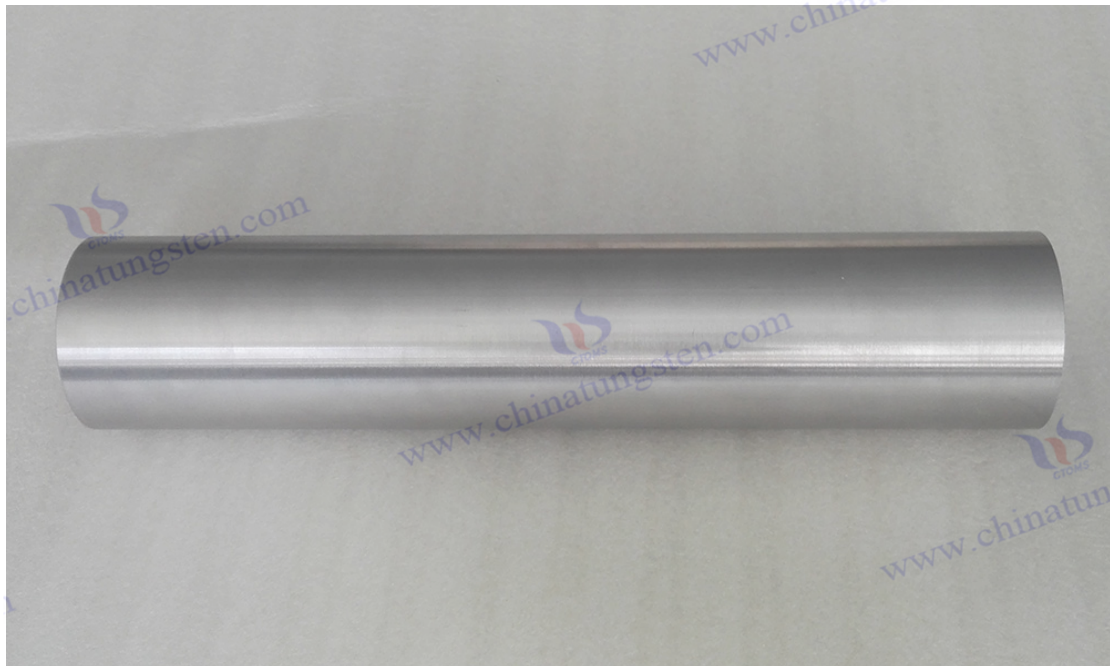
Desafíos y futuro del desarrollo de varillas de tungsteno

El desarrollo de varillas de tungsteno enfrenta desafíos como la escasez de recursos, la presión ambiental y el alto costo. El daño ambiental causado por la minería de tungsteno ha llevado a los países a fortalecer la regulación, y el alto punto de fusión y la alta dureza del tungsteno han aumentado la dificultad de procesamiento y el consumo de energía. En el futuro, la dirección de desarrollo de la industria de varillas de tungsteno incluye:

Nuevos procesos, como la sinterización por plasma y la fabricación aditiva (impresión 3D) para la producción de piezas de varillas de tungsteno con formas complejas.

Nuevos materiales: desarrollar varillas de tungsteno dopadas de baja toxicidad para reemplazar completamente las varillas de tungsteno dopadas con torio.

Economía circular: Aumentar la recuperación de tungsteno y reducir la dependencia del mineral en bruto.



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Capítulo 2 Tipos de varillas de tungsteno

Como material metálico de alto rendimiento, la varilla de tungsteno es ampliamente utilizada en los campos de investigación industrial, electrónica, militar, médica y científica debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Hay muchos tipos de ellos, que se pueden clasificar según la composición, el proceso de fabricación, el uso, la especificación, la condición de la superficie, el tipo especial y los estándares internacionales. Este capítulo tiene como objetivo proporcionar un marco de clasificación sistemático y completo que proporcione una discusión en profundidad de la definición, las características, el proceso de producción, los escenarios de aplicación, los desafíos de la industria y las tendencias de desarrollo de cada varilla de tungsteno.

2.1 Las varillas de tungsteno se clasifican por composición

La composición de las varillas de tungsteno es un factor clave para determinar su rendimiento y aplicación. De acuerdo con las diferencias en los componentes principales y los elementos agregados, las varillas de tungsteno se pueden dividir en tres categorías: varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza y varillas de tungsteno dopadas. Analicemos cada uno de ellos en detalle.

2.1.1 Varillas de tungsteno puro

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno puro es un material en forma de varilla hecho de tungsteno (la pureza generalmente $\geq 99.9\%$) como ingrediente principal a través de la tecnología de procesamiento de deformación y pulvimetalurgia. El tungsteno (símbolo químico W, número atómico 74) es conocido por su punto de fusión extremadamente alto ($3410\text{ }^{\circ}\text{C}$), alta densidad ($19,25\text{ g/cm}^3$) y excelente resistencia a la corrosión, lo que hace que las varillas de tungsteno puro sean ideales para entornos de alta temperatura, alta resistencia y resistencia a la corrosión. Las varillas de tungsteno puro suelen contener trazas de impurezas (por ejemplo, hierro, níquel, carbono), pero se controlan estrictamente en el nivel de ppm para garantizar la estabilidad química y el rendimiento a altas temperaturas.

característica

Propiedades físicas: El punto de fusión del tungsteno es el más alto de todos los metales, solo superado por el punto de sublimación del carbono (alrededor de $3550\text{ }^{\circ}\text{C}$). Las varillas de tungsteno puro tienen una densidad cercana al valor teórico de $19,25\text{ g/cm}^3$, que es comparable al oro, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de contrapeso de alta calidad. El coeficiente de expansión térmica extremadamente bajo ($4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) garantiza la estabilidad dimensional a altas temperaturas. La conductividad térmica es de aproximadamente $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$ y la conductividad eléctrica es del 18% IACS (Estándar Internacional de Cobre Recocido), que es adecuado para aplicaciones conductoras de alta temperatura.

Características químicas: La varilla de tungsteno puro tiene una excelente resistencia a la corrosión por ácidos, álcalis y la mayoría de los oxidantes a temperatura ambiente. Por ejemplo, el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico y el ácido fluorhídrico tienen poco efecto a temperatura ambiente y solo reaccionan lentamente en ácido nítrico concentrado o álcali fundido a altas temperaturas. La baja presión de vapor ($<10^{-4}\text{ Pa}$ a $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) lo hace excelente en entornos de vacío y alta temperatura.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características mecánicas: alta dureza (dureza Vickers 350-450 HV), resistencia a la tracción 700-1000 MPa, pero baja tenacidad, fácil de producir microfisuras durante el procesamiento. Excelente resistencia a la fluencia, tensión a largo plazo a 2500 °C, adecuada para piezas sometidas a tensiones a alta temperatura.

Microestructura: El tamaño de grano es de 10 a 50 µm después de la sinterización y se puede refinar a 5 a 20 µm después de la deformación, lo que reduce la porosidad y mejora la resistencia.

Proceso de producción

La producción de varilla de tungsteno puro adopta principalmente el proceso de pulvimetalurgia, y el proceso es el siguiente:

Preparación de polvo de tungsteno: el tungsteno se extrae de wolframita (FeMnWO_4) o scheelita (CaWO_4), y el polvo de tungsteno de alta pureza (tamaño de partícula de 0,5 a 5 µm, pureza $\geq 99,9\%$) se prepara mediante reducción de hidrógeno. El proceso de reducción requiere temperatura (600-900 °C) y atmósfera controladas para evitar la oxidación o la contaminación por carbono.

Prensado: El polvo de tungsteno se forma en piezas en bruto en forma de varilla mediante prensado isostático en frío o moldeo a 100-200 MPa, con una densidad de aproximadamente 50-60% de densidad teórica.

Sinterización: Sinterización a 2000-2800 °C durante 1-3 horas en un horno protegido con hidrógeno o vacío con una densidad de palanquilla del 90-95%. La temperatura de sinterización y el tiempo de retención deben controlarse con precisión para equilibrar el crecimiento del grano y la eliminación de la porosidad.

Deformación: Propiedades mecánicas mejoradas mediante forja en caliente (estampación rotativa o con martillo, 1200-1500 °C) o laminación en caliente para aumentar la densidad (cerca de 19,25 g/cm³). El estampado rotativo logra múltiples pasadas con una pequeña deformación (10-20%), lo que reduce el riesgo de agrietamiento.

Postratamiento: recocido (1000-1200 °C) para aliviar las tensiones internas, torneado o pulido para mejorar la calidad de la superficie, la rugosidad de la superficie suele ser de Ra 1,6-3,2 µm, cumpliendo con los requisitos de precisión industrial.

aplicar

Las varillas de tungsteno puro se utilizan ampliamente en escenarios de alta temperatura y alta pureza:

Industria electrónica: se utiliza como cátodo de tubo de vacío, objetivo de tubo de rayos X y electrodo de procesamiento de descarga eléctrica (EDM).

Industria de la iluminación: Estirado en filamentos de tungsteno (0,01-0,1 mm de diámetro) para la fabricación de lámparas incandescentes, lámparas halógenas y fuentes de luz especiales (por ejemplo, lámparas fotográficas).

Horno de alta temperatura: se utiliza como varilla central del horno de fusión continua de cuarzo, que puede soportar altas temperaturas superiores a 2000 °C para producir vidrio de cuarzo para fibras ópticas; O como soporte de horno de cristal de zafiro, cultivando cristales para sustratos LED.

Investigación científica: Se utiliza como elemento calefactor o electrodo en equipos experimentales de alta temperatura, como fuente de calor en la investigación de superconductividad a alta temperatura.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Aeroespacial: Procesado en pequeños contrapesos para su uso en sistemas de control de actitud por satélite.

Otros: Se utiliza para moldes de alta temperatura y herramientas resistentes al desgaste, como moldes de formación de vidrio.

Retos y tendencias

Desafío: Baja tenacidad, fácil agrietamiento durante el procesamiento, especialmente en el trefilado de diámetro pequeño, que requiere recocido múltiple, lo que aumenta los costos. Los equipos de procesamiento a alta temperatura, como los hornos de sinterización al vacío, consumen energía y son complejos de mantener. Las impurezas pueden ser difíciles de controlar, y las trazas de oxígeno o carbono pueden reducir el rendimiento.

Tendencia:

La tecnología de sinterización por plasma (SPS) se utiliza para reducir la temperatura de sinterización a 1800 °C, ahorrar energía en un 30% y reducir los granos de gran tamaño.

El polvo de tungsteno a nanoescala (tamaño de partícula < 100 nm) se utiliza para aumentar la densidad de sinterización al 98% y mejorar las propiedades mecánicas.

Desarrollo de un sistema automatizado de control de sinterización para monitorear la temperatura y la atmósfera a través de sensores para mejorar la consistencia del producto.

Se estudió la tecnología de preparación de polvo de tungsteno con bajo contenido de oxígeno (como la reducción por plasma) para reducir el contenido de oxígeno a menos de 10 ppm.

Pros y contras:

Ventajas: Punto de fusión extremadamente alto y estabilidad química, adecuado para entornos extremos; La alta densidad es adecuada para contrapesos; No radiactivo y respetuoso con el medio ambiente.

Desventajas: baja tenacidad, difícil procesamiento; Altos costos de producción, especialmente en aplicaciones de alta precisión.

Mercados y estándares

Las varillas de tungsteno puro representan aproximadamente el 30% del mercado mundial de productos de tungsteno. El cumplimiento de las normas incluye ASTM B760, GB/T 4187-2017 e ISO 24370. El tamaño del mercado mundial de varillas de tungsteno puro fue de aproximadamente \$ 1 mil millones en 2023 y se espera que crezca a \$ 1.5 mil millones para 2030, impulsado por la demanda aeroespacial y de semiconductores.

2.1.2 Varillas de tungsteno de alta pureza ($\geq 99,95\%$)

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno de alta pureza se refiere a la varilla de tungsteno con una pureza de tungsteno del 99,95% o más, y el contenido de impurezas (como Fe, Ni, C, O) se controla por debajo de 50 ppm, que se prepara mediante múltiples procesos de purificación y especiales. Las varillas de tungsteno de alta pureza están diseñadas para semiconductores, dispositivos médicos y electrónicos de alta gama que cumplen con estrictos requisitos de pureza y limpieza. Sus propiedades están cerca de los límites teóricos del tungsteno y son ampliamente utilizados en aplicaciones de sala limpia y de alta precisión.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

característica

Propiedades físicas: densidad 19,2-19,3 g/cm³, cercana al valor teórico; El punto de fusión es de 3410 °C y el coeficiente de expansión térmica es de $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Debido a las impurezas extremadamente bajas, la estructura cristalina es más homogénea y la calidad de la superficie es excelente.

Propiedades químicas: Extremadamente estable químicamente, casi no reactivo con los productos químicos ambientales. A altas temperaturas, reacciona lentamente solo con gas flúor o agentes oxidantes fuertes como el nitrato de sodio fundido. La baja presión de vapor garantiza la estabilidad en un entorno de vacío.

Propiedades mecánicas: grano fino (5-15 μm), dureza Vickers 400-500 HV, resistencia a la tracción 800-1100 MPa. La tenacidad sigue siendo baja y es necesario evitar las microfisuras en el procesamiento.

Conductividad eléctrica y térmica: la resistividad es de aproximadamente $5,3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, que es ligeramente mejor que la de la varilla de tungsteno puro ($5,5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), debido a la reducción de impurezas. La conductividad térmica es de 173 W/m·K, lo que es adecuado para la conducción de calor a alta temperatura.

Proceso de producción

La producción de varilla de tungsteno de alta pureza agrega control de purificación y limpieza sobre la base de la varilla de tungsteno puro:

Preparación de polvo de tungsteno de alta pureza: deposición química de vapor (CVD) o reducción múltiple de hidrógeno, el contenido de impurezas se reduce a menos de 50 ppm. El horno de reducción utiliza hidrógeno de alta pureza (99,999%) para evitar la contaminación por nitrógeno y oxígeno.

Sinterización al vacío: sinterización a 2600-2800 °C durante 2-4 horas en un horno de ultra alto vacío (10^{-5} Pa) con una porosidad del <1%. El entorno de vacío evita la formación de óxidos.

Mecanizado de precisión: estampado o laminado rotativo de varias pasadas, temperatura de procesamiento de 1200 a 1400 °C, deformación de 10 a 15%. Superficie torneada o pulida con una rugosidad de Ra 1,6–3,2 μm.

Control de calidad: Las impurezas se detectaron mediante ICP-MS (Espectrometría de Masas de Plasma Acoplado Inductivamente) y los elementos traza se analizaron mediante GD-MS (Espectrometría de Masas de Descarga Incandescente). Embalaje de sala limpia (ISO Clase 5) para evitar la contaminación de la superficie.

aplicar

Las varillas de tungsteno de alta pureza se utilizan en áreas donde la pureza y la limpieza son críticas: Industria de semiconductores: componentes utilizados en dispositivos de implantación de iones (por ejemplo, electrodos de fuente de iones) con un diámetro de 5 a 20 mm para garantizar la limpieza de la oblea.

Objetivos de pulverización catódica: procesados en objetivos (50-100 mm de diámetro) para la deposición física de vapor (PVD) para la producción de capas de película delgada para circuitos integrados, pantallas OLED y células solares.

Dispositivos médicos: para objetivos de equipos de exploración de rayos X y TC para reducir la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

interferencia de radiación causada por impurezas, de 10 a 30 mm de diámetro.

Aeroespacial: Componentes de precisión utilizados como equipos de prueba de alta temperatura, como fundas protectoras de termopar o elementos de prueba de túnel de viento de alta temperatura.

Investigación científica: se utiliza como electrodo de alta pureza en aceleradores de partículas e investigación con plasma, soportando entornos de alta energía.

Aplicaciones emergentes: Se utiliza en componentes de equipos EUV (litografía ultravioleta extrema) para satisfacer las necesidades de fabricación de chips por debajo de 7 nm.

Retos y tendencias

Desafío: Alto costo de preparación de polvo de tungsteno de alta pureza, gran inversión en equipos CVD; La sinterización al vacío ultra alto tiene requisitos extremadamente altos para la estanqueidad y estabilidad del equipo; El procesamiento de salas limpias aumenta los costos operativos.

Tendencia:

La tecnología de purificación electrolítica se desarrolló para reemplazar el CVD y reducir los costos, con una impureza objetivo < 20 ppm.

El tratamiento superficial con láser se utiliza para mejorar la calidad de la superficie y reducir la dependencia del pulido mecánico.

Investigación sobre tungsteno de ultra alta pureza (99,9999%) para su uso en dispositivos semiconductores de próxima generación, como máquinas de litografía de 3 nm.

Introducir un sistema de control de calidad de IA para monitorear impurezas y defectos de cristales en tiempo real para mejorar el rendimiento.

Pros y contras:

Ventajas: La pureza extremadamente alta garantiza un rendimiento estable y es adecuada para entornos limpios; Los cristales son homogéneos, lo que reduce los defectos.

Desventajas: alto costo de producción, procesamiento difícil; Requisitos estrictos para el equipo y el medio ambiente.

Mercados y estándares

El mercado de varillas de tungsteno de alta pureza se concentra en la fabricación de alta gama. Cumple con los requisitos de alta pureza ASTM B760, el estándar SEMI (industria de semiconductores) y GB/T 4187-2017. El mercado mundial de varillas de tungsteno de alta pureza es de aproximadamente 300 millones de dólares en 2023, impulsado principalmente por las industrias de semiconductores y fotovoltaica.

2.1.3 Varillas de tungsteno dopadas (dopaje de tierras raras, dopaje de óxidos)

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno dopadas son varillas de tungsteno especiales fabricadas mediante la adición de pequeñas cantidades de elementos de tierras raras (por ejemplo, cerio, lantano, itrio) u óxidos (por ejemplo, óxido de torio, zirconio) a la matriz de tungsteno, y la cantidad de dopaje suele ser del 0,5 al 2% en peso. El dopaje mejora la estabilidad del arco, la resistencia a la fluencia, la maquinabilidad y la vida útil del electrodo del tungsteno, y se usa ampliamente en electrodos de soldadura, componentes de hornos de alta temperatura y dispositivos electrónicos. La varilla de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

tungsteno dopada se ha convertido en un material clave en la industria moderna debido a sus propiedades personalizadas.

característica

Propiedades físicas: El punto de fusión y la densidad son similares a los del tungsteno puro (3410 °C, 19,0-19,2 g/cm³), y los elementos dopados refinan el grano (5-15 μm) para mejorar la uniformidad.

Propiedades químicas: Mantiene la resistencia a la corrosión del tungsteno, pero en entornos oxidantes a alta temperatura, ciertos elementos dopados (como el torio) pueden reducir ligeramente la estabilidad. El dopaje con óxido de torio introduce una ligera radiactividad y requiere un tratamiento especial.

Propiedades mecánicas: El refinamiento del grano y el fortalecimiento dopante mejoran la resistencia a la tracción (1000-1200 MPa) y la tenacidad, y reducen las grietas de procesamiento. Resistencia a la fluencia mejorada, adecuada para uso a largo plazo a altas temperaturas.

Conductividad eléctrica y térmica: el dopaje reduce la resistividad (por ejemplo, unos 5,0 μΩ·cm de varilla de tungsteno dopada con torio) y mejora la estabilidad del arco. La conductividad térmica es ligeramente inferior a la del tungsteno puro (unos 160 W/m·K).

Tipos principales

Varilla de tungsteno dopada con tierras raras: Se agregan óxido de cerio (CeO₂), óxido de lantano (La₂O₃) u óxido de itrio (Y₂O₃) para mejorar el rendimiento y la durabilidad del arco, no radiactivo y cumplir con los requisitos de protección ambiental.

Varillas de tungsteno dopadas con óxido: se añaden óxido de torio (ThO₂) y circonio (ZrO₂) para mejorar el rendimiento a altas temperaturas y la vida útil de los electrodos, y algunos tipos (como los dopados con torio) se eliminan gradualmente.

Varillas de tungsteno dopadas compuestas: Combine una variedad de dopantes (como La₂O₃+CeO₂) para optimizar la estabilidad del arco, la vida útil y la resistencia a las quemaduras.

Varillas de tungsteno dopadas con potasio: Trazas añadidas de potasio (50-100 ppm) para mejorar la resistencia a la fluencia, diseñadas para hornos de alta temperatura.

Proceso de producción

Adición de dopantes: El polvo de tungsteno se mezcla uniformemente con óxidos de tierras raras o sales metálicas (como el nitrato de lantano), y se utiliza la molienda de bolas o el secado por pulverización para garantizar una distribución uniforme.

Prensado y sinterización: sinterización a 2300-2600 °C en un horno de protección de hidrógeno, inferior a la temperatura de sinterización del tungsteno puro para evitar que el dopante se volatilice. Después de la sinterización, la densidad es del 95-98%.

Deformación: Estampado rotativo (1200-1400 °C) o trefilado (800-1000 °C) para formar una varilla, dopante para reducir las grietas de procesamiento.

Tratamiento superficial: Torneado o pulido, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm, para electrodos o componentes de alta temperatura.

Control de calidad: XRF (espectroscopía de fluorescencia de rayos X) para detectar el contenido de dopante, SEM (microscopía electrónica de barrido) para analizar la distribución del grano.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

aplicar

Electrodo de soldadura: las varillas de tungsteno dopadas con torio (WT20), dopadas con cerio (WC20), dopadas con lantano (WL20) se utilizan para la soldadura por arco de argón (TIG) y la soldadura por plasma, con un inicio rápido del arco y una baja tasa de quemado.

Elemento de horno de alta temperatura: la varilla de tungsteno dopada con potasio o tierras raras se utiliza para calentar elementos de horno de vacío y horno de hidrógeno, que pueden soportar más de 2500 °C.

Electrónica: Las varillas de tungsteno dopadas se utilizan en los emisores de tubos de rayos catódicos, dispositivos de microondas y láseres.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno de tierras raras se utilizan en equipos experimentales de alta temperatura, como los electrodos de hélice de plasma.

Aplicación emergente: Boquillas de alta temperatura para dispositivos metálicos de impresión 3D, resistentes a la fusión de metales a alta temperatura.

Retos y tendencias

Desafío: La homogeneidad del dopante es difícil de controlar y la sinterización a alta temperatura puede provocar volatilización; La radiactividad de las varillas de tungsteno dopadas con torio limita su aplicación, y es necesario desarrollar alternativas respetuosas con el medio ambiente.

Tendencia:

Investigación y desarrollo de nuevos compuestos dopantes de tierras raras (como $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) para mejorar el rendimiento integral y aumentar la vida útil del objetivo en un 20%.

Se utilizó tecnología de nanodopaje para reducir la cantidad de dopaje (<0,5% en peso) y mejorar el efecto.

Desarrollo de electrodos no radiactivos de alto rendimiento que cumplan con los estándares ambientales globales, como la directiva RoHS de la UE.

Utilice la IA para optimizar las formulaciones de dopaje y predecir el rendimiento y la vida útil del arco.

Pros y contras:

Ventajas: rendimiento personalizado, estabilidad del arco y vida útil mejor que el tungsteno puro; Adecuado para aplicaciones exigentes.

Desventajas: el proceso de producción es complejo y el costo es alto; Algunos dopajes (por ejemplo, torio) tienen restricciones ambientales.

Mercados y estándares

Las varillas de tungsteno dopadas representan más del 70% del mercado de electrodos de soldadura. Cumple con AWS A5.12, YS/T 695-2009 e ISO 24370. El mercado mundial de varillas de tungsteno dopadas es de aproximadamente USD 500 millones en 2023, impulsado principalmente por las industrias aeroespacial y de soldadura.

2.2 Las varillas de tungsteno se clasifican según el proceso de fabricación

El proceso de fabricación de varillas de tungsteno tiene un impacto significativo en su rendimiento, precisión y aplicación. La siguiente es una discusión detallada de las características de la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

sinterización, forja, laminación, estirado y extrusión de varillas de tungsteno de acuerdo con la clasificación de los principales procesos de procesamiento.

2.2.1 Varillas de tungsteno sinterizadas

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno sinterizada es una varilla de tungsteno formada directamente por prensado y sinterización a alta temperatura en pulvimetalurgia, con una densidad teórica del 90-95% y una superficie rugosa con una capa de óxido (piel negra). Como producto semiacabado, las varillas de tungsteno sinterizado son la base para la posterior forja, laminación o embutición y son adecuadas para aplicaciones de desbaste o alta temperatura.

característica

Propiedades físicas: densidad 17,5-18,5 g/cm³, rugosidad superficial Ra 3,2-6,4 μm, con capa de óxido negro.

Características mecánicas: dureza Vickers 300-400 HV, resistencia a la tracción 500-800 MPa, poca tenacidad, microfisuras fáciles de producir.

Microestructura: Granos grandes (10-50 μm) y porosidad de 5-10%, afectando la resistencia y la conductividad.

Proceso de producción

Prensado de polvo de tungsteno: el polvo de tungsteno de alta pureza o el polvo de tungsteno dopado se presan isostáticamente en frío en piezas en bruto de varilla a 100-200 MPa.

Sinterización a alta temperatura: sinterización a 2000-2800 °C durante 1-3 horas en un horno protegido con hidrógeno o al vacío para formar una estructura densa de partículas.

Enfriamiento e inspección: El enfriamiento lento (10-20 °C/min) reduce el estrés interno y la porosidad ultrasónica y la detección de grietas.

aplicar

Productos semiacabados: procesamiento de forja, laminación o embutición para producir varillas de tungsteno de alta precisión.

Horno de alta temperatura: utilizado directamente como soporte de horno de cuarzo, soporta altas temperaturas de 2000 °C.

EDM: Se utiliza como electrodo de electroerosión de baja precisión después del desbaste.

Otros: Piezas temporales para hornos experimentales de alta temperatura, como soportes de crisol.

Retos y tendencias

Desafío: La alta porosidad limita las propiedades mecánicas; El consumo de energía de la sinterización es grande y la protección del hidrógeno debe controlarse estrictamente; Las varillas sinterizadas de gran tamaño son propensas a defectos internos.

Tendencia:

La tecnología de sinterización por microondas se utiliza para reducir la temperatura a 1800 °C y ahorrar energía en un 30%.

Desarrolló un proceso de sinterización de prensado isostático en caliente (HIP) para aumentar la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

densidad al 97%.

Simule el proceso de sinterización utilizando la tecnología de gemelo digital para optimizar el control de la temperatura y la atmósfera.

Pros y contras:

Ventajas: proceso simple, bajo costo; Adecuado para varillas de tungsteno de gran tamaño.

Desventajas: baja densidad y rendimiento, mala calidad de la superficie, requiere un procesamiento adicional.

2.2.2 Varillas de tungsteno forjadas

Las varillas de tungsteno forjado se deforman mediante forja en caliente (forja con martillo o estampación rotativa), lo que da como resultado una densidad cercana al valor teórico (19,0-19,25 g/cm³) y una mejora significativa en las propiedades mecánicas. Granos finos forjados para mejorar la fuerza y la resistencia a la fluencia, adecuados para aplicaciones de alta precisión y alta resistencia.

característica

Propiedades físicas: densidad 19,0–19,25 g/cm³, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm (después de la luz de giro).

Propiedades mecánicas: tamaño de grano 5–20 μm, resistencia a la tracción 1000–1400 MPa, tenacidad ligeramente mejor que la varilla de tungsteno sinterizada.

Microestructura: fuerte orientación del grano, porosidad del <1% y resistencia a la fluencia mejorada.

Proceso de producción

Precalentamiento: La varilla de tungsteno sinterizado se calienta a 1200-1500 °C bajo la protección de hidrógeno o argón para evitar la oxidación.

Forja en caliente: Utilice un martillo neumático o una máquina de estampación rotativa para realizar una forja de varias pasadas con una deformación controlada del 10 al 20 % cada vez para reducir el riesgo de agrietamiento.

Recocido: Recocido de alivio de tensiones a 1000-1200 °C para evitar la propagación de grietas.

Tratamiento superficial: Torneado o pulido hasta obtener una rugosidad superficial de Ra 1,6-3,2 μm para cumplir con los requisitos de precisión requeridos.

aplicar

Piezas industriales: para núcleos de hornos de cuarzo o crisoles de hornos de cristal de zafiro.

Aeroespacial: Mecanizado en contrapesos o componentes de alta temperatura, como toberas de propulsión.

Electrodo: La varilla de tungsteno forjada de alta precisión se utiliza para el corte y la soldadura por plasma.

Otros: se utiliza para moldes de alta temperatura, como moldes de sinterización de cerámica.

Retos y tendencias

Desafío: La forja a alta temperatura requiere equipos especiales; Las varillas de gran diámetro (>50

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

mm) son propensas a agrietarse; La forja tiene un alto consumo de energía.

Tendencia:

Utilice la simulación de elementos finitos para optimizar los parámetros de forja y reducir los defectos.

Desarrollar un proceso híbrido de forja-laminado para mejorar la eficiencia y reducir los costos.

La tecnología de calentamiento por inducción se utiliza para controlar con precisión la temperatura de forja y ahorrar un 20% de energía.

Pros y contras:

Ventajas: alta densidad y resistencia mecánica; Adecuado para aplicaciones exigentes; El refinamiento del grano mejora el rendimiento.

Desventajas: alto costo de procesamiento; Estrictos requisitos de equipo; Es difícil procesar especificaciones grandes.

2.2.3 Varillas de tungsteno laminadas

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno laminadas se procesan posteriormente mediante un proceso de laminación en caliente o laminación en frío, con alta precisión dimensional y buena calidad superficial, adecuadas para la producción en masa de varillas de tungsteno de diámetro pequeño y mediano (5-20 mm).

característica

Propiedades físicas: densidad cercana a la teórica (19,0-19,25 g/cm³), rugosidad superficial Ra 1,6-3,2 μm.

Características mecánicas: orientación del grano inducida por laminación, resistencia a la tracción 1200-1500 MPa, tenacidad ligeramente mejor que la varilla de tungsteno forjada.

Microestructura: granulometría fina y uniforme (5-15 μm), porosidad <1%, excelente resistencia y conductividad.

Proceso de producción

Precalentamiento: Las varillas de tungsteno sinterizadas o forjadas se calientan a 1000-1300 °C para mejorar la ductilidad.

Laminación en caliente: A través de la laminación de varias pasadas, el diámetro se reduce gradualmente y la deformación es del 15-25%.

Laminación en frío (opcional): Laminación en frío de varillas de tungsteno de pequeño diámetro para mejorar la precisión dimensional.

Recocido: El recocido a 900–1100 °C elimina el endurecimiento por trabajo.

aplicar

Industria electrónica: varilla de tungsteno laminada estirada en alambre de tungsteno, fabricación de filamento y electrodo.

Dispositivos médicos: procesados en objetivos de rayos X o escudos de radiación.

Componentes de precisión: se utilizan para piezas mecánicas de alta precisión, como moldes y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

herramientas.

Otros: Se utilizan en equipos experimentales de alta temperatura, como el soporte de termopar.

Retos y tendencias

Desafío: Equipos rodantes costosos; Mala uniformidad de rodadura de gran diámetro (>20 mm); El laminado en frío aumenta los costes.

Tendencia:

La línea de laminación continua se utiliza para mejorar la eficiencia de producción en un 30%.

Se utiliza un sistema automatizado de control de rodadura para garantizar la consistencia dimensional.

Desarrollo de rodillos de aleación de alta temperatura para prolongar la vida útil de los equipos.

Pros y contras:

Ventajas: alta precisión dimensional, buena calidad de superficie, adecuado para la producción en masa.

Desventajas: alto costo del equipo; Limitado a diámetros pequeños y medianos; El laminado en frío consume mucha energía.

2.2.4 Tirar varillas de tungsteno

Definiciones y descripción general

El trefilado de la varilla de tungsteno es un proceso de estirado para reducir gradualmente el diámetro de la varilla de tungsteno sinterizada o forjada a través de un troquel de diamante, generalmente < 5 mm, con alta calidad de superficie y excelente precisión dimensional, adecuado para alambre de tungsteno y electrodos de precisión.

característica

Propiedades físicas: densidad cercana a la teórica (19,2-19,25 g/cm³), rugosidad superficial Ra 1,6-3,2 μm.

Propiedades mecánicas: estructura cristalina fibrosa, resistencia a la tracción 1500–2000 MPa, baja tenacidad.

Microestructura: Los granos están muy orientados a lo largo de la dirección de embutición y la porosidad es cercana al 0%.

Proceso de producción

Preparación de la pieza en bruto: Utilice varillas de tungsteno forjadas o laminadas (diámetro de 5 a 10 mm).

Estirado: Estirado a través de la matriz de diamante a 800-1000 °C con una reducción del diámetro del 5-10%.

Lubricación y recocido: Lubricación con grafito o disulfuro de molibdeno y recocido periódico (900-1100 °C) para aliviar la tensión.

Limpieza y pulido: La limpieza química elimina los lubricantes y pule hasta Ra 1,6-3,2 μm.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

aplicar

Producción de filamentos de tungsteno: varilla de tungsteno estirada para fabricar lámparas incandescentes, lámparas halógenas y filamentos de tungsteno para fuentes de luz especiales.

Electrodo de soldadura: se utiliza para soldadura por arco de argón y electrodo de soldadura por plasma, con alta precisión dimensional.

Microelectrónica: Procesada en electrodos o sondas en miniatura para pruebas de semiconductores.

Otros: Componentes de alta precisión para equipos láser.

Retos y tendencias

Desafío: Los troqueles de diamante se desgastan rápidamente y son costosos; El recocido múltiple aumenta el consumo de energía; El dibujo de diámetro pequeño es fácil de romper.

Tendencia:

Los moldes de diamante policristalino (PCD) se utilizan para prolongar la vida útil en un 50%.

Desarrollo de un proceso de embutición continua para aumentar la producción en un 20%.

El calentamiento y el estirado láser se utilizan para controlar con precisión la temperatura y reducir las roturas.

Pros y contras:

Ventajas: Extrema precisión y calidad de la superficie; Alta intensidad; Apto para microfabricación.

Desventajas: proceso complejo; Gran desgaste del molde; Limitado a diámetros pequeños.

2.2.5 Extrusión de varillas de tungsteno

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno extruida está formada por un proceso de extrusión en caliente, que es adecuada para varillas de tungsteno de gran diámetro (>20 mm) o de sección transversal compleja, con excelente densidad y resistencia.

característica

Propiedades físicas: densidad 19,0–19,2 g/cm³, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm (después del procesamiento).

Características mecánicas: resistencia a la tracción 1000–1300 MPa, fuerte orientación del grano, buena resistencia al impacto.

Microestructura: Grano uniforme (10-20 μm) y <2% de porosidad, adecuada para aplicaciones de alta intensidad.

Proceso de producción

Pre calentamiento de palanquilla: La palanquilla sinterizada se calienta a 1300-1600 °C y se protege con hidrógeno o argón.

Extrusión en caliente: Extrusión por extrusora hidráulica (500-1000 MPa).

Enfriamiento y enderezamiento: Controle la velocidad de enfriamiento (10-20 °C / min) para corregir la deformación.

Tratamiento superficial: Torneado o pulido a Ra 1,6–3,2 μm.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

aplicar

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno extruido de gran diámetro se utilizan para contrapesos de aviones y satélites.

Militar: Procesado en núcleos perforantes de armadura o componentes de energía cinética de alta densidad.

Industrial: se utiliza para soportes de hornos de alta temperatura y moldes grandes.

Otros: se utilizan como material de base para las barras de control de los reactores nucleares.

Retos y tendencias

Desafío: La extrusión a alta presión requiere equipos grandes; Desgaste severo del molde; El control de procesos es complejo.

Tendencia:

Desarrollo de moldes de recubrimiento cerámico para reducir el desgaste en un 30%.

Utilice software de simulación para optimizar los parámetros de extrusión y mejorar el rendimiento.

Investigación sobre la combinación de fabricación aditiva y extrusión para producir formas complejas de varillas de tungsteno.

Pros y contras:

Ventajas: adecuado para especificaciones grandes y secciones transversales complejas; Alta densidad y resistencia.

Desventajas: gran inversión en equipos; La calidad de la superficie es inferior a la de las varillas de tungsteno trefiladas; El proceso es complejo.

2.3 Las varillas de tungsteno se clasifican según su uso

Las varillas de tungsteno se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluidas las industriales, electrónicas, militares y otros campos especiales. A continuación se muestra un desglose detallado.

2.3.1 Varillas de tungsteno para uso industrial

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno industriales se utilizan en entornos de alta temperatura, alta resistencia o alta resistencia al desgaste, como hornos de cuarzo, hornos de cristal de zafiro y equipos de purificación de tierras raras, incluidas varillas de tungsteno puro, varillas de aleación de tungsteno y varillas de tungsteno dopadas.

Características y aplicaciones

Horno de cuarzo: forja o extrusión de varillas de tungsteno puro (diámetro 20-50 mm) como varillas centrales, que soportan altas temperaturas superiores a 2000 °C, para producir vidrio de cuarzo para fibras ópticas.

Horno de cristal de zafiro: Las varillas de tungsteno se procesan en crisoles o soportes para el cultivo de cristales de zafiro para sustratos LED.

Purificación de tierras raras: la varilla de tungsteno se utiliza como contenedor o electrodo de alta temperatura para la fundición y refinación de elementos de tierras raras.

Troqueles y herramientas: Las varillas de aleación de tungsteno (W-Ni-Fe) se utilizan en troqueles

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de estampado y herramientas de corte debido a su alta dureza y resistencia al desgaste.
Otros: se utiliza para soportes de hornos de sinterización de cerámica a alta temperatura.

Producción y requisitos

La forja o extrusión garantiza una alta densidad, una rugosidad superficial de Ra de 1,6 a 3,2 μm y tolerancias dimensionales $\pm 0,1$ mm.

2.3.2 Varillas de tungsteno para electrónica

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno para electrónica se utilizan en la fabricación de filamentos, electrodos y objetivos de pulverización catódica, incluidas varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza y varillas de tungsteno dopadas.

Características y aplicaciones

Filamento: El filamento de tungsteno se fabrica estirando varillas de tungsteno puro, que se utilizan en lámparas incandescentes, lámparas halógenas y fuentes de luz especiales.

Electrodo: La varilla de tungsteno dopada (como WT20, WC20) se utiliza para la soldadura por arco de argón y el electrodo de soldadura por plasma.

Objetivo de pulverización catódica: La varilla de tungsteno de alta pureza se procesa en un objetivo para la deposición de películas de semiconductores y pantallas.

Tubos de vacío y tubos de rayos X: las varillas de tungsteno de alta pureza se utilizan para cátodos y objetivos.

Otros: para emisores láser.

Producción y requisitos

Embutición y pulido hasta Ra 1,6–3,2 μm , alta pureza según las normas ASTM B760 y SEMI.

2.3.3 Varilla de tungsteno para uso militar

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno para uso militar son principalmente varillas de aleación de tungsteno, que se utilizan para componentes militares de alta densidad y alta resistencia, como núcleos de balas perforantes y armas cinéticas.

Características y aplicaciones

Núcleo perforante: Varilla de aleación de tungsteno-níquel-hierro (densidad 18,0-18,5 g/cm³) para munición antitanque con alto poder de penetración.

Armas cinéticas: Las varillas de aleación de tungsteno de gran diámetro se utilizan en ojivas de alta cinética, teóricamente para armas del concepto "Cetro de Dios".

Piezas de armadura: las varillas de tungsteno se mecanizan en revestimientos de boquillas de misiles o protección de armaduras.

Otros: Blindaje radiológico para componentes de armas nucleares.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Producción y requisitos

La extrusión o forja garantiza una alta densidad, según ASTM B777, y una rugosidad superficial de Ra 1,6-3,2 μm .

2.3.4 Otras varillas de wolframio para usos especiales

Definiciones y descripción general

Otras varillas de tungsteno de propósito especial incluyen bienes médicos, científicos y de consumo, como protección contra la radiación, equipos de laboratorio y artículos deportivos.

Características y aplicaciones

Médico: las varillas de aleación de tungsteno se utilizan en blindaje y colimadores para equipos de rayos X y tomografía computarizada.

Investigación científica: la varilla de tungsteno dopada se utiliza en el elemento calefactor del horno experimental de alta temperatura.

Bienes de consumo: las varillas de aleación de tungsteno se procesan en dardos, pesas de palos de golf y joyas de acero de tungsteno.

Otros: Piezas resistentes al desgaste para herramientas de perforación geológica.

Producción y requisitos

Dependiendo de la aplicación, el proceso de estirado, extrusión o forja se selecciona con una rugosidad superficial de Ra 1,6-3,2 μm .

2.4 Las varillas de tungsteno se clasifican según las especificaciones

Las especificaciones de las varillas de tungsteno se basan principalmente en el diámetro y se dividen en tres categorías: diámetro pequeño, diámetro medio y diámetro grande.

2.4.1 Varillas de tungsteno de pequeño diámetro (<5 mm)

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno con diámetros pequeños (<5 mm de diámetro) se preparan mediante un proceso de estirado con alta precisión dimensional y buena calidad superficial.

Características y aplicaciones

Características: diámetro 0,1–5 mm, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm , resistencia a la tracción 1500–2000 MPa.

Aplicaciones: materias primas de filamento de tungsteno, electrodos de soldadura, sondas microelectrónicas, componentes láser.

La producción del proceso de embutición es el pilar, que requiere moldes de alta precisión y recocido múltiple.

2.4.2 Varillas de tungsteno de diámetro medio (5-20 mm)

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno de diámetro medio (5-20 mm) se preparan mediante forja o laminación

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

para proporcionar resistencia y procesabilidad.

Características y aplicaciones

Características: densidad 19,0–19,25 g/cm³, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 µm.

Aplicaciones: componentes de hornos de alta temperatura, contrapesos, electrodos de soldadura, objetivos médicos.

Producción de procesos de forja o laminación, adecuados para la producción en serie.

2.4.3 Varillas de tungsteno de gran diámetro (>20 mm)

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno de gran diámetro (>20 mm) se preparan por extrusión o forja y son adecuadas para piezas de gran formato.

Características y aplicaciones

Características: densidad 19,0–19,2 g/cm³, alta resistencia al impacto, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 µm.

Aplicación: núcleo de bala militar, contrapeso de aviación, molde grande, componentes nucleares.

La producción del proceso de extrusión se basa principalmente en equipos de gran tonelaje.

2.5 Las varillas de tungsteno se clasifican según su estado superficial

La condición de la superficie afecta la aplicación y la procesabilidad de las varillas de tungsteno, que se dividen en varillas de cuero negro, varillas de pulido y varillas de pulido.

2.5.1 Palos de cuero negro

Definiciones y descripción general

La varilla de piel negra es una varilla de tungsteno sinterizada o mecanizada preliminarmente con una capa de óxido en la superficie y no ha sido terminada.

Características y aplicaciones

Características: Rugosidad superficial Ra 3,2-6,4 µm, densidad 17,5-18,5 g/cm³.

Aplicación: productos semiacabados para su posterior forja o laminación; Componentes de desbaste de hornos de alta temperatura.

La producción se enfría directamente después de la sinterización para retener la capa de óxido.

2.5.2 Palos de luz de carro

Definiciones y descripción general

La varilla giratoria elimina la piel negra girando o moliendo, y la superficie es lisa y la precisión dimensional es alta.

Características y aplicaciones

Características: rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm , tolerancia dimensional $\pm 0,05 \text{ mm}$.

Aplicaciones: electrodos de soldadura, elementos de horno de alta temperatura, contrapesos de precisión.

La producción de procesos de torneado o rectificado requiere máquinas herramienta de alta precisión.

2.5.3 Varillas de pulido

Definiciones y descripción general

La varilla de pulido logra una alta calidad superficial a través de un pulido fino, lo que la hace adecuada para entornos limpios y de alta precisión.

Características y aplicaciones

Características: rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm , tolerancia dimensional $\pm 0,02 \text{ mm}$.

Aplicaciones: Electrodos de equipos semiconductores, objetivos de pulverización catódica, componentes médicos.

Producción de pulido de varias pasadas, utilizando muelas abrasivas de diamante o pulido químico.

2.6 Varillas especiales de tungsteno

Las varillas de tungsteno especiales se pueden dopar u optimizar para satisfacer las necesidades específicas de la aplicación.

2.6.1 Varillas de tungsteno potásico

Definiciones y descripción general

Las varillas de potasio-tungsteno (WK) se utilizan en elementos de hornos de alta temperatura para mejorar la resistencia a la fluencia a altas temperaturas mediante la adición de trazas de potasio (50-100 ppm).

Características y aplicaciones

Características: granos finos, fuerte resistencia a la fluencia, vida útil un 20-30% más larga.

Aplicación: Elemento calefactor de horno de alta temperatura, soporte de horno de vacío.

La producción se produce mediante la adición de sales de potasio al polvo de tungsteno, la sinterización y luego el estirado o la forja.

2.6.2 Varillas de volframio dopadas con torio

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno dopada con torio (WT20, que contiene un 2% de ThO_2) fue una vez un material estándar para soldar electrodos debido a su buena estabilidad al arco.

Características y aplicaciones

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características: rápida puesta en marcha del arco, larga vida útil, rugosidad superficial Ra 1,6-3,2 μm , pero ligeramente radiactiva.

Aplicación: Los electrodos de soldadura TIG están siendo reemplazados gradualmente por electrodos respetuosos con el medio ambiente.

El óxido de torio se agrega a la producción y después de la sinterización, el estirado y el moldeo.

2.6.3 Varillas de tungsteno dopadas con cerio

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno dopada con cerio (WC20, con 2% de CeO_2) no es radiactiva y tiene un excelente rendimiento de arco.

Características y aplicaciones

Características: estabilidad del arco, baja tasa de quemado, rugosidad superficial Ra 1,6-3,2 μm , adecuado para soldadura de baja corriente.

Aplicación: Soldadura TIG, electrodo de soldadura por plasma.

El óxido de cerio se agrega a la producción, se sinteriza y luego se estira.

2.6.4 Varillas de tungsteno dopadas con lantano

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno dopadas con lantano (WL15/WL20 con 1,5-2% de La_2O_3) son la primera opción para electrodos de soldadura respetuosos con el medio ambiente.

Características y aplicaciones

Características: alta estabilidad del arco, larga vida útil, no radiactividad, rugosidad superficial Ra 1,6-3,2 μm .

Aplicación: soldadura de alta precisión, electrodos de equipos semiconductores.

El óxido de lantano se añade a la producción, se sinteriza y luego se estira o pule.

2.6.5 Varilla de tungsteno dopada con circonio

Definiciones y descripción general

La varilla de tungsteno dopada con circonio (WZ8, que contiene 0,8% de ZrO_2) es adecuada para la soldadura de CA y tiene una fuerte resistencia a la contaminación.

Características y aplicaciones

Características: resistente a la contaminación por electrodos, adecuado para soldadura de aluminio y magnesio, rugosidad superficial Ra 1,6-3,2 μm .

Aplicación: Electrodo de soldadura TIG de CA.

El zirconio se añade a la producción, se sinteriza y luego se estira.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm^3
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	$\sim 30\%$ IACS
Thermal Conductivity	$\sim 170 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Coefficient of Thermal Expansion	$\sim 4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$
Diameter Range	$\varnothing 1.0 \text{ mm} - \varnothing 100 \text{ mm}$ (customizable)
Length Range	$100 \text{ mm} - 1000 \text{ mm}$ (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

2.6.6 Varilla de tungsteno dopada con itrio

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno dopadas con itrio (WY20 con 2% de Y_2O_3) se utilizan para soldaduras especiales debido a su alta emisividad electrónica.

Características y aplicaciones

Características: Alta emisividad de electrones, adecuado para soldadura de alta frecuencia, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm .

Aplicación: corte por plasma, electrodo especial.

El óxido de itrio se agrega a la producción, se sinteriza y luego se estira.

2.6.7 Varilla de tungsteno compuesta de tierras raras

Definiciones y descripción general

Las varillas de tungsteno compuestas de tierras raras combinan una variedad de óxidos de tierras raras (como $La_2O_3+CeO_2$) para optimizar el rendimiento integral.

Características y aplicaciones

Características: Excelente estabilidad al arco, vida útil y resistencia a la combustión, rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm .

Aplicaciones: soldadura exigente, electrodos aeroespaciales, boquillas de impresión 3D.

Las tierras raras compuestas se añaden a la producción, se estiran o pulen después de la sinterización.

2.7 Comparación de modelos y grados internacionales

Los tipos y grados de varillas de tungsteno se basan en estándares internacionales y nacionales, que son fáciles de comercializar y aplicar.

2.7.1 Grado de varilla de tungsteno puro visión general

Los grados de varilla de tungsteno puro incluyen WP (AWS A5.12), W1 (GB / T 4187-2017) y varilla de tungsteno puro especificada por ASTM B760.

Calificaciones y requisitos

WP: $\geq 99,9\%$ de pureza, utilizado para soldar electrodos y filamentos.

W1: Pureza $\geq 99,95\%$, las impurezas están estrictamente controladas.

ASTM B760: Especifica la pureza y las propiedades mecánicas.

2.7.2 Grados de varillas de tungsteno dopadas

Los grados de varillas de tungsteno dopadas se basan en AWS A5.12 e YS/T 695-2009, los modelos comunes incluyen:

WT20: Electrodo soldado dopado con torio al 2%, marcado en rojo.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

WC20: 2% dopado con cerio, logotipo gris, electrodo respetuoso con el medio ambiente.

WL15/WL20: 1,5-2% dopado con lantano, logotipo dorado o azul, electrodo de alto rendimiento.

WZ8: 0,8% dopado con circonio, logotipo blanco, soldadura AC.

WY20: 2% dopado con itrio, logotipo cian, soldadura especial.

2.7.3 Tabla comparativa de grados nacionales y extranjeros (GB/T, ASTM, ISO)

tipo	Estándar GB/T	Normas ASTM	Norma ISO	AWS A5.12
Varilla de tungsteno puro	W1	ASTM B760	ISO 24370	WP
Varilla de tungsteno dopada con torio	WT	ASTM B776	ISO 24370	WT20
Varilla de tungsteno dopada con cerio	WC	ASTM B776	ISO 24370	WC20
Varilla de tungsteno dopada con lantano	WL	ASTM B776	ISO 24370	WL15/WL20
Varilla de tungsteno dopada con circonio	WZ	ASTM B776	ISO 24370	WZ8
Varillas de aleación de tungsteno	W-Ni-Fe/Cu	ASTM B777	ISO 24370	-

Ilustrar

GB/T 4187-2017 e YS/T 695-2009 estipulan la composición química y las propiedades de las varillas de tungsteno en China.

ASTM B760 y B777 son normas internacionales para tungsteno puro y aleaciones de tungsteno.

La norma ISO 24370 especifica los requisitos generales para el tungsteno y las aleaciones de tungsteno.

AWS A5.12 especifica el grado y la escala de color de las varillas de tungsteno dopadas para electrodos de soldadura.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 3 Características de las varillas de tungsteno

Como material metálico refractario de alto rendimiento, la varilla de tungsteno tiene una amplia gama de aplicaciones en los campos de la industria, la electrónica, la industria aeroespacial, la medicina y la investigación científica debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Este capítulo analiza en detalle las propiedades físicas de las varillas de tungsteno (incluido el alto punto de fusión, la alta densidad, el bajo coeficiente de expansión térmica, la conductividad térmica y la baja presión de vapor), las propiedades químicas (resistencia a la corrosión, estabilidad química y reactividad con los elementos), las propiedades mecánicas (dureza de alta resistencia, resistencia a la fluencia, tenacidad y maquinabilidad) y compara las características de diferentes tipos de varillas de tungsteno (varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza, varillas de tungsteno dopadas), y finalmente proporciona la información MSDS (Hoja de datos de seguridad del material) de las varillas de tungsteno.

3.1 Propiedades físicas de las varillas de tungsteno

Las propiedades físicas de las varillas de tungsteno son la base para una amplia gama de aplicaciones en entornos extremos, que incluyen alto punto de fusión, alta densidad, bajo coeficiente de expansión térmica, buena conductividad térmica y baja presión de vapor. Estas propiedades hacen que las varillas de tungsteno funcionen bien a altas temperaturas, altas cargas y vacíos.

3.1.1 Alto punto de fusión de las varillas de tungsteno

El tungsteno tiene un punto de fusión de 3410 °C, que es el más alto de todos los metales, solo superado por el punto de sublimación del carbono (alrededor de 3550 °C). Esta propiedad hace que las varillas de tungsteno sean un material insustituible en entornos de alta temperatura, adecuado para aplicaciones que soportan cargas de calor extremas. El alto punto de fusión del tungsteno se

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

debe a su estructura reticular cúbica centrada en el cuerpo (BCC), su alta energía de enlace metálico interatómico y su fuerte fuerza de unión, lo que permite que las varillas de tungsteno mantengan la estabilidad estructural a temperaturas cercanas al punto de fusión.

Escenarios de aplicación:

Elementos de horno de alta temperatura: Las varillas de tungsteno se utilizan como varillas centrales de los hornos de cuarzo, que soportan altas temperaturas de 2000 a 2500 °C para producir vidrio de cuarzo para fibras ópticas.

Horno de cristal de zafiro: La varilla de tungsteno se utiliza como crisol o soporte para el crecimiento de cristales de zafiro para sustratos LED con una temperatura de funcionamiento de hasta 2200 °C.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno se utilizan en los revestimientos de las boquillas de los propulsores de alta temperatura, como los propulsores de plasma, para resistir los impactos de plasma a alta temperatura.

Industria de la iluminación: varilla de tungsteno estirada en filamento de tungsteno, utilizada en lámparas incandescentes, lámparas halógenas y fuentes de luz especiales, la temperatura de trabajo puede alcanzar los 2800 °C.

Desafíos técnicos:

A altas temperaturas, las varillas de tungsteno pueden reaccionar en pequeñas cantidades con las atmósferas del horno (por ejemplo, oxígeno o nitrógeno) y deben protegerse con hidrógeno o vacío. El alto punto de fusión requiere equipos especiales de alta temperatura (como hornos de sinterización al vacío), que consumen mucha energía y aumentan los costos de producción.

El funcionamiento a largo plazo a altas temperaturas puede provocar el crecimiento del grano y afectar a las propiedades mecánicas.

Tendencias de desarrollo:

Desarrollar diseños avanzados de hornos de alta temperatura que combinen calentamiento por inducción y atmósferas inertes para reducir el consumo de energía y aumentar la eficiencia.

Se estudiaron compuestos de matriz de tungsteno, y la estabilidad a alta temperatura se mejoró aún más mediante la adición de fases resistentes a altas temperaturas (como el zirconio), y la resistencia a la temperatura objetivo fue de hasta 3000 °C.

La tecnología de sinterización por plasma (SPS) se utiliza para reducir la temperatura de sinterización a 1800 °C, lo que reduce el tamaño excesivo del grano y el consumo de energía.

3.1.2 Alta densidad de varillas de tungsteno

La densidad de las varillas de tungsteno está cerca del valor teórico de 19,25 g/cm³, que es comparable al oro y solo inferior al osmio y al iridio. La alta densidad se debe al apretado empaquetamiento de los átomos de tungsteno y al alto peso atómico (183,84 u), lo que le da una gran masa en un volumen pequeño, lo que lo hace adecuado para contrapesos de alta calidad y aplicaciones de protección contra la radiación.

Escenarios de aplicación:

Contrapesos aeroespaciales: Las varillas de tungsteno se mecanizan en contrapesos de satélites o

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

drones para optimizar la utilización del espacio y el ajuste del centro de gravedad.

Militar: las varillas de aleación de tungsteno (W-Ni-Fe o W-Ni-Cu) se utilizan en núcleos de balas perforantes o armas cinéticas para mejorar la penetración y la energía cinética.

Médico: Las varillas de tungsteno se utilizan en el blindaje de equipos de rayos X y TC para absorber radiación de alta energía y proteger a los operadores.

Bienes de consumo: Las varillas de aleación de tungsteno se utilizan en pesas de palos de golf, dardos o joyas de acero de tungsteno de alta gama para mejorar la estabilidad y la sensación.

Desafíos técnicos:

La alta densidad aumenta la dificultad del mecanizado, requiriendo equipos de alta precisión para controlar las tolerancias dimensionales, especialmente en el embutición de diámetro pequeño.

Las varillas de tungsteno de gran formato (> 50 mm de diámetro) son susceptibles a defectos internos como porosidad o grietas durante la extrusión o la forja.

La adición de níquel, hierro y otros elementos a la varilla de aleación de tungsteno puede reducir la resistencia a la corrosión y es necesario optimizar la relación de aleación.

Tendencias de desarrollo:

Desarrollo de compuestos de matriz de tungsteno de alta densidad (por ejemplo, W-Ni-Cu) para optimizar el equilibrio entre densidad y tenacidad y mejorar la procesabilidad.

Las técnicas de fabricación aditiva, como la impresión 3D, se utilizan para producir contrapesos de formas complejas, lo que reduce el desperdicio de material y los costos de procesamiento.

La simulación de elementos finitos se utiliza para optimizar el proceso de forja y extrusión de grandes varillas de tungsteno, reduciendo los defectos internos y mejorando el rendimiento.

3.1.3 Bajo coeficiente de dilatación térmica de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno tienen un coeficiente de expansión térmica muy bajo de $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20-1000 $^{\circ}\text{C}$), que es mucho más bajo que el acero ($11-13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) y el cobre ($16-18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). El bajo coeficiente de expansión térmica permite que la varilla de tungsteno mantenga una excelente estabilidad dimensional a altas temperaturas, reduzca el estrés térmico y la deformación, y sea adecuada para entornos de alta precisión y alta temperatura.

Escenarios de aplicación:

Equipos semiconductores: Las varillas de tungsteno de alta pureza se utilizan para los electrodos de los equipos de implantación de iones, y la estabilidad dimensional garantiza la precisión del procesamiento de las obleas.

Horno de alta temperatura: la varilla de tungsteno se utiliza como varilla de núcleo de horno de cuarzo o soporte de horno de zafiro, que puede soportar altas temperaturas superiores a 2000 $^{\circ}\text{C}$ sin deformación.

Industria óptica: Las varillas de tungsteno se utilizan en los componentes de los equipos láser para mantener el sistema óptico alineado y evitar que la deformación térmica afecte la trayectoria óptica.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno se utilizan en componentes de prueba de túnel de viento de alta temperatura para resistir la deformación térmica y mantener la precisión experimental.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Desafíos técnicos:

La combinación de bajo coeficiente de expansión térmica y baja tenacidad hace que las varillas de tungsteno sean sensibles al choque térmico, y los cambios rápidos de temperatura pueden causar microgrietas.

El desajuste de la expansión térmica con otros materiales a altas temperaturas puede provocar tensiones interfaciales que afectan al rendimiento de las piezas compuestas.

El mecanizado de precisión debe tener en cuenta la diferencia en la expansión térmica para garantizar el control de la tolerancia.

Tendencias de desarrollo:

Investigar los compuestos de matriz de tungsteno para ajustar el coeficiente de expansión térmica para que coincida con otros materiales (por ejemplo, cerámica o aleaciones) y reducir las tensiones interfaciales.

La simulación de elementos finitos se utiliza para optimizar el diseño de componentes, predecir la distribución de la tensión térmica y reducir el riesgo de deformación térmica.

Desarrollo de tecnologías de recubrimiento de alta temperatura (por ejemplo, recubrimientos de zirconio) para mejorar la resistencia al choque térmico de las varillas de tungsteno.

3.1.4 Conductividad térmica y eléctrica de las varillas de wolframio

La varilla de tungsteno tiene buena conductividad térmica y conductividad eléctrica moderada, con una conductividad térmica de aproximadamente $173 \text{ W / m} \cdot \text{K}$ (20°C) y una conductividad eléctrica del 18% IACS (Estándar internacional para cobre recocido, aproximadamente $9,8 \text{ MS / m}$). Estas propiedades se derivan de la estructura de enlace metálico y la movilidad electrónica del tungsteno, lo que lo hace adecuado para aplicaciones conductoras de alta temperatura y térmicamente conductoras. Aunque la conductividad es menor que la del cobre (100% IACS), la estabilidad de las varillas de tungsteno a altas temperaturas y la baja tasa de cambio de resistencia les dan una ventaja en escenarios específicos.

Escenarios de aplicación:

Electrónica: Las varillas de tungsteno se utilizan en cátodos de tubos de vacío, objetivos de tubos de rayos X y electrodos de mecanizado por descarga eléctrica (EDM), combinando conductividad y estabilidad a altas temperaturas.

Electrodos de soldadura: Las varillas de tungsteno dopadas (como las dopadas con cerio o lantano) se utilizan para la soldadura por arco de argón (TIG) y la soldadura por plasma, y la estabilidad del arco depende de su conductividad.

Horno de alta temperatura: la varilla de tungsteno se utiliza como elemento calefactor, utilizando la conductividad térmica para transferir calor rápidamente, y la temperatura de trabajo puede alcanzar los 2500°C .

Investigación científica: La varilla de tungsteno se utiliza como electrodo para experimentos de superconductividad a alta temperatura, y su conductividad y resistencia a altas temperaturas garantizan la confiabilidad del experimento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Desafíos técnicos:

La conductividad es menor que la del cobre y la plata, lo que limita la competitividad de las varillas de tungsteno en aplicaciones de baja resistencia.

La resistividad aumenta ligeramente a altas temperaturas (alrededor de $0,004/^{\circ}\text{C}$) y el diseño del circuito debe optimizarse para compensar.

La conductividad térmica disminuye ligeramente a temperaturas muy altas ($>2000^{\circ}\text{C}$) y es necesario considerar el diseño de gestión térmica.

Tendencias de desarrollo:

Desarrollo de varillas de tungsteno dopadas (por ejemplo, dopadas con lantano o cerio) para reducir la resistividad y mejorar la estabilidad del arco.

ESTUDIO DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS DE TUNGSTENO PARA OPTIMIZAR LA CONDUCTIVIDAD A TRAVÉS DE LA INGENIERÍA DE LÍMITES DE GRANO SNOWFLAKE.

Se utiliza un recubrimiento conductor (por ejemplo, un recubrimiento de grafeno) para mejorar la conductividad de la superficie de las varillas de tungsteno para electrodos especiales.

3.1.5 Baja presión de vapor de varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno tienen una presión de vapor muy baja ($<10^{-4}$ Pa a 3000°C) a altas temperaturas, lo que las hace estables en entornos de vacío o alta temperatura, y no son fáciles de volatilizar o contaminar el medio ambiente. Esta propiedad se debe al alto punto de fusión y a los fuertes enlaces metálicos del tungsteno, que reducen la evaporación de los átomos a altas temperaturas.

Escenarios de aplicación:

Horno de vacío: la varilla de tungsteno se utiliza como elemento calefactor o soporte para el horno de vacío a alta temperatura para evitar la volatilización del material y la contaminación del entorno del horno.

Fabricación de semiconductores: las varillas de tungsteno de alta pureza se utilizan en equipos de implantación de iones y objetivos de pulverización catódica, y la baja presión de vapor garantiza un entorno de sala limpia libre de contaminación.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno se utilizan en equipos experimentales de vacío a alta temperatura, como dispositivos de investigación de plasma, para mantener la estabilidad a largo plazo.

Electrónica: Las varillas de tungsteno se utilizan en tubos de electrones de vacío (por ejemplo, tubos de rayos X) para evitar que la volatilización del material a altas temperaturas afecte el rendimiento.

Desafíos técnicos:

Las trazas de impurezas, como el oxígeno o el carbono, pueden aumentar la presión de vapor, y la pureza de la materia prima debe controlarse estrictamente.

El sistema de vacío requiere un vacío ultra alto (menos de 10^{-5} Pa), lo que requiere una alta estanqueidad del equipo.

El funcionamiento a largo plazo a altas temperaturas puede provocar la oxidación de la superficie,

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

lo que requiere una atmósfera protectora o un revestimiento.

Tendencias de desarrollo:

Desarrolló tungsteno de ultra alta pureza (99,9999%) para reducir aún más la presión de vapor y satisfacer las necesidades de los semiconductores de próxima generación.

Investigue recubrimientos antioxidantes de alta temperatura (por ejemplo, SiC o Al_2O_3) para reducir la evaporación de la superficie.

Optimice el diseño del horno de vacío, combinado con la sinterización por plasma a baja temperatura, para reducir la temperatura de funcionamiento.

3.2 Propiedades químicas de las varillas de tungsteno

Las propiedades químicas de las varillas de tungsteno incluyen una excelente resistencia a la corrosión, estabilidad química y reactividad elemental limitada, lo que las hace excelentes en entornos químicos hostiles y adecuadas para una amplia gama de aplicaciones industriales y científicas.

3.2.1 Resistencia a la corrosión de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno tienen una excelente resistencia a la corrosión por ácidos, álcalis y la mayoría de los agentes oxidantes (como el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico, el ácido fluorhídrico) a temperatura ambiente, y solo reaccionan lentamente en ácido nítrico concentrado a alta temperatura o álcali fundido (como el hidróxido de sodio). La resistencia a la corrosión es el resultado de una densa capa de óxido (WO_3) formada en la superficie del tungsteno, que aísla eficazmente los productos químicos externos.

Escenarios de aplicación:

Industria química: Las varillas de tungsteno se utilizan en electrodos o contenedores resistentes a la corrosión, como equipos de procesamiento electroquímico.

Horno de alta temperatura: La varilla de tungsteno se utiliza como elemento calefactor en hidrógeno o en atmósfera inerte y es resistente a los gases corrosivos.

Equipo médico: La varilla de tungsteno se utiliza como objetivo para equipos de rayos X para resistir entornos de oxidación a alta temperatura.

Marino: la varilla de aleación de tungsteno se utiliza como contrapeso en el entorno de agua de mar, resistente a la corrosión por niebla salina.

Desafíos técnicos:

La capa de óxido puede espesarse o desprenderse a altas temperaturas, lo que requiere una atmósfera protectora (por ejemplo, hidrógeno o argón).

Ciertos agentes oxidantes fuertes, como el agua regia, pueden corroer las varillas de tungsteno a altas temperaturas, lo que limita la gama de aplicaciones.

La adición de níquel o hierro a las varillas de aleación de tungsteno puede reducir la resistencia a la corrosión y es necesario optimizar la relación de aleación.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Tendencias de desarrollo:

Desarrollo de recubrimientos resistentes a la corrosión (por ejemplo, circonio o nitruro de silicio) para mejorar la resistencia a la corrosión a altas temperaturas.

Investigación sobre materiales compuestos de matriz de tungsteno con la adición de elementos resistentes a la corrosión como el cromo para mejorar el rendimiento.

Optimice los procesos de tratamiento de superficies (por ejemplo, pulverización de plasma) para crear una capa protectora más densa.

3.2.2 Estabilidad química de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno son químicamente estables a temperatura ambiente y moderada (<500 °C) y prácticamente no reaccionan con oxígeno, nitrógeno u otros gases comunes. A altas temperaturas (>1000 °C), las varillas de tungsteno pueden formar lentamente WO₃ con oxígeno, o compuestos duros (por ejemplo, WC, WN) con carbono y nitrógeno, pero la velocidad de reacción es baja y debe ser desencadenada por condiciones específicas.

Escenarios de aplicación:

Entorno de vacío: la varilla de tungsteno se utiliza en el elemento calefactor del horno de vacío, y la estabilidad química garantiza un funcionamiento a largo plazo sin contaminación.

Fabricación de semiconductores: Las varillas de tungsteno de alta pureza se utilizan en dispositivos de implantación de iones para evitar que las reacciones químicas contaminen las obleas.

Experimentos a alta temperatura: Las varillas de tungsteno se utilizan en la investigación de superconductividad a alta temperatura o plasma para permanecer químicamente inertes.

Electrónica: Las varillas de tungsteno se utilizan en el cátodo de los tubos de vacío para evitar que las reacciones químicas afecten el rendimiento.

Desafíos técnicos:

Las trazas de reacción con el oxígeno o el carbono a altas temperaturas pueden provocar el deterioro de la superficie, lo que requiere un estricto control de la atmósfera.

El dopaje con aditivos en las varillas de tungsteno, como el óxido de torio, puede reducir la estabilidad química y requerir la optimización de la formulación.

El funcionamiento a largo plazo a altas temperaturas puede desencadenar la acumulación de compuestos superficiales, lo que puede afectar a la conductividad.

Tendencias de desarrollo:

El tungsteno de ultra alta pureza (99,999%) se desarrolló para reducir las reacciones químicas causadas por las impurezas.

El recubrimiento de deposición química de vapor (CVD) se utiliza para formar una capa protectora estable y prolongar la vida útil.

Investigación sobre la tecnología de recubrimiento autorreparable para reparar automáticamente los daños superficiales a altas temperaturas.

3.2.3 Reactividad de las varillas de tungsteno con otros elementos

Las varillas de tungsteno tienen una reactividad muy baja con otros elementos a temperatura

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

ambiente y solo tienen reacciones limitadas con oxígeno, carbono, nitrógeno, flúor y otros elementos en condiciones específicas de alta temperatura. Por ejemplo, el WO_3 se forma con oxígeno a $> 1000\text{ }^\circ\text{C}$, el carburo de tungsteno (WC) con carbono a $> 1500\text{ }^\circ\text{C}$ y el nitruro de tungsteno (WN) con nitrógeno a $> 2000\text{ }^\circ\text{C}$. Estas reacciones requieren una activación de alta energía, y los productos de la reacción suelen ser compuestos de alta dureza, algunos de los cuales se pueden utilizar para mejorar las propiedades de las varillas de tungsteno.

Escenarios de aplicación:

Recubrimiento duro: Utilizando la reactividad del tungsteno y el carbono, se forma un recubrimiento WC en la superficie de la varilla de tungsteno para mejorar la resistencia al desgaste.

Experimento de alta temperatura: La varilla de tungsteno se utiliza en un reactor de alta temperatura en una atmósfera inerte para controlar la reacción con carbono o nitrógeno.

Electrodo de soldadura: La varilla de tungsteno dopada reacciona con el oxígeno en el arco de alta temperatura para mantener la estabilidad del arco.

Industria química: las varillas de tungsteno se utilizan en recipientes de reacción química especiales para resistir la corrosión por gases específicos.

Desafíos técnicos:

La reacción a alta temperatura puede cambiar las propiedades de la superficie de la varilla de tungsteno y afectar la conductividad eléctrica o térmica.

Los productos de reacción (por ejemplo, WO_3) pueden degradar la calidad de la superficie y deben limpiarse o protegerse regularmente.

Los elementos dopantes pueden causar reacciones complejas que requieren un control preciso de las cantidades de dopaje y las condiciones del proceso.

Tendencias de desarrollo:

Investigue la tecnología de reacción selectiva para controlar la reacción del tungsteno con elementos específicos a alta temperatura para formar recubrimientos funcionales.

Desarrollo de recubrimientos compuestos multicapa (por ejemplo, $\text{WC}/\text{Al}_2\text{O}_3$) que equilibran la resistencia a la corrosión y la funcionalidad.

Optimice la tecnología de control de atmósfera, reduzca las reacciones innecesarias a alta temperatura y mejore la vida útil de las varillas de tungsteno.

3.3 Propiedades mecánicas de las varillas de tungsteno

Las propiedades mecánicas de las varillas de tungsteno incluyen alta resistencia y dureza, excelente resistencia a la fluencia y tenacidad y maquinabilidad limitadas, lo que las hacen excelentes en entornos de alta carga y tensión a alta temperatura, pero son difíciles de procesar.

3.3.1 Alta resistencia y dureza de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno tienen una resistencia y dureza extremadamente altas, con un rango de dureza Vickers (HV) de 350 a 500 y una resistencia a la tracción entre 700 y 2000 MPa (dependiendo del proceso de procesamiento y dopaje). La alta resistencia se debe a los fuertes enlaces metálicos y la red cúbica de tungsteno centrada en el cuerpo, y la alta dureza lo hace resistente al desgaste y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

adecuado para aplicaciones de alta carga.

Escenarios de aplicación:

Moldes de alta temperatura: Las varillas de tungsteno se utilizan en moldes de formación de vidrio o sinterización de cerámica para resistir la alta presión y el desgaste.

Militar: las varillas de aleación de tungsteno se utilizan para perforar núcleos de balas, combinados con alta dureza y densidad, para mejorar la penetración.

Herramientas industriales: Las varillas de tungsteno se mecanizan en herramientas de corte o troqueles de estampado y son resistentes a altas tensiones.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno se utilizan en componentes de propulsores de alta temperatura para soportar cargas mecánicas.

Desafíos técnicos:

La alta dureza aumenta la dificultad de corte y esmerilado, lo que requiere herramientas de diamante o mecanizado láser.

Alta resistencia pero alta fragilidad, fácil de producir microfisuras durante el procesamiento.

Las varillas de tungsteno de gran formato (>50 mm) se forjan o extruyen con concentración de tensiones internas, y es necesario optimizar el proceso.

Tendencias de desarrollo:

El material de tungsteno nanocristalino se utiliza para refinar el grano a <100 nm para mejorar la resistencia y la dureza.

Desarrollo de tecnología de procesamiento asistido por plasma para reducir las grietas de procesamiento y mejorar la precisión.

Se estudian los compuestos de matriz de tungsteno, con la adición de fases que mejoran la tenacidad (por ejemplo, níquel) para equilibrar la resistencia y la tenacidad.

3.3.2 Resistencia a la fluencia de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno tienen una excelente resistencia a la fluencia a altas temperaturas (>2000 °C) y pueden soportar tensiones durante mucho tiempo sin deformaciones significativas. La resistencia a la fluencia se deriva del alto punto de fusión y la estructura cristalina estable del tungsteno, y las varillas de tungsteno dopadas (por ejemplo, potasio o tierras raras) se mejoran aún más con el fortalecimiento del límite de grano.

Escenarios de aplicación:

Horno de alta temperatura: La varilla de tungsteno se utiliza como soporte para un horno de cuarzo o un horno de zafiro y está sujeta a un estrés a alta temperatura a largo plazo.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno se utilizan en componentes de prueba de túnel de viento de alta temperatura para resistir la deformación por fluencia.

Investigación científica: Las varillas de tungsteno se utilizan en equipos experimentales de alta temperatura para mantener la estabilidad dimensional a largo plazo.

Industrial: Las varillas de tungsteno se utilizan en moldes de alta temperatura para resistir la deformación bajo tensión a largo plazo.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Desafíos técnicos:

El crecimiento del grano a temperaturas muy altas ($>2500\text{ }^{\circ}\text{C}$) puede reducir la resistencia a la fluencia y es necesario controlar la microestructura.

El funcionamiento a largo plazo puede provocar la oxidación de la superficie o la volatilización del dopante, lo que afecta al rendimiento.

Las varillas de tungsteno dopadas deben optimizar la distribución del dopante para evitar un rendimiento desigual local.

Tendencias de desarrollo:

Desarrollo de tecnologías de dopaje (por ejemplo, dopaje de tierras raras compuestas) para mejorar aún más la resistencia a la fluencia y prolongar la vida útil del objetivo en un 30%.

El proceso de prensado isostático en caliente (HIP) se utiliza para reducir los defectos del límite del grano y mejorar la estabilidad a alta temperatura.

Investigación sobre tecnología de monitorización in-situ a alta temperatura para evaluar el comportamiento de la fluencia en tiempo real y optimizar el diseño.

3.3.3 Tenacidad y maquinabilidad de las varillas de tungsteno

Las varillas de tungsteno tienen baja tenacidad y son quebradizas, especialmente a temperatura ambiente. La estructura de celosía cúbica centrada en el cuerpo y la alta dureza dan como resultado una ductilidad deficiente y se procesan a altas temperaturas ($800\text{-}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) o múltiples tiempos de recocido para mejorar la plasticidad. Las varillas de tungsteno dopadas pueden mejorar ligeramente la tenacidad al agregar tierras raras u óxidos (como óxido de cerio, óxido de lantano), pero aún así son difíciles de procesar.

Escenarios de aplicación:

Estirado: Las varillas de tungsteno se introducen en filamentos de tungsteno ($0,01\text{-}0,1\text{ mm}$ de diámetro), que requieren alta temperatura y múltiples recocidos para la producción de filamentos.

Piezas de precisión: Las varillas de tungsteno se procesan en sondas o electrodos semiconductores, que requieren tecnología de mecanizado de alta precisión.

Electrodo de soldadura: La varilla de tungsteno dopada (WC20, WL20) se procesa en electrodo y la tenacidad se optimiza para mejorar la vida útil.

Fabricación de moldes: las varillas de tungsteno se procesan en moldes de formas complejas, que requieren procesamiento láser o EDM.

Desafíos técnicos:

La fragilidad es alta a temperatura ambiente y el procesamiento es fácil de producir microfisuras, lo que reduce la tasa de rendimiento.

El procesamiento a alta temperatura requiere equipos especializados, como hornos de vacío o calentadores de inducción, lo que aumenta los costos.

Las varillas de tungsteno de diámetro pequeño ($<1\text{ mm}$) tienen un alto riesgo de fractura por extracción y requieren un control preciso de la deformación.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Tendencias de desarrollo:

Desarrolló la tecnología de sinterización de polvo de tungsteno a nanoescala para refinar los granos y mejorar la tenacidad y la procesabilidad.

El procesamiento láser o el mecanizado por electroerosión se utiliza para reducir el estrés mecánico y mejorar la precisión del mecanizado.

Investigación de nuevos dopantes (como las tierras raras compuestas) para mejorar la tenacidad a temperatura ambiente y reducir la dificultad de procesamiento.

3.4 Comparación de las características de diferentes tipos de varillas de tungsteno

Existen diferencias significativas en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los diferentes tipos de varillas de tungsteno (varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza, varillas de tungsteno dopadas), que afectan sus campos de aplicación y rendimiento.

3.4.1 Varilla de tungsteno puro y varillas de tungsteno de alta pureza

Comparación de propiedades físicas:

Varilla de tungsteno puro (pureza $\geq 99,9\%$): densidad 19,0–19,25 g/cm³, punto de fusión 3410°C, coeficiente de expansión térmica $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, conductividad térmica 173 W/m·K, conductividad eléctrica 18% IACS. Los tamaños de grano de 10 a 50 μm y las trazas de impurezas (100 a 500 ppm) pueden afectar el rendimiento a altas temperaturas.

Varilla de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$): densidad cercana al valor teórico de 19,25 g/cm³, grano más fino (5-15 μm), contenido de impurezas < 50 ppm, conductividad ligeramente mejor (resistividad de aproximadamente 5,3 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ frente a 5,5 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$), menor presión de vapor, adecuada para entornos limpios.

Comparación de propiedades químicas:

Varilla de tungsteno puro: fuerte resistencia a la corrosión, pero la reacción traza al oxígeno o al carbono es más obvia a altas temperaturas y es necesario proteger la atmósfera.

Varillas de tungsteno de alta pureza: mayor estabilidad química, casi sin reacción con productos químicos a temperatura ambiente, menor tasa de formación de WO₃ a altas temperaturas, adecuadas para aplicaciones de vacío o salas limpias.

Comparación de características mecánicas:

Varilla de tungsteno puro: dureza Vickers 350-450 HV, resistencia a la tracción 700-1000 MPa, baja tenacidad, recocido a alta temperatura para el procesamiento.

Varilla de tungsteno de alta pureza: la dureza es ligeramente superior (400-500 HV), la resistencia a la tracción es de 800-1100 MPa y el refinamiento del grano mejora la resistencia, pero la tenacidad sigue siendo limitada y requiere un mecanizado de precisión.

Diferencias de aplicación:

Varilla de tungsteno puro: adecuada para aplicaciones generales de alta temperatura, como varillas de núcleo de horno de cuarzo, materias primas de filamentos, contrapesos.

Varillas de tungsteno de alta pureza: Especialmente diseñadas para entornos limpios y de alta precisión, como electrodos para equipos de implantación de iones semiconductores, objetivos de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

pulverización catódica y componentes de máquinas de litografía EUV.

Desafíos técnicos:

Las varillas de tungsteno puro son menos costosas, pero las impurezas pueden afectar la consistencia del rendimiento.

La producción de varillas de tungsteno de alta pureza requiere purificación CVD y procesamiento en sala limpia, lo que tiene un alto costo y estrictos requisitos de equipo.

Tendencias de desarrollo:

Varilla de tungsteno puro: optimiza el proceso de sinterización, reduce las impurezas y mejora la estabilidad del rendimiento.

Varilla de tungsteno de alta pureza: desarrolle tungsteno de ultra alta pureza (99,9999%) para satisfacer las necesidades de fabricación de chips por debajo de 3 nm.

3.4.2 Propiedades especiales de las varillas de tungsteno dopadas

Propiedades físicas: Las varillas de tungsteno dopadas (que contienen 0,5-2% en peso de tierras raras u óxidos, como óxido de cerio, óxido de lantano, óxido de torio) son ligeramente menos densas que las varillas de tungsteno puro (19,0-19,2 g/cm³) debido a la menor densidad de los dopantes. El refinamiento del grano es de 5-15 μm, y el coeficiente de expansión térmica y la conductividad térmica (alrededor de 160 W / m·K) es ligeramente más bajo que el de la varilla de tungsteno puro, pero la conductividad eléctrica es ligeramente mayor (aproximadamente 5,0 μΩ·cm), debido a la movilidad electrónica mejorada del dopante.

Propiedades químicas: Las varillas de tungsteno dopadas mantienen la resistencia a la corrosión y la estabilidad química del tungsteno, pero a altas temperaturas, algunos dopantes (como el óxido de torio) pueden causar una ligera reacción que reduce la estabilidad. El dopaje de tierras raras (como el dopado con cerio y lantano) no es radiactivo, cumple con los requisitos de protección ambiental y tiene una mejor estabilidad química.

Características mecánicas: La varilla de tungsteno dopada está reforzada por límites de grano para mejorar la resistencia a la tracción (1000-1200 MPa) y la tenacidad, y la resistencia a la fluencia mejora significativamente, lo que es adecuado para el estrés a largo plazo a alta temperatura. Con una dureza Vickers de 400-500 HV, la procesabilidad es mejor que la de las varillas de tungsteno puro, pero aún así debe procesarse a altas temperaturas.

Escenarios de aplicación:

Electrodo de soldadura: La varilla de tungsteno dopada (como WC20, WL20) se utiliza para la soldadura por arco de argón y la soldadura por plasma, con alta estabilidad de arco y baja tasa de quemado.

Horno de alta temperatura: la varilla de tungsteno dopada con potasio o tierras raras se utiliza para el elemento calefactor del horno de vacío, que puede soportar más de 2500 °C.

Electrónica: Las varillas de tungsteno dopadas se utilizan en tubos de rayos catódicos, dispositivos de microondas y emisores láser.

Aplicación emergente: Boquillas de alta temperatura para dispositivos metálicos de impresión 3D, resistentes a la fusión de metales a alta temperatura.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Desafíos técnicos:

La uniformidad del dopante es difícil de controlar, y la sinterización a alta temperatura puede provocar volatilización y afectar el rendimiento.

La aplicación de varillas de tungsteno dopadas con torio es ligeramente radiactiva, y es necesario desarrollar alternativas respetuosas con el medio ambiente.

El proceso de dopaje aumenta la complejidad y el costo de la producción, lo que requiere la optimización de recetas y procesos.

Tendencias de desarrollo:

Investigación y desarrollo de dopaje compuesto de tierras raras (como $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) para mejorar la estabilidad del arco, la vida útil y la resistencia a las quemaduras.

La tecnología de nanodopaje se utiliza para reducir la cantidad de dopaje (<0,5 % en peso) y mejorar la eficiencia del rendimiento.

Desarrollo de electrodos no radiactivos de alto rendimiento que cumplan con los estándares ambientales globales (por ejemplo, la Directiva RoHS de la UE).

3.5 Hoja de datos de seguridad de varilla de tungsteno de CITA GROUP LTD

El siguiente es un resumen de la MSDS (Hoja de datos de seguridad del material) de las varillas de tungsteno de Chinatungsteno, que cubre la seguridad, la salud y la información ambiental basada en las características generales y los estándares de la industria de las varillas de tungsteno. Dado que la varilla de tungsteno es un material metálico sólido, su contenido de MSDS es relativamente conciso, centrándose principalmente en los riesgos potenciales en el procesamiento y el uso.

Hojas de datos de seguridad de materiales (MSDS)

Nombre del producto: Varilla de tungsteno (varilla de tungsteno puro, varilla de tungsteno de alta pureza, varilla de tungsteno dopada)

Composición química:

Varilla de tungsteno puro: tungsteno (W) $\geq 99,9\%$, trazas de impurezas (Fe, Ni, C, O, etc., 100-500 ppm).

Varilla de tungsteno de alta pureza: tungsteno (W) $\geq 99,95\%$, impurezas < 50 ppm.

Varilla de tungsteno dopada: tungsteno (W) 97-99,5%, dopante (como CeO_2 , La_2O_3 , ThO_2 , K) 0,5-2% en peso.

Forma física: Varilla de metal sólido con densidad de 19,0 a 19,25 g/cm³ y rugosidad superficial de Ra de 1,6 a 3,2 μm .

Descripción general de peligros:

No hay peligro significativo a temperatura ambiente, alta estabilidad química y no es fácil de quemar o explotar.

El procesamiento (por ejemplo, cortar, esmerilar, soldar) puede producir polvo o vapores metálicos, que pueden causar irritación respiratoria si se inhalan.

La varilla de tungsteno dopada con torio (WT20) contiene óxido de torio, que es ligeramente radiactivo y requiere una protección especial.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Riesgos para la salud:

Inhalación: El polvo de tungsteno puede irritar las vías respiratorias y la exposición a largo plazo puede causar molestias pulmonares.

Contacto con la piel: Las varillas sólidas de tungsteno no son tóxicas, pero el polvo de procesamiento puede causar una irritación leve de la piel.

Contacto con los ojos: El polvo puede causar irritación mecánica y debe enjuagarse con los ojos.

Ingestión: La probabilidad de ingestión accidental es baja, y pequeñas cantidades de ingestión no son significativamente tóxicas, pero deben evitarse.

Varillas de tungsteno dopadas con torio: La exposición a largo plazo al polvo de óxido de torio puede aumentar el riesgo de radiación y la exposición debe controlarse.

Precauciones de seguridad:

Protección personal: Use una mascarilla contra el polvo (N95 o superior), gafas protectoras y guantes durante el procesamiento.

Ventilación: El área de procesamiento debe estar equipada con un sistema de extracción o eliminación de polvo local para controlar la concentración de polvo.

Protección radiactiva (varillas de tungsteno dopadas con torio): utilice una campana extractora especial, controle los niveles de radiación con regularidad y cumpla con las normativas locales (por ejemplo, China GB 18871-2002).

Manipulación y almacenamiento:

Almacene en un almacén seco y bien ventilado, lejos del contacto con agentes oxidantes fuertes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado).

El equipo de procesamiento debe estar conectado a tierra para evitar explosiones de polvo causadas por la acumulación de electricidad estática.

Las varillas de tungsteno de desecho se reciclan como residuos metálicos, y las varillas de tungsteno dopadas con torio deben eliminarse de acuerdo con las regulaciones de desechos radiactivos.

Medidas de primeros auxilios:

Inhalación: Lleve a la persona al aire libre y busque atención médica si es necesario.

Contacto con la piel: Lávese la piel con agua y jabón y busque atención médica si es necesario.

Contacto visual: Enjuague con abundante agua durante al menos 15 minutos y busque atención médica si es necesario.

Ingesta: Enjuáguese la boca inmediatamente, diluya con agua y busque atención médica si es necesario.

Impacto ambiental:

Las varillas de tungsteno en sí mismas no son tóxicas para el medio ambiente, pero el polvo de procesamiento puede contaminar el aire o los cuerpos de agua y debe recolectarse adecuadamente.

Los residuos dopados con varilla de torio-tungsteno deben eliminarse de acuerdo con la normativa sobre residuos radiactivos para evitar la contaminación ambiental.

Información Regulatoria:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Cumple con China GB/T 4187-2017 (estándar de varilla de tungsteno) y YS/T 695-2009 (estándar de electrodo de tungsteno).

Las varillas de tungsteno dopadas con torio están sujetas al Código de Seguridad para Materiales Radiactivos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y a la norma china GB 18871-2002 (Norma de protección contra la radiación ionizante).

Información de envío:

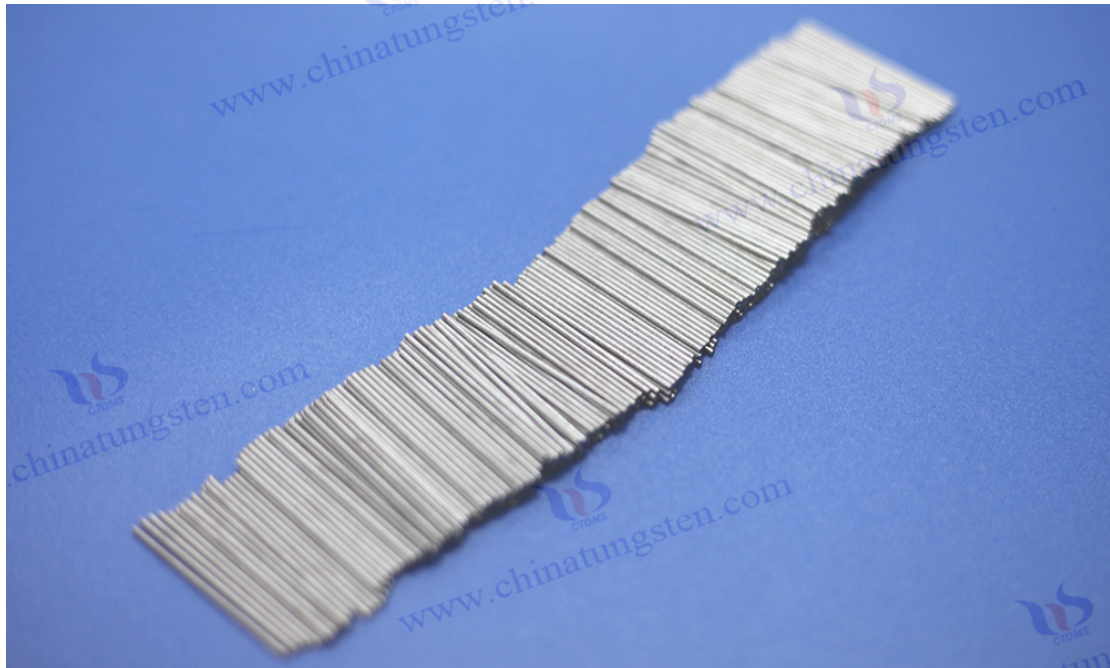
Transporte de mercancías no peligrosas, de acuerdo con los requisitos de la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA).

Las varillas de tungsteno dopadas con torio deberán estar marcadas con advertencias radiactivas, y deberán ser embaladas y transportadas de acuerdo con la reglamentación.

Información del proveedor

Proveedor: CTIA GROUP LTD

Tel: 0592-5129696/5129595



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Capítulo 4 Tecnología de preparación y producción de varillas de tungsteno

Como material metálico refractario de alto rendimiento, el proceso de preparación de la varilla de tungsteno implica un tratamiento complejo de la materia prima, pulvimetalurgia, procesamiento de deformación, postratamiento y tecnología personalizada para diferentes tipos de varilla de tungsteno. El alto punto de fusión del tungsteno (3410 °C), su alta densidad (19,25 g/cm³) y sus propiedades mecanoquímicas únicas imponen exigencias estrictas a los equipos de producción y al control de procesos. Este capítulo discutirá en detalle el proceso de preparación y producción de varillas de tungsteno, incluida la preparación de la materia prima, la tecnología de pulvimetalurgia, la tecnología de procesamiento de deformación, la preparación de varillas de tungsteno a gran escala, la tecnología de postratamiento y las características del proceso de diferentes tipos de varillas de tungsteno (varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza, varillas de tungsteno dopadas).

4.1 Preparación de materias primas para varillas de tungsteno

La preparación de varillas de tungsteno comienza con la adquisición y el procesamiento de materias primas de alta calidad, lo que implica la extracción y purificación de mineral de tungsteno, la preparación de polvo de tungsteno y la adición de elementos de aleación o dopantes. Estos pasos tienen un impacto directo en la pureza, el rendimiento y la eficiencia de producción de las varillas de tungsteno.

4.1.1 Extracción y purificación de mineral de wolframio

La materia prima de la varilla de tungsteno se deriva principalmente del mineral de tungsteno, y los tipos comunes incluyen wolframita (FeMnWO₄) y scheelita (CaWO₄). La minería se lleva a cabo generalmente utilizando métodos de minería a cielo abierto o subterráneos, dependiendo de las condiciones geológicas del yacimiento. El mineral extraído se somete a múltiples etapas de purificación para obtener un compuesto de tungsteno de alta pureza.

Proceso:

Trituración y molienda de mineral: El mineral en bruto se tritura hasta obtener partículas pequeñas (<10 mm) y se refina aún más hasta el nivel de micras (10-100 μm) mediante molienda de bolas o molienda de varillas para mejorar la eficiencia del beneficio posterior.

Beneficio: Las técnicas de beneficio por gravedad (p. ej., jig, agitador), flotación o separación magnética se utilizan para separar el mineral de tungsteno de la ganga y obtener concentrado de tungsteno de alta ley (contenido de WO₃ 60-70%).

Purificación química: El concentrado de tungsteno se tuesta (500-800 °C) para eliminar impurezas como el azufre y el arsénico, seguido de una lixiviación alcalina (hidróxido de sodio) o ácido (ácido clorhídrico) para producir tungstato de sodio (Na₂WO₄) o ácido tungstico (H₂WO₄).

Cristalización y refinación: purificación adicional mediante extracción con solventes o intercambio iónico para generar tungstato de amonio de alta pureza (APT, (NH₄)₂WO₄) con una pureza de más del 99,9%, que es adecuado para la posterior preparación de polvo de tungsteno.

Puntos clave:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El proceso de beneficio debe controlarse con precisión para reducir las impurezas (por ejemplo, silicio, fósforo, hierro).

El método de lixiviación alcalina es adecuado para wolframita, y el método de lixiviación ácida es adecuado para scheelita, y el proceso debe optimizarse de acuerdo con el tipo de mineral.

El APT de alta pureza es la materia prima clave para la preparación de varillas de tungsteno de alta pureza, y las impurezas como el carbono y el oxígeno deben controlarse estrictamente.

4.1.2 Preparación del polvo de wolframio

El polvo de tungsteno es la materia prima principal para la preparación de varillas de tungsteno, que se obtiene reduciendo el tungstato de amonio o el óxido de tungsteno (WO_3) por hidrógeno, y el tamaño de partícula y la pureza afectan directamente las propiedades de las varillas de tungsteno.

Proceso:

Preparación de óxido: El tungstato de amonio se calcina en el aire (400-600 °C) y se descompone en óxido de tungsteno (WO_3) o $WO_{2.9}$, el color es amarillo o azul verdoso.

Reducción de hidrógeno: El óxido de tungsteno se reduce a hidrógeno de alta pureza (99,999%) a 600-900 °C en un horno multitubo o en un horno rotatorio en dos etapas: primero a WO_2 (marrón) y luego a polvo metálico de tungsteno (gris). La atmósfera reductora debe controlarse estrictamente para evitar la contaminación por oxígeno o nitrógeno.

Tamizado y clasificación: El polvo de tungsteno (0,5-5 μm) con un tamaño de partícula uniforme se puede obtener mediante criba vibratoria o clasificación de flujo de aire, que es adecuada para diferentes tipos de varillas de tungsteno (por ejemplo, las varillas de tungsteno puro requieren tamaños de partícula más grandes y las varillas de tungsteno de alta pureza requieren tamaños de partícula más finos).

Control de calidad: Las impurezas se detectan mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) o espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para garantizar una pureza del $\geq$ del 99,9% (polvo de tungsteno de alta pureza $\geq$ 99,95%).

Puntos clave:

La temperatura de reducción y el caudal de hidrógeno deben ajustarse con precisión para controlar el tamaño de partícula y la morfología del polvo de tungsteno.

El polvo de tungsteno de alta pureza debe producirse en un entorno limpio para evitar la contaminación por polvo.

El polvo de tungsteno debe sellarse para su almacenamiento para evitar la oxidación o la absorción de humedad.

4.1.3 Adición de elementos de aleación y dopantes

Para preparar varillas de tungsteno dopadas o varillas de aleación de tungsteno, es necesario agregar elementos de aleación o dopantes al polvo de tungsteno para mejorar la estabilidad del arco, la resistencia a la fluencia o la procesabilidad.

Oficio:

Selección de dopantes: Las opciones comunes de dopantes incluyen óxidos de tierras raras (p. ej.,

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

óxido de cerio CeO_2 , óxido de lantano La_2O_3 , itrio Y_2O_3 , 0,5-2 % en peso), óxidos (p. ej., torio ThO_2 , zirconio ZrO_2) o trazas de potasio (50-100 ppm). Los elementos de aleación incluyen níquel, hierro y cobre, que se utilizan para preparar varillas de aleación de tungsteno de alta densidad.

Método de mezcla: El dopante se mezcla uniformemente con polvo de tungsteno mediante molienda de bolas de alta energía o secado por pulverización para garantizar que el dopante se distribuya uniformemente. El tiempo de molienda de bolas se controla entre 4 y 8 horas para evitar el exceso de finura o la contaminación del polvo.

Dopaje en solución: El dopante se disuelve en agua en forma de nitrato (como el nitrato de lantano), se rocía sobre la superficie del polvo de tungsteno y se forma un dopaje uniforme después del secado.

Control de calidad: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para analizar la distribución de dopantes, y XRF para detectar la cantidad de dopaje para garantizar el cumplimiento de los requisitos de diseño (por ejemplo, contenido de CeO_2 del $2\% \pm 0,1\%$).

Puntos clave:

El tamaño de partícula del dopante debe coincidir con el del polvo de tungsteno (normalmente $< 1 \mu\text{m}$) para evitar la aglomeración.

Las varillas de tungsteno dopadas con torio requieren una protección especial porque el óxido de torio es ligeramente radiactivo.

La proporción de elementos de aleación debe controlarse para evitar que se reduzca el punto de fusión o la resistencia a la corrosión del tungsteno.

4.2 Tecnología pulvimetalúrgica de varillas de tungsteno

La pulvimetalurgia es la tecnología central de la preparación de varillas de tungsteno, que convierte el polvo de tungsteno en blancos densos en forma de varilla mediante mezcla de polvo, prensado y sinterización a alta temperatura, lo que proporciona la base para el procesamiento de deformación posterior.

4.2.1 Mezcla y prensado de polvo

Mezcla de polvo: El polvo de tungsteno (o polvo de tungsteno dopado) se mezcla con un aglutinante (por ejemplo, alcohol polivinílico PVA) mediante mezcla mecánica o secado por pulverización para garantizar el flujo y la conformabilidad. El equipo de mezcla incluye molinos planetarios o mezcladores en V con un tiempo de mezcla de 2 a 4 horas para evitar la oxidación o contaminación del polvo.

Proceso de prensado:

Prensado isostático en frío (CIP): El polvo de tungsteno mezclado se carga en un molde flexible y se prensa en una pieza en bruto en forma de varilla a una presión de 100-200 MPa con una densidad de aproximadamente 50-60% de densidad teórica. CIP es adecuado para piezas en bruto de gran tamaño y tiene buena uniformidad.

Moldeo: Prensado en una prensa hidráulica con un troquel de acero, adecuado para lotes pequeños o piezas en bruto de diámetro pequeño a presiones de 50-150 MPa.

Control del proceso: La velocidad de prensado debe ser lenta (0,5-1 mm/s) para evitar el agrietamiento de la pieza en bruto. La pieza en bruto se desengrasa al vacío o en atmósfera inerte.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

para eliminar el aglutinante.

Puntos clave:

La superficie del molde debe ser lisa para reducir los defectos superficiales de la pieza en bruto.

La presión de prensado debe ajustarse de acuerdo con el tamaño de partícula del polvo y el tipo de dopantes.

Ambiente limpio (e.g. ISO clase 7) para evitar la contaminación por polvo.

4.2.2 Sinterización a alta temperatura

La sinterización a alta temperatura es un paso clave en la pulvimetalurgia, en la que las partículas de polvo de tungsteno se combinan a altas temperaturas para formar piezas en bruto de alta densidad.

Proceso:

Equipo de sinterización: se adopta un horno de protección de hidrógeno o un horno de sinterización al vacío, la temperatura es de 2000 a 2800 °C y la temperatura se mantiene durante 1 a 3 horas.

Proceso de sinterización: Las piezas en bruto de polvo de tungsteno se someten a difusión y unión de partículas a altas temperaturas, con una porosidad del 5-10% y una densidad teórica del 90-95%. La sinterización se divide en pre-sinterización (1000-1500 °C, eliminación de impurezas volátiles) y sinterización principal (2000-2800 °C, densificación).

Control de la atmósfera: protección del hidrógeno contra la oxidación, caudal de 0,5–2 m³/h; La sinterización al vacío (10^{-3} – 10^{-5} Pa) es adecuada para varillas de tungsteno de alta pureza para reducir la adsorción de gas.

Refrigeración: Enfriamiento lento (10-20 °C/min) para evitar grietas causadas por el estrés térmico.

Puntos clave:

La temperatura de sinterización debe optimizarse de acuerdo con el tamaño de partícula del polvo de tungsteno y el tipo de dopantes, demasiado alta puede conducir a granos demasiado grandes.

La atmósfera dentro del horno debe ser de alta pureza (99,999%) para evitar la contaminación por carbono u oxígeno.

La pieza en bruto sinterizada debe inspeccionarse por ultrasonidos para comprobar la porosidad interna y las grietas.

4.2.3 Optimización del rendimiento de las varillas de tungsteno sinterizado

Las varillas de tungsteno sinterizado (varillas negras) deben optimizarse aún más para cumplir con los requisitos de la aplicación.

Método de optimización:

Sinterización secundaria: La sinterización secundaria a corto plazo (0,5-1 hora) a 2200-2600 °C en un horno de vacío reduce aún más la porosidad al <2% y aumenta la densidad a más de 19,0 g/cm³.

Prensado isostático en caliente (HIP): Procesado a 2000 °C, 100-200 MPa, se eliminaron los microporos y la densidad se acercó al valor teórico de 19,25 g/cm³.

Limpieza de la superficie: La capa de óxido de la superficie se elimina con una limpieza química (ácido clorhídrico o ácido fluorhídrico) para lograr una rugosidad de Ra de 3,2 a 6,4 µm.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Ajuste de la microestructura: Optimice el tamaño de grano (10-50 μm) y aumente la resistencia controlando el tiempo de sinterización y la velocidad de enfriamiento.

Puntos clave:

El proceso HIP requiere un equipo especial para varillas de tungsteno de alto rendimiento.

La limpieza de superficies debe realizarse en un ambiente ventilado para evitar riesgos de ácidos.

La optimización del rendimiento requiere equilibrar el tamaño de grano y la porosidad para evitar la pérdida de resistencia.

4.3 Tecnología de procesamiento de deformación de varillas de tungsteno

El procesamiento de deformación mejora aún más la densidad, la resistencia y la precisión dimensional de las varillas de tungsteno a través de la forja en caliente, la extrusión en caliente, el laminado y el estirado para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones.

4.3.1 Forja en caliente (forja con martillo, forja rotativa)

La forja en caliente procesa varillas de tungsteno sinterizadas en barras de alta densidad a través de la deformación mecánica a alta temperatura, que se divide en forja a martillo y forja rotativa.

Proceso de forjado a martillo:

Equipo: Martillo neumático o máquina de forja hidráulica, temperatura de forja de 1200 a 1500 °C, protección contra hidrógeno o argón.

Proceso: La varilla de tungsteno sinterizado se precalienta a 1200 °C y se forja en múltiples pasadas con una deformación del 10-20% cada vez, reduciendo gradualmente el diámetro y aumentando la densidad (19,0-19,25 g/cm³).

Posttratamiento: Recocido después de la forja (1000-1200 °C) para aliviar la tensión y convertir la superficie en una rugosidad de Ra 1,6-3,2 μm .

Proceso de estampación rotativa:

Equipo: Máquina de estampación rotativa con calentador de inducción de alta frecuencia a 1200–1400 °C.

Proceso: Las varillas de tungsteno se someten a una presión multidireccional en un troquel giratorio y se deforman uniformemente, adecuadas para varillas de diámetro pequeño y mediano (5-50 mm).

Ventajas: El estampado rotativo es más uniforme que el estampado con martillo, tiene un menor riesgo de agrietamiento y es adecuado para aplicaciones de alta precisión.

Puntos clave:

La temperatura de forja debe controlarse con precisión para evitar el sobrecalentamiento y el sobregranulado.

La cantidad de deformación debe controlarse paso a paso para evitar la concentración de tensiones internas.

Las atmósferas protectoras (por ejemplo, argón) evitan la oxidación de la superficie.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

4.3.2 Extrusión en caliente

La extrusión en caliente se utiliza para la formación de varillas de tungsteno con grandes especificaciones o secciones transversales complejas, con alta densidad y resistencia.

Proceso:

Precalentamiento: Las varillas de tungsteno sinterizado se calientan a 1300-1600 °C y se protegen con hidrógeno o argón.

Extrusión: Las varillas de tungsteno se extruyen mediante una extrusora hidráulica (500-1000 MPa) con un diámetro de 20-100 mm y una densidad de 19,0-19,2 g/cm³.

Alisado y enfriamiento: Enfriar lentamente (10-20 °C/min) después de la extrusión y ajustar la forma con una plancha.

Tratamiento de superficies: Torneado o esmerilado hasta una rugosidad de Ra 1,6-3,2 µm.

Puntos clave:

Los moldes deben estar hechos de materiales resistentes a altas temperaturas (como molibdeno o cerámica) para reducir el desgaste.

La velocidad de extrusión (0,1–0,5 mm/s) debe ser lenta para evitar el agrietamiento.

La extrusión de gran diámetro requiere equipos de alto tonelaje para controlar los costos.

4.3.3 Rodar

Las varillas de tungsteno se procesan en diámetros pequeños y medianos (5-20 mm) mediante laminación en caliente o en frío con alta precisión dimensional y buena calidad superficial.

Proceso:

Laminación en caliente: las varillas de tungsteno sinterizadas o forjadas se calientan a 1000-1300 °C y se reducen gradualmente su diámetro mediante el laminado en múltiples pasadas (15-25% de deformación).

Laminación en frío (opcional): Las varillas de tungsteno de diámetro pequeño (<10 mm) se laminan a temperatura ambiente o a baja temperatura (<500 °C) para mejorar la precisión.

Recocido: El recocido a 900–1100 °C elimina el endurecimiento por trabajo y evita el agrietamiento.

Tratamiento superficial: Pulido hasta rugosidad Ra 1,6–3,2 µm.

Puntos clave:

El laminado en caliente requiere rodillos de alta temperatura (por ejemplo, aleaciones de molibdeno) para soportar la dureza del tungsteno.

La laminación en frío se limita a diámetros pequeños y requiere equipos de alta precisión.

La atmósfera de recocido debe ser pura para evitar la contaminación de la superficie.

4.3.4 Tirón

El trefilado se utiliza para producir varillas de tungsteno de pequeño diámetro (<5 mm) y es un proceso clave para la fabricación de alambres de tungsteno y electrodos de precisión.

Proceso:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Preparación de la pieza en bruto: Utilice varillas de tungsteno forjadas o laminadas (diámetro de 5 a 10 mm).

Estirado: Estirado a través de un troquel de diamante a 800-1000 °C en múltiples pasadas con una reducción de diámetro del 5-10% cada vez hasta un diámetro final de 0,01 mm (alambre de tungsteno).

Lubricación y recocido: Lubricación con grafito o disulfuro de molibdeno y recocido periódico (900-1100 °C) para aliviar la tensión.

Limpieza y pulido: La limpieza química elimina los lubricantes y pule hasta una rugosidad de Ra de 1,6 a 3,2 µm.

Puntos clave:

El troquel de diamante debe reemplazarse regularmente para mantener la precisión.

La velocidad de estirado (1–5 m/min) debe controlarse para evitar roturas.

Se requiere una atmósfera inerte para el estirado a alta temperatura para evitar la oxidación.

4.4 Preparación de varillas de tungsteno a gran escala

Las varillas de tungsteno de gran tamaño (diámetro > 20 mm) se utilizan ampliamente en los campos aeroespacial, militar e industrial debido a su alta densidad y alta resistencia.

4.4.1 Dificultades y desafíos técnicos

La preparación de varillas de tungsteno a gran escala se enfrenta a las siguientes dificultades técnicas:

Requisitos de alta densidad: cerca de la densidad teórica (19,25 g/cm³), el procesamiento de sinterización y deformación debe controlar estrictamente la porosidad.

Defectos internos: Las piezas en bruto de gran diámetro son propensas a la porosidad, las grietas o las concentraciones de tensión, que afectan a la resistencia.

Limitaciones del equipo: La extrusión o forja requiere equipos de gran tonelaje (> 1000 toneladas), que tienen altos requisitos para los materiales de matriz y los sistemas de calentamiento.

Uniformidad: Las barras de gran tamaño son propensas a granos desiguales o a la segregación de la composición durante la sinterización y el procesamiento.

Control de costos: alto consumo de energía para el procesamiento a alta temperatura y alto tonelaje, desgaste rápido del molde y aumento de los costos de producción.

4.4.2 Método de preparación de varillas de volframio de alta densidad

Proceso:

Prensado de palanquillas de gran formato: Las palanquillas de gran diámetro (50-100 mm de diámetro) se preparan mediante prensado isostático en frío (200-300 MPa) con una densidad teórica del 50-60%.

Sinterización a alta temperatura: sinterización a 2200-2800 °C durante 2-4 horas en un horno de vacío o de hidrógeno con una densidad del 90-95%.

Prensado isostático en caliente (HIP): 1-2 horas a 2000 °C, 150-200 MPa, microporosidad eliminada, densidad cercana a 19,25 g/cm³.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Extrusión en caliente: extruido a 1300–1600 °C, 800–1200 MPa, diámetro 20–100 mm, rugosidad superficial Ra 3,2–6,4 µm.

Posttratamiento: recocido (1000-1200 °C) para aliviar la tensión y convertir en rugosidad Ra 1,6-3,2 µm.

Puntos clave:

El proceso HIP es la clave para la alta densidad y requiere equipos de ultra alta presión.

Las matrices de extrusión deben estar hechas de materiales resistentes a altas temperaturas (por ejemplo, aleaciones de molibdeno) para reducir el desgaste.

La sinterización y la extrusión se calientan en secciones para garantizar una temperatura uniforme.

4.4.3 Optimización de procesos e innovación

Medidas de optimización:

Sinterización graduada: se utiliza calentamiento de varias etapas (1000 °C de presinterización, 2500 °C de sinterización principal) para reducir el tamaño de grano excesivo.

Moldes compuestos: Utilice moldes a base de molibdeno o recubiertos de cerámica para prolongar la vida útil del molde.

Control automatizado: Los sensores monitorean la temperatura, la presión y la atmósfera para mejorar la consistencia del proceso.

Extrusión continua: Desarrolle una línea de extrusión continua en caliente para reducir el enfriamiento intermedio y el recalentamiento y mejorar la eficiencia.

Control de grano: Optimice el tamaño de grano (10-30 µm) y aumente la resistencia añadiendo trazas de dopantes como potasio o tierras raras.

Puntos clave:

El control automatizado requiere sensores de temperatura y presión integrados para garantizar el monitoreo en tiempo real.

Los moldes compuestos necesitan un mantenimiento regular para evitar la deformación o el desgaste.

El dopante debe agregarse con precisión para evitar el rendimiento a altas temperaturas.

4.5 Tecnología de postratamiento de varillas de tungsteno

Las técnicas de postratamiento incluyen tratamiento térmico, tratamiento de superficies y mecanizado de precisión para optimizar el rendimiento, la calidad de la superficie y la precisión dimensional de las varillas de tungsteno.

4.5.1 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico alivia el estrés de mecanizado, optimiza la microestructura y mejora las propiedades mecánicas de las varillas de tungsteno mediante el tratamiento de recocido o envejecimiento.

Proceso:

Recocido de alivio de tensión: Mantener a 1000-1200 °C durante 1-2 horas en un horno de vacío o

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

hidrógeno con una velocidad de enfriamiento de 10-20 °C/min para reducir la tensión interna.

Recocido de recristalización: Incubar a 1400-1600 °C durante 0,5-1 hora para ajustar el tamaño del grano (10-30 µm) y mejorar la tenacidad.

Tratamiento de envejecimiento (varilla de tungsteno dopada): mantenga el calor a 800-1000 °C durante 2-4 horas para estabilizar la distribución del dopante y mejorar el rendimiento del arco.

Puntos clave:

La atmósfera de recocido debe ser de alta pureza (99,999% de hidrógeno o 10⁻⁵ Pa vacío) para evitar la oxidación.

La temperatura y el tiempo de retención deben ajustarse de acuerdo con el tipo de varilla de tungsteno (tungsteno puro o dopado).

El enfriamiento debe ser lento para evitar grietas causadas por el estrés térmico.

4.5.2 Tratamiento superficial (pulido, limpieza)

El tratamiento de la superficie mejora la calidad de la superficie y la limpieza de las varillas de tungsteno para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de alta precisión.

Proceso de pulido:

Pulido mecánico: Pulido hasta una rugosidad de Ra 1,6-3,2 µm utilizando una muela abrasiva de diamante o abrasivo de alúmina, adecuado para soldar electrodos o componentes semiconductores.

Pulido químico: Se utiliza una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico (proporción 1:3) para remojar durante 10 a 30 segundos para eliminar la capa de óxido de la superficie y lograr un efecto espejo.

Pulido electrolítico: la varilla de tungsteno se utiliza como ánodo, tratamiento de electrolito a base de fosfato, y la rugosidad de la superficie puede alcanzar Ra 1,6 µm o menos.

Proceso de limpieza:

Limpieza química: Limpieza con ácido clorhídrico diluido o lejía (hidróxido de sodio) para eliminar el aceite y los óxidos de la superficie.

Limpieza ultrasónica: Añada un agente de limpieza al agua desionizada y una limpieza ultrasónica durante 5-10 minutos para garantizar la limpieza.

Limpieza con plasma: Eliminación de trazas de contaminantes en equipos de plasma al vacío, adecuados para varillas de tungsteno de alta pureza.

Puntos clave:

El pulido debe realizarse en un entorno limpio (ISO clase 5) para evitar la contaminación secundaria.

La limpieza química debe controlar la concentración de ácidos y álcalis para evitar la corrosión de las varillas de tungsteno.

La limpieza con plasma es adecuada para aplicaciones de alta precisión y requiere un equipo especial.

4.5.3 Mecanizado y corte de precisión

El mecanizado y el corte de precisión se utilizan para producir varillas de tungsteno de formas y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

tamaños específicos para cumplir con los requisitos de alta precisión.

Proceso:

Torneado: Tornos CNC con herramientas de diamante para el mecanizado de diámetros $\pm 0,05$ mm y rugosidad superficial Ra 1,6–3,2 μm .

Rectificado: Mecanizado de varillas de tungsteno de pequeño diámetro (<5 mm) con una tolerancia de $\pm 0,02$ mm utilizando una amoladora central o una amoladora sin centro.

Corte por descarga eléctrica (EDM): Para cortar formas complejas o tamaños grandes de varillas de tungsteno con una precisión de $\pm 0,01$ mm, adecuado para piezas militares.

Corte por láser: uso de láseres de alta potencia, corte de varillas de tungsteno de pequeño diámetro o micro piezas, pequeña zona afectada por el calor, alta precisión.

Puntos clave:

Las herramientas de diamante deben reemplazarse regularmente para mantener la precisión de corte. La electroerosión necesita controlar los parámetros de descarga para evitar quemaduras en la superficie.

El corte por láser requiere protección con gas inerte para reducir la oxidación.

4.6 Características del proceso de los diferentes tipos de varillas de tungsteno

Los diferentes tipos de varillas de tungsteno (varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza, varillas de tungsteno dopadas) tienen diferentes procesos de preparación debido a las diferencias en la composición y la aplicación.

4.6.1 Proceso de varilla de tungsteno puro

Características del proceso:

Materias primas: Polvo de tungsteno con una pureza del $\geq$ del 99,9%, un tamaño de partícula de 0,5-5 μm e impurezas (como Fe, C, O) se controlan a 100-500 ppm.

Pulvimetalurgia: prensado isostático en frío (100-200 MPa), palanquilla protegida con hidrógeno (2000-2800 $^{\circ}\text{C}$), densidad 90-95%.

Deformación: forja o laminación en caliente (1200–1500 $^{\circ}\text{C}$), deformación multipasada, densidad de hasta 19,0–19,25 g/cm³.

Postratamiento: recocido (1000-1200 $^{\circ}\text{C}$) para aliviar la tensión, torneado o pulido hasta obtener una rugosidad de Ra 1,6-3,2 μm .

Orientado a la aplicación: El proceso se centra en el control de costes y es adecuado para aplicaciones generales de alta temperatura (como varillas de núcleo de horno de cuarzo, materias primas de filamentos).

Puntos clave:

La temperatura de sinterización debe equilibrar el crecimiento del grano y la eliminación de poros.

La tecnología de procesamiento es simple y los requisitos de equipo son relativamente bajos.

El tratamiento de la superficie es principalmente el pulido mecánico para cumplir con la precisión industrial.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

4.6.2 Proceso de varilla de tungsteno de alta pureza

Características del proceso:

Materias primas: Polvo de tungsteno con una pureza de $\geq 99,95\%$, tamaño de partícula de $0,1-1\ \mu\text{m}$, impureza $< 50\ \text{ppm}$, purificado por deposición química de vapor (CVD).

Pulvimetalurgia: sinterización ($2600-2800\ ^\circ\text{C}$) en ultra alto vacío ($10^{-5}\ \text{Pa}$) con una densidad superior al 98% y una porosidad del $<1\%$.

Deformación: estampado rotatorio o laminado ($1200-1400\ ^\circ\text{C}$) con una deformación del $10-15\%$ para asegurar granos finos ($5-15\ \mu\text{m}$).

Posprocesamiento: electropulido o limpieza con plasma, rugosidad $R_a\ 1,6-3,2\ \mu\text{m}$, embalaje en sala limpia (clase ISO 5).

Orientado a la aplicación: El proceso enfatiza la alta pureza y limpieza, y es adecuado para componentes de máquinas de litografía de semiconductores, médicos y EUV.

Puntos clave:

La purificación y la sinterización requieren equipos de ultra alta pureza para evitar la contaminación.

El procesamiento requiere un entorno limpio para controlar el polvo y las impurezas.

El posprocesamiento es principalmente un pulido químico o electrolítico para garantizar la calidad de la superficie.

4.6.3 Proceso de varilla de tungsteno dopada

Características del proceso:

Materias primas: $0,5-2\%$ en peso de dopantes (por ejemplo, CeO_2 , La_2O_3 , ThO_2 , K) se añaden al polvo de tungsteno y se mezclan uniformemente mediante molienda de bolas o dopaje en solución.

Pulvimetalurgia: temperatura de sinterización $2300-2600\ ^\circ\text{C}$ (inferior a la varilla de tungsteno puro) para evitar la volatilización dopante, densidad $95-98\%$.

Deformación: Trefilado o estampado rotativo ($800-1400\ ^\circ\text{C}$), dopante para mejorar la tenacidad y reducir el riesgo de agrietamiento.

Posttratamiento: dopante estabilizado recocido ($800-1000\ ^\circ\text{C}$), pulido a rugosidad $R_a\ 1,6-3,2\ \mu\text{m}$, varilla de tungsteno dopada con torio para protección radiactiva.

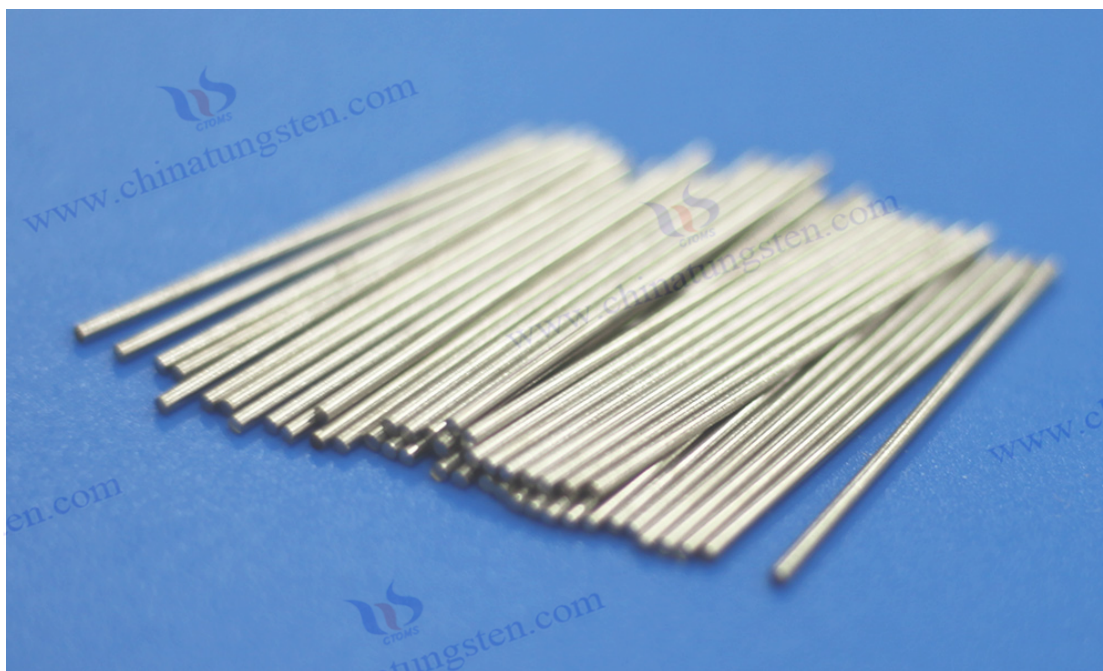
Orientado a la aplicación: Estabilidad del arco voltaica y resistencia a la fluencia optimizadas para el proceso para electrodos de soldadura y componentes de hornos de alta temperatura.

Puntos clave:

El dopante debe distribuirse uniformemente para evitar un rendimiento desigual.

Las varillas de tungsteno dopadas con torio requieren una protección especial para cumplir con las normas de radiactividad.

El proceso de embutición requiere un recocido múltiple para mejorar la tasa de éxito del mecanizado.



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 5 Usos de las varillas de tungsteno

Con su alto punto de fusión (3410 °C), alta densidad (19,25 g / cm³), excelente resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y estabilidad química, la varilla de tungsteno ha demostrado un valor de aplicación insustituible en muchos campos. Desde la producción industrial hasta la defensa militar, desde la iluminación electrónica hasta la aeroespacial, pasando por la investigación médica y la vida cotidiana, las varillas de tungsteno y sus derivados se utilizan ampliamente en escenarios de alto rendimiento. Este capítulo discutirá en detalle los usos específicos de las varillas de tungsteno en la industria, el ejército y la defensa, la electrónica y la iluminación, la automoción y la industria aeroespacial, la investigación médica y científica, y otros campos, incluidas las varillas de núcleo de horno de cuarzo, los núcleos de bala perforantes de armadura, los electrodos de alambre de tungsteno, los componentes aeroespaciales de alta temperatura, la protección contra la radiación, los artículos deportivos y más.

5.1 Aplicaciones industriales de las varillas de tungsteno

Las aplicaciones industriales de las varillas de tungsteno se concentran principalmente en entornos de fabricación de alta temperatura, alta carga y precisión, y su alto punto de fusión y estabilidad dimensional lo convierten en un material ideal en condiciones de trabajo extremas.

5.1.1 Varilla de núcleo de tungsteno para horno de cuarzo

Los hornos de cuarzo se utilizan para producir vidrio de cuarzo de alta pureza, sirviendo principalmente a las industrias de fibra óptica, semiconductores y fotovoltaica. La varilla de tungsteno se utiliza como varilla central en el horno, que soporta altas temperaturas de 2000 a 2500 °C para mantener la estabilidad estructural y garantizar un flujo uniforme de cuarzo fundido.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de tungsteno puro (pureza $\geq 99,9\%$) o varilla de tungsteno de alta pureza ($\geq 99,95\%$), diámetro 10-50 mm, para evitar la adhesión del cuarzo.

Función: La varilla del núcleo se fija en el centro del cuerpo del horno, guiando la pieza en bruto de cuarzo para que se derrita en forma de tubo o varilla, que puede soportar altas temperaturas y una ligera atmósfera de oxidación.

Ventajas: El alto punto de fusión del tungsteno y el bajo coeficiente de expansión térmica ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) garantizan que no se ablande ni se deforme durante el funcionamiento a largo plazo; La baja presión de vapor reduce la contaminación en el horno.

Escenario típico: Producción de preformas de fibra óptica o tubos de cuarzo para estaciones base de comunicación 5G o sustratos de células solares.

Puntos clave:

La varilla central debe limpiarse regularmente para evitar que los residuos de cuarzo afecten la calidad de la superficie.

Protección de hidrógeno o atmósfera inerte para una larga vida útil.

El mecanizado de precisión garantiza la redondez y la rectitud de la varilla central y cumple con los requisitos de los productos de cuarzo de alta precisión.

5.1.2 Preparación de obleas de silicio monocristalino

Las obleas de silicio monocristalino son el material central para la fabricación de chips semiconductores, y las varillas de tungsteno se utilizan como elementos calefactores, soportes o varillas de sujeción de semillas en los hornos monocristalinos de Czochralski.

Características de la aplicación:

Requisitos del material: varilla de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), diámetro de 5 a 20 mm, para evitar la contaminación de la masa fundida de silicio.

Función: Como varilla de sujeción de cristal de semilla, puede fijar el cristal de semilla de silicio y guiar el crecimiento de un solo cristal; Como elemento calefactor, soporta una alta temperatura de $2300\text{ }^\circ\text{C}$ y proporciona un campo térmico estable.

Ventajas: la alta estabilidad química garantiza que no se contamine el silicio de alta pureza; La alta resistencia y la resistencia a la fluencia soportan largos períodos de operación a alta temperatura; La baja presión de vapor es adecuada para entornos de vacío.

Escenario típico: Producción de obleas de silicio monocristalino de 8 a 12 pulgadas para la fabricación de chips de 5 nm.

Puntos clave:

Las varillas de tungsteno deben procesarse y almacenarse en una sala limpia para evitar la introducción de impurezas.

La varilla de sujeción debe mecanizarse con alta precisión para garantizar una alineación perfecta con el cristal semilla.

Reemplace el elemento calefactor con regularidad para evitar que el crecimiento de grano afecte el rendimiento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

5.1.3 Purificación de elementos de tierras raras

Los elementos de tierras raras (por ejemplo, lantano, cerio, neodimio) son esenciales en el campo de las nuevas energías, los materiales magnéticos y los catalizadores, y las varillas de tungsteno se utilizan como electrodos o soportes de crisol en hornos electrolíticos u hornos de fusión de alta temperatura para la purificación de tierras raras.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de tungsteno puro o varilla de tungsteno dopado (dopado con cerio o lantano, 0,5-2 % en peso), diámetro 10-30 mm.

Función: Como electrodo, la varilla de tungsteno proporciona una corriente estable en la purificación electrolítica; Como soporte, soporta altas temperaturas de 1600-2000 °C y mantiene la estructura intacta.

Ventajas: fuerte resistencia a la corrosión, resistencia a la erosión por fusión de tierras raras; La varilla de tungsteno dopada mejora la estabilidad del arco y prolonga la vida útil del electrodo; La alta densidad garantiza la estabilidad mecánica.

Escenario típico: Producción de lantano (La) o cerio (Ce) de alta pureza para imanes permanentes para energía eólica o catalizadores de escape de automóviles.

Puntos clave:

Las varillas de tungsteno dopadas deben doparse uniformemente para garantizar un rendimiento constante del arco.

La superficie del electrodo debe pulirse para reducir los residuos de tierras raras.

El horno electrolítico necesita una atmósfera inerte para evitar la oxidación de las varillas de tungsteno.

5.1.4 Crisol de tungsteno para horno de cristal de zafiro

Los cristales de zafiro (Al_2O_3) son materiales clave para sustratos LED y ventanas ópticas, y las varillas de tungsteno se procesan en crisoles o soportes en hornos de crecimiento de cristales de zafiro que soportan temperaturas de 2200 a 2400 °C.

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), diámetro 20-100 mm, rugosidad de la superficie Ra 1,6-3,2 μm después del procesamiento en crisol.

Función: El crisol de tungsteno contiene alúmina fundida y el soporte fija el crisol o el cristal semilla, mantiene estable el campo térmico y promueve el crecimiento de un solo cristal.

Ventajas: el alto punto de fusión y la resistencia a la fluencia garantizan que el crisol no se deforme; El bajo coeficiente de expansión térmica reduce el estrés térmico; La alta densidad proporciona soporte mecánico.

Escenario típico: Producción de cristales de zafiro de 4 a 6 pulgadas para iluminación LED o pantallas de teléfonos inteligentes.

Puntos clave:

El crisol debe mecanizarse con precisión para garantizar una pared interior lisa y reducir los defectos

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

del cristal.

La protección de vacío o hidrógeno evita la oxidación de los crisoles de tungsteno.

El crisol debe inspeccionarse regularmente para evitar que las grietas afecten la calidad del cristal.

5.2 Las varillas de tungsteno se utilizan en defensa militar y nacional

La alta densidad y resistencia de las varillas de tungsteno las convierten en aplicaciones importantes en los campos militar y de defensa, especialmente en núcleos perforantes de armaduras y varillas de tungsteno altamente explosivas.

5.2.1 Núcleos perforantes

Los núcleos perforantes se utilizan en cañones de tanques o armas antiblindaje, y las varillas de aleación de tungsteno son un material ideal debido a su alta densidad y dureza.

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de aleación de tungsteno (W-Ni-Fe o W-Ni-Cu, contenido de tungsteno 90-95 % en peso), densidad 18,0-18,5 g/cm³, diámetro 10-30 mm.

Función: El núcleo penetra en la armadura bajo impacto a alta velocidad (>1500 m / s), se basa en la alta densidad para proporcionar energía cinética y la alta dureza garantiza que no se fragmente.

Ventajas: más respetuoso con el medio ambiente que los núcleos de uranio empobrecido, con una densidad cercana al uranio (19,1 g/cm³); La excelente resistencia a la tracción (800-1200 MPa) garantiza la estabilidad al impacto; Tiene un buen rendimiento de procesamiento y es fácil de formar.

Escenario típico: para proyectiles de tanque de 120 mm u ojivas de misiles antitanque.

Puntos clave:

La relación de aleación debe optimizarse para garantizar un equilibrio entre densidad y tenacidad.

El núcleo debe mecanizarse con alta precisión y la tolerancia del diámetro $\pm 0,05$ mm.

El pulido de la superficie reduce la resistencia al aire y aumenta el alcance.

5.2.2 Varillas de volframio altamente explosivas

La varilla de tungsteno altamente explosiva (también conocida como el concepto de "vara cinética" o "cetro de Dios") es un arma cinética hipotética de alta velocidad que utiliza varillas de tungsteno para ser lanzadas desde el espacio o a grandes altitudes, dependiendo de la aceleración gravitacional y la densidad para producir un poder destructivo masivo.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de tungsteno puro o varilla de aleación de tungsteno, densidad 19,0-19,25 g/cm³, diámetro 50-100 mm.

Función: La varilla de tungsteno golpea el objetivo a velocidad supersónica (>Mach 100) desde una gran altitud (> 10 km), liberando energía cinética equivalente a una pequeña bomba nuclear para destruir fortalezas subterráneas o instalaciones militares.

Ventajas: La alta densidad proporciona una gran energía cinética; El alto punto de fusión soporta el calor por fricción durante la reentrada (>2000 °C); No radiactivo y de acuerdo con las regulaciones internacionales.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Escenario típico: Se utiliza teóricamente para ataques de precisión contra objetivos de alto valor, como centros de mando o instalaciones nucleares.

Puntos clave:

Las varillas de tungsteno deben recubrirse con una resistencia a altas temperaturas para evitar la ablación de reentrada.

Las dimensiones y los pesos deben diseñarse con precisión para garantizar una trayectoria estable.

El sistema de lanzamiento requiere una guía de alta precisión para controlar el error del punto de aterrizaje.

5.3 Las varillas de tungsteno se utilizan en electrónica e iluminación

Las varillas de tungsteno se utilizan ampliamente en filamentos de tungsteno, electrodos y objetivos de pulverización catódica debido a su alto punto de fusión, conductividad eléctrica y baja presión de vapor.

5.3.1 Filamento de tungsteno (filamento, alambre de soporte)

El filamento de tungsteno es el componente central de las lámparas incandescentes, las lámparas halógenas y las fuentes de luz especiales, y está hecho de trefilado de varilla de tungsteno.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de tungsteno puro (pureza $\geq 99,9\%$), estirado en alambre de tungsteno de 0,01 a 0,1 mm de diámetro.

Función: El filamento emite luz a una alta temperatura de 2500-2800 °C, proporcionando una fuente de luz de alta eficiencia; El cable de soporte fija el filamento para mantener la estructura estable.

Ventajas: el alto punto de fusión asegura que el filamento no se derrita; La baja presión de vapor reduce la evaporación y prolonga la vida útil; La buena conductividad eléctrica (18% IACS) admite una luminiscencia eficiente.

Escenas típicas: faros halógenos de automóviles, bombillas de proyectores, iluminación de escenarios.

Puntos clave:

El filamento de tungsteno necesita ser recocido varias veces para mejorar la ductilidad.

El filamento debe estirarse uniformemente para evitar el sobrecalentamiento local y la rotura.

Los gases inertes (por ejemplo, argón) llenan la bombilla y reducen la evaporación del tungsteno.

5.3.2 Electrodos (electrodos de tungsteno, electrodos de tungsteno de tierras raras)

Las varillas de tungsteno se procesan en electrodos y se utilizan ampliamente en soldadura por arco de argón (TIG), soldadura por plasma y equipos electrónicos.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varillas de tungsteno dopadas (por ejemplo, WC20 dopadas con cerio, WL20 dopadas con lantano, WT20 dopadas con torio), diámetro de 1 a 5 mm.

Función: El electrodo proporciona una corriente estable en un arco de alta temperatura (>6000 °C),

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

encendiendo y manteniendo el arco, adecuado para soldadura o corte por plasma.

Ventajas: Varilla de tungsteno dopada para mejorar la estabilidad del arco y reducir la pérdida por combustión; Alto punto de fusión para soportar altas temperaturas de arco; El dopaje de tierras raras (por ejemplo, CeO_2) no es radiactivo y es respetuoso con el medio ambiente en comparación con los electrodos dopados con torio.

Escenarios típicos: soldadura de acero inoxidable o aleaciones de aluminio, procesamiento por plasma en la fabricación de equipos semiconductores.

Puntos clave:

La punta del electrodo debe rectificarse en forma cónica para optimizar la concentración del arco.

El dopante debe distribuirse uniformemente para garantizar un rendimiento constante.

Los electrodos dopados con torio deben estar protegidos y cumplir con las normas de radiactividad.

5.3.3 Objetivos de pulverización catódica

Las varillas de tungsteno se procesan en objetivos de pulverización catódica para recubrimientos de deposición física de vapor (PVD) para producir semiconductores y dispositivos ópticos.

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), diámetro 50–100 mm.

Función: El objetivo es bombardeado con iones de alta energía en una cámara de vacío, liberando átomos de tungsteno que se depositan en el sustrato para formar una capa conductora o protectora.

Ventajas: La alta pureza garantiza que el recubrimiento esté libre de impurezas; Baja presión de vapor adecuada para entornos de vacío; La alta densidad aumenta la vida útil del objetivo.

Escenario típico: Producción de capas de interconexión para chips de 3 a 5 nm y fabricación de recubrimientos ópticos antirreflectantes.

Puntos clave:

El material objetivo debe ser de ultra alta pureza para evitar la contaminación del chip.

La superficie necesita ser electropulida para reducir los defectos de partículas.

El material objetivo debe reemplazarse regularmente para recuperar el tungsteno residual.

5.4 Las varillas de tungsteno se utilizan en la industria automotriz y aeroespacial

La aplicación de la varilla de tungsteno en los campos automotriz y aeroespacial utiliza principalmente su alta densidad, alta resistencia y resistencia a altas temperaturas para satisfacer las necesidades de condiciones de trabajo complejas.

5.4.1 Componentes de automatización automotriz

Las varillas de tungsteno se utilizan en la fabricación de automóviles para contrapesos, electrodos de soldadura y componentes de automatización para mejorar la eficiencia y el rendimiento.

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de aleación de tungsteno (W-Ni-Fe, densidad 18,0-18,5 g/cm³) o varilla de tungsteno dopada (WC20), diámetro 5-20 mm.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Función: Los contrapesos (por ejemplo, los contrapesos del cigüeñal) optimizan la vibración del motor; Los electrodos de tungsteno se utilizan para la soldadura por puntos de resistencia, conectando placas de acero del cuerpo; Los componentes de alta densidad se utilizan en las transmisiones automáticas para mejorar la resistencia al desgaste.

Ventajas: la alta densidad reduce el volumen de los componentes; La alta dureza (350-500 HV) resiste la abrasión; El electrodo de tungsteno dopado mejora la estabilidad de la soldadura.

Escenario típico: Soldadura del paquete de baterías de vehículos de nueva energía, optimización del contrapeso del motor.

Puntos clave:

El contrapeso debe mecanizarse con precisión con una tolerancia de peso controlada de $\pm 0,1$ g.

Los electrodos de soldadura deben rectificarse regularmente para mantener la forma de la punta.

Los componentes deben estar recubiertos con un recubrimiento resistente a la corrosión para resistir la humedad y la niebla salina.

5.4.2 Componentes aeroespaciales de alta temperatura

Las varillas de tungsteno se utilizan en la industria aeroespacial para propulsores de alta temperatura, componentes de prueba en túnel de viento y contrapesos para cumplir con los requisitos de entornos extremos.

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de tungsteno puro o varilla de aleación de tungsteno, densidad 19,0-19,25 g/cm³, diámetro 10-50 mm.

Función: El revestimiento de la boquilla soporta la alta temperatura del propulsor de plasma (>2000 °C); Optimización del centro de gravedad mediante contrapesos (por ejemplo, contrapesos de satélite); Los componentes de prueba del túnel de viento son resistentes a la deformación térmica.

Ventajas: El alto punto de fusión y la resistencia a la fluencia garantizan la estabilidad a altas temperaturas; La alta densidad proporciona contrapesos eficientes; El bajo coeficiente de expansión térmica reduce el estrés térmico.

Escenario típico: toberas de propulsores iónicos, contrapesos de control de actitud de naves espaciales.

Puntos clave:

Los componentes deben estar recubiertos con un recubrimiento resistente a altas temperaturas para evitar la oxidación.

El contrapeso debe mecanizarse con alta precisión para garantizar un centro de gravedad preciso.

Los componentes del túnel de viento deben pulirse para reducir las perturbaciones del flujo de aire.

5.5 La varilla de tungsteno se utiliza en la investigación médica y científica

La aplicación de la varilla de tungsteno en los campos de la investigación médica y científica se basa principalmente en su alta densidad, resistencia a altas temperaturas y estabilidad química para satisfacer las necesidades de alta precisión y entornos especiales.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

5.5.1 Dispositivos médicos (protección contra la radiación)

Las varillas de tungsteno se procesan en escudos de radiación que se utilizan ampliamente en equipos de rayos X, tomografía computarizada y radioterapia para proteger a los trabajadores sanitarios y a los pacientes.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de aleación de tungsteno (W-Ni-Cu, densidad 18,0-18,5 g/cm³), diámetro 10-50 mm.

Función: El blindaje absorbe los rayos X o gamma de alta energía, reemplazando el blindaje de plomo y proporcionando una mayor eficiencia de protección.

Ventajas: La alta densidad proporciona un excelente rendimiento de blindaje, un 30% menos de volumen que el plomo; No tóxico, de acuerdo con los requisitos médicos y de protección del medio ambiente; Alta resistencia resiste el uso a largo plazo.

Escenas típicas: máquina de tomografía computarizada, equipo de radioterapia tumoral, escudo.

Puntos clave:

El blindaje debe mecanizarse con precisión para garantizar que se minimicen los espacios.

La superficie debe pulirse para evitar que el polvo contamine el entorno médico.

La aleación debe estar libre de plomo y cumplir con RoHS.

5.5.2 Equipo experimental (experimentos a alta temperatura)

Las varillas de tungsteno se utilizan en la investigación científica para equipos experimentales de alta temperatura, como hornos de vacío, experimentos de superconductividad e investigación con plasma.

Características de la aplicación:

Requisitos de material: varilla de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$) o varilla de tungsteno dopada, diámetro 5-20 mm.

Función: Como elemento calefactor, soporta altas temperaturas superiores a 2500 °C; Como electrodo, proporciona una corriente estable; Como soporte, mantenga estable la configuración experimental.

Ventajas: la baja presión de vapor garantiza un entorno de vacío limpio; El alto punto de fusión soporta temperaturas extremas; La estabilidad química evita la contaminación experimental.

Escenarios típicos: pruebas de materiales superconductores a alta temperatura, experimentos de plasma de fusión nuclear.

Puntos clave:

Las varillas de tungsteno deben ser de ultra alta pureza para evitar que las impurezas interfieran con el experimento.

Los electrodos deben pulirse para reducir la inestabilidad del arco.

El horno de vacío necesita un mantenimiento regular para evitar la oxidación de las varillas de tungsteno.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

5.6 Las varillas de tungsteno se utilizan en otros campos

Las varillas de tungsteno también tienen aplicaciones únicas en artículos deportivos, joyas y herramientas especiales, lo que refleja su versatilidad.

5.6.1 Artículos deportivos (dardos de carburo de tungsteno)

Las varillas de aleación de tungsteno se utilizan para fabricar dardos de alta gama para mejorar el rendimiento competitivo.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de aleación de tungsteno (W-Ni-Cu, densidad 18,0-18,5 g/cm³), diámetro 5-10 mm.

Función: El cuerpo del dardo utiliza alta densidad para lograr un pequeño volumen y un alto peso, optimizando la estabilidad y precisión del lanzamiento.

Ventajas: Alta densidad, más pequeño que los dardos de latón tradicionales, adecuado para áreas objetivo densas; Alta dureza para soportar impactos repetidos; Se puede personalizar para satisfacer las necesidades individuales.

Escenas típicas: competiciones profesionales de dardos, equipos de entretenimiento de alta gama.

Puntos clave:

Los dardos deben girarse con precisión para controlar la distribución del peso.

La superficie necesita ser pulida o chapada para mejorar la estética y el tacto.

La relación de aleación debe optimizarse para garantizar la tenacidad y evitar roturas.

5.6.2 Joyería (joyería de carburo de tungsteno)

Las varillas de aleación de tungsteno se procesan en anillos, pulseras y otras joyas, que son hermosas y duraderas.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de aleación de tungsteno (W-Ni-Cu o W-C, densidad 18,0-18,5 g/cm³), diámetro 5-20 mm.

Función: La joyería utiliza alta dureza y resistencia a la corrosión, proporcionando resistencia a los arañazos y durabilidad; La alta densidad da una sensación de calma.

Ventajas: más resistente al desgaste que el acero inoxidable o el titanio; Se puede pulir hasta obtener un efecto de espejo; No es tóxico y es apto para personas con piel sensible.

Escenas típicas: anillos de boda, pulseras conmemorativas, bisutería de alta gama.

Puntos clave:

La joyería debe mecanizarse con alta precisión y tolerancias dimensionales $\pm 0,05$ mm.

La superficie debe ser galvanoplastia o recubrimiento CVD para mejorar la resistencia a la oxidación.

El diseño debe ser sensible al peso para evitar que el peso excesivo afecte a la comodidad de uso.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

5.6.3 Herramientas y moldes especiales

Las varillas de tungsteno se mecanizan en herramientas de corte, troqueles de estampación o piezas resistentes al desgaste para el mecanizado industrial de alta intensidad.

Características de la aplicación:

Requisitos materiales: varilla de tungsteno puro o varilla de aleación de tungsteno, densidad 19,0-19,25 g/cm³, diámetro 5-30 mm.

Función: corte de materiales duros (como cerámica, acero aleado); troquelado de piezas de automóviles o componentes electrónicos; Las piezas resistentes al desgaste se utilizan en equipos de minería.

Ventajas: Alta dureza (350-500 HV) resistencia al desgaste; La alta resistencia soporta altas cargas; Resistencia a la corrosión y vida útil prolongada.

Escenario típico: procesamiento de piezas de aviación, fabricación de moldes de chips electrónicos.

Puntos clave:

El cortador debe estar rectificado con diamante para garantizar que el filo esté afilado.

El molde necesita ser tratado térmicamente para aliviar el estrés del procesamiento.

La superficie debe pulirse o recubrirse para reducir la adherencia del material.



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Capítulo 6 Equipo de producción de varillas de tungsteno

La producción de varillas de tungsteno implica una compleja cadena de procesos desde el procesamiento de la materia prima hasta el procesamiento del producto terminado, que requiere un rendimiento extremadamente alto del equipo, ya que el alto punto de fusión (3410 °C), la alta densidad (19,25 g / cm³) y la dureza (350-500 HV) del tungsteno requieren equipos especializados para lograr una producción de alta precisión, alta eficiencia y alta calidad. Este capítulo se centra en el equipo clave requerido para la producción de varillas de tungsteno, incluido el equipo de pulvimetalurgia (mezcladores, prensas, hornos de sinterización de alta temperatura), equipo de procesamiento de deformación (martillos neumáticos, martillos electrohidráulicos, máquinas de estampación rotativa, máquinas de extrusión en caliente, trenes de laminación, máquinas de trefilado), equipo de posprocesamiento (hornos de tratamiento térmico, equipo de pulido y limpieza, equipo de mecanizado de precisión), equipo de producción avanzado (sinterización por plasma hornos de fusión al vacío, sistemas de control automático) y guías prácticas para la selección y el mantenimiento de equipos.

6.1 Equipo de pulvimetalurgia para varillas de tungsteno

La pulvimetalurgia es el proceso básico de producción de varillas de tungsteno, que implica la mezcla, el prensado y la sinterización a alta temperatura del polvo de tungsteno, y el equipo utilizado debe garantizar la uniformidad del polvo, la compacidad de la palanquilla y la estabilidad a alta temperatura.

6.1.1 Mezcladores

El mezclador se utiliza para mezclar homogéneamente polvo de tungsteno con dopantes (como óxido de cerio, óxido de lantano) o aglutinantes (como alcohol polivinílico) para proporcionar materias primas de alta calidad para el prensado posterior.

Características del equipamiento:

Tipo: mezclador en V, molino de bolas planetario o mezclador tridimensional con un volumen de 50-500 L y adecuado para la producción de lotes pequeños y medianos.

Principio de funcionamiento: El polvo se agita en el recipiente por rotación o vibración, y el molino de bolas planetario logra una mezcla a nivel de micras mediante molienda de alta velocidad con un tiempo de mezcla de 2 a 8 horas.

Adaptación del proceso: el mezclador tipo V es adecuado para polvo de tungsteno puro o baja cantidad de dopaje (<1% en peso); Los molinos de bolas son adecuados para polvos altamente dopados (por ejemplo, 2 % en peso de CeO₂) o a nanoescala, donde el medio de molienda (bolas de tungsteno o zirconio) debe controlarse para evitar la contaminación.

Parámetros clave: 50–300 rpm, limpieza (entorno ISO 7), protección contra la oxidación por gases inertes (por ejemplo, nitrógeno).

Práctica Industrial:

La pared interior del mezclador debe estar revestida con acero inoxidable o aleación de tungsteno para reducir la contaminación por hierro.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Equipado con un sistema de recolección de polvo para evitar que el polvo de tungsteno vuele.
La homogeneidad de la mezcla (por ejemplo, análisis SEM) se comprueba regularmente para garantizar una distribución coherente del dopante.

6.1.2 Prensas

La prensa prensa el polvo de tungsteno mezclado en una pieza en bruto en forma de varilla, que proporciona la forma y la densidad iniciales para la sinterización.

Características del equipamiento:

Tipo: Prensa isostática en frío (CIP) como prensa principal, complementada por prensa de moldeo hidráulico, rango de presión de 100 a 300 MPa.

Principio de funcionamiento: CIP prensa piezas en bruto con un diámetro de 20 a 100 mm aplicando una presión uniforme en un medio líquido (agua o aceite) a través de un molde flexible (caucho o poliuretano); La máquina de moldeo se prensa directamente mediante un troquel de acero y es adecuada para diámetros pequeños (<20 mm).

Adaptación del proceso: CIP es adecuado para piezas en bruto de gran tamaño o formas complejas, con una densidad teórica del 50-60%; La máquina de moldeo es adecuada para la producción de alta precisión y bajo volumen con una tolerancia de $\pm 0,1$ mm.

Parámetros clave: precisión de control de presión ± 1 MPa, velocidad de prensado de 0,5 a 1 mm/s, superficie lisa del molde para reducir los defectos.

Práctica Industrial:

Los moldes CIP deben reemplazarse regularmente para evitar que la deformación afecte la calidad de la pieza en bruto.

La máquina de moldeo debe estar equipada con un dispositivo de desgasificación al vacío para eliminar el aire entre los polvos.

Después de prensar, la pieza en bruto debe radiografiarse para verificar si hay grietas o poros internos.

6.1.3 Horno de sinterización de alta temperatura

El horno de sinterización de alta temperatura calienta la pieza en bruto prensada a 2000-2800 °C para unir las partículas de polvo de tungsteno y formar una barra de alta densidad.

Características del equipamiento:

Tipo: Horno de protección de hidrógeno, sinterización al vacío o inducción con un volumen de horno de 0,1-1 m³.

Principio de funcionamiento: Por medio de calentamiento por resistencia o inducción, se introduce hidrógeno de alta pureza (99,999%) en el horno o al vacío (10^{-3} – 10^{-5} Pa) y la palanquilla se dispersa a altas temperaturas con una densidad del 90–95%.

Adaptación del proceso: el horno de hidrógeno es adecuado para varillas de tungsteno puro y el costo es bajo; El horno de vacío es adecuado para varillas de tungsteno de alta pureza para reducir la adsorción de impurezas; Los hornos de inducción son adecuados para la sinterización rápida con un tiempo de retención de 1 a 3 horas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Parámetros clave: precisión del control de temperatura $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, velocidad de enfriamiento de 10 a 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, material del horno molibdeno o grafito.

Práctica Industrial:

La cámara del horno debe limpiarse regularmente para eliminar los depósitos de vapor de tungsteno. Equipado con un sistema de monitoreo de atmósfera para detectar el contenido de oxígeno ($<10\text{ ppm}$) en tiempo real.

Después de la sinterización, las barras se inspeccionan por ultrasonidos para asegurarse de que no hay defectos internos.

6.2 Equipo de procesamiento de deformación de varillas de tungsteno

El equipo de procesamiento de deformación mejora la densidad y la resistencia de las varillas de tungsteno a través de la deformación mecánica a alta temperatura, que involucra forja, extrusión, laminación y estirado.

6.2.1 Martillos neumáticos y martillos electrohidráulicos

Los martillos neumáticos y los martillos electrohidráulicos se utilizan para forjar en caliente piezas en bruto de barras de tungsteno, formar preliminarmente y aumentar la densidad.

Características del equipamiento:

Tipo: Martillo neumático (0,5-5 toneladas), martillo electrohidráulico (1-10 toneladas), adecuado para barras con un diámetro de 20-100 mm.

Principio de funcionamiento: El martillo neumático impulsa la cabeza del martillo mediante aire comprimido, y el martillo electrohidráulico proporciona una mayor precisión y fuerza (50-200 kN) a través del sistema hidráulico, forjando en múltiples pasadas a 1200-1500 $^{\circ}\text{C}$ con una deformación del 10-20% por pasada.

Adaptación del proceso: el martillo neumático es adecuado para la producción a pequeña y mediana escala, bajo costo; El martillo electrohidráulico es adecuado para barras de gran tamaño, con alta precisión de control y grietas reducidas.

Parámetros clave: frecuencia de forja 10-30 veces/min, calentamiento con protección de hidrógeno, el material del molde es aleación de molibdeno.

Práctica Industrial:

Equipado con un calentador de inducción para mantener una temperatura de forja constante.

La cabeza del martillo debe alisarse regularmente para evitar abolladuras en la superficie de la barra.

El recocido después de la forja (1000-1200 $^{\circ}\text{C}$) alivia la tensión.

6.2.2 Máquinas de estampación rotativas

La máquina estampadora rotativa realiza una forja de alta precisión de varillas de tungsteno mediante matrices giratorias, que es adecuada para barras de diámetro pequeño y mediano.

Características del equipamiento:

Tipo: Máquina de estampación rotativa CNC, diámetro de mecanizado de 5 a 50 mm, equipada con

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

calentamiento por inducción de alta frecuencia.

Principio de funcionamiento: la varilla de tungsteno gira a 1200-1400 °C, y el molde aplica presión multidireccional, reduciendo gradualmente el diámetro, y la deformación es uniforme, y la densidad alcanza 19.0-19.25 g / cm³.

Adaptación del proceso: adecuado para varillas de tungsteno de alta pureza o varillas de tungsteno dopadas con una tolerancia de $\pm 0,05$ mm.

Parámetros clave: velocidad de rotación 100-500 rpm, presión 10-50 kN, vida útil del molde aprox. 1000 ciclos.

Práctica Industrial:

El molde debe ser a base de molibdeno o recubierto de cerámica para soportar el desgaste a alta temperatura.

Equipado con un sistema de refrigeración para evitar el sobrecalentamiento del equipo.

Después del estampado rotativo, la barra debe enderezarse para mantener la rectitud.

6.2.3 Extrusoras en caliente

La máquina de extrusión en caliente se utiliza para la formación de varillas de tungsteno con grandes especificaciones o secciones transversales complejas, con alta densidad y resistencia.

Características del equipamiento:

Tipo: Extrusora hidráulica, presión 500–1200 MPa, adecuada para diámetros 20–100 mm.

Principio de funcionamiento: La barra de tungsteno en bruto se precalienta a 1300-1600 °C y se extruye mediante una matriz con una relación de extrusión de 5:1-10:1.

Adaptación del proceso: adecuado para varillas de aleación de tungsteno o varillas de tungsteno puro de gran tamaño, se requiere protección contra hidrógeno o argón para evitar la oxidación.

Parámetros clave: velocidad de extrusión de 0,1 a 0,5 mm/s, material del molde molibdeno o cerámica, precisión de control de temperatura ± 20 °C.

Práctica Industrial:

El molde necesita ser lubricado regularmente (grafito o disulfuro de molibdeno) para reducir el desgaste.

Equipado con sistema de alimentación automática para mejorar la eficiencia de producción.

Después de la extrusión, la barra debe enfriarse lentamente para evitar que se agriete.

6.2.4 Trenes de laminación y máquinas de trefilado

Los trenes de laminación y los molinos de trefilado se utilizan para producir varillas de tungsteno de diámetro pequeño y mediano o alambres de tungsteno con alta precisión y excelente calidad de superficie.

Características del tren de laminación:

Tipo: Laminador en caliente (1000-1300 °C) o laminador en frío (<500 °C) con un diámetro de procesamiento de 5-20 mm.

Principio de funcionamiento: La varilla de tungsteno se reduce mediante múltiples pasadas de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

rodillos (aleación de molibdeno o carburo cementado) con una deformación del 15-25% cada vez.
Adaptación del proceso: el laminado en caliente es adecuado para varillas de tungsteno puro, el laminado en frío es adecuado para varillas de tungsteno dopadas de alta precisión, con una tolerancia de $\pm 0,02$ mm.

Parámetros clave: velocidad de rodadura 50–200 rpm, temperatura de recocido 900–1100 °C.

Características de la máquina de dibujo:

Tipo: Máquina de trefilado multitroquel, diámetro de mecanizado de 0,01 a 5 mm, equipada con troqueles de diamante.

Principio de funcionamiento: La varilla de tungsteno es estirada por un troquel a 800-1000 °C con una reducción de diámetro del 5-10%, y el lubricante es grafito o disulfuro de molibdeno.

Adaptación del proceso: adecuado para alambre de tungsteno o electrodo de diámetro pequeño.

Parámetros clave: Velocidad de embutición de 1 a 5 m/min, vida útil de la herramienta aprox. 500 kg de varilla de tungsteno.

Práctica Industrial:

Los rodillos y troqueles deben reemplazarse regularmente para mantener la precisión.

Equipado con un sistema de inspección en línea para controlar el diámetro y la calidad de la superficie.

El embutición requiere un recocido múltiple para evitar roturas.

6.3 Equipos de posprocesamiento para varillas de tungsteno

El equipo de posprocesamiento optimiza el rendimiento, la calidad de la superficie y la precisión dimensional de las varillas de tungsteno e implica tratamiento térmico, pulido, limpieza y mecanizado de precisión.

6.3.1 Hornos de tratamiento térmico

Los hornos de tratamiento térmico se utilizan para el tratamiento de recocido o envejecimiento, aliviando las tensiones de mecanizado y optimizando las microestructuras.

Características del equipamiento:

Tipo: Horno de tratamiento térmico al vacío u horno de protección de hidrógeno con un volumen de horno de 0,05 a 0,5 m³.

Principio de funcionamiento: calentamiento por resistencia o inducción, temperatura 800-1600 °C, conservación del calor 0,5-4 horas, velocidad de enfriamiento 10-20 °C/min.

Adaptación del proceso: recocido de alivio de tensiones (1000-1200 °C) adecuado para forjar o extruir varillas; El recocido de recristalización (1400-1600 °C) es adecuado para trefilar varillas; El tratamiento de envejecimiento (800-1000 °C) es adecuado para varillas de tungsteno dopadas.

Parámetros clave: precisión de temperatura ± 5 °C, vacío 10^{-5} Pa o pureza del hidrógeno 99,999%.

Práctica Industrial:

El horno está hecho de molibdeno o grafito, que es resistente a la corrosión a alta temperatura.

Equipado con un sistema de control de atmósfera para evitar la oxidación.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Después del tratamiento térmico, la barra debe someterse a una prueba de dureza para verificar el rendimiento.

6.3.2 Equipos de pulido y limpieza

Los equipos de pulido y limpieza mejoran la calidad de la superficie de las varillas de tungsteno y satisfacen las necesidades de las aplicaciones de alta precisión.

Equipo de pulido:

Tipo: Máquina pulidora mecánica (muela abrasiva de diamante), tanque de pulido químico, equipo de pulido electrolítico.

Principio de funcionamiento: el pulido mecánico elimina los defectos de la superficie a través de abrasivos; El pulido químico utiliza una mezcla de ácido fluorhídrico/ácido nítrico (1:3) remojada durante 10-30 segundos; El pulido electrolítico utiliza varilla de tungsteno como ánodo y tratamiento electrolítico a base de fosfato para lograr un efecto espejo.

Adaptación del proceso: el pulido mecánico es adecuado para barras de grado industrial; El pulido químico y electrolítico es adecuado para varillas o electrodos de tungsteno de alta pureza.

Equipos de limpieza:

Tipo: Máquina de limpieza ultrasónica, equipo de limpieza por plasma.

Principio de funcionamiento: La limpieza ultrasónica elimina las manchas de aceite mediante una onda ultrasónica de 40 kHz y agua desionizada (incluido el agente de limpieza) durante 5-10 minutos; La limpieza con plasma utiliza plasma de argón en una cámara de vacío para eliminar las trazas de contaminantes.

Adaptación del proceso: la limpieza ultrasónica es adecuada para barras convencionales; La limpieza por plasma es adecuada para varillas de tungsteno de alta pureza para semiconductores.

Práctica Industrial:

El pulido se realiza en una sala limpia ISO Clase 5 para evitar la contaminación por polvo.

El baño de pulido químico requiere un sistema de ventilación para tratar el líquido residual.

Después de la limpieza, la varilla debe estar seca y sellada para evitar la absorción de humedad.

6.3.3 Equipos de mecanizado de precisión (tornos, rectificadoras)

Características del torno:

Tipo: Torno CNC (máquina CNC) adecuado para el mecanizado de alta precisión, equipado con herramientas de diamante.

Principio de funcionamiento: Las varillas de tungsteno se mecanizan mediante corte rotativo con una tolerancia de diámetro de $\pm 0,05$ mm.

Adaptación del proceso: adecuado para barras de gran tamaño o procesamiento de formas complejas, como contrapesos de aviación.

Parámetros clave: 500–1500 rpm, avance 0,1 mm/rev.

Características de la rectificadora:

Tipo: Amoladora sin centro, amoladora central, adecuada para barras de diámetro pequeño.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Principio de funcionamiento: rectificado mediante muelas abrasivas (de diamante o cerámica) con una tolerancia de diámetro de $\pm 0,02$ mm.

Adaptación del proceso: la rectificadora sin centros es adecuada para electrodos o alambre de tungsteno, y la rectificadora central es adecuada para piezas de moldes de alta precisión.

Parámetros clave: velocidad de la muela abrasiva 2000–3000 rpm, aceite refrigerante o base de agua.

Práctica Industrial:

Las herramientas y las muelas abrasivas deben reemplazarse regularmente para evitar que el desgaste afecte la precisión.

Equipado con un sistema de enfriamiento para reducir la distorsión térmica.

Después del procesamiento, se requiere una limpieza ultrasónica para eliminar los desechos.

6.4 Equipo de producción avanzado para varillas de tungsteno

Los equipos de producción de última generación mejoran la calidad y la eficiencia de las varillas de tungsteno y representan la frontera tecnológica de la industria, incluida la sinterización por plasma, la fusión al vacío y el control automatizado.

6.4.1 Equipos de sinterización por plasma

Características del equipamiento:

Tipo: Horno de sinterización por plasma de chispa (SPS) con un volumen de horno de 0,01 a 0,1 m³.

Principio de funcionamiento: El plasma se genera mediante pulsos de corriente continua (1000-5000 A), combinados con una alta temperatura de 1800-2200 °C y una presión de 50-100 MPa, y se sinteriza rápidamente (5-15 minutos) con una densidad de más del 98%.

Adaptación al proceso: adecuado para varillas de tungsteno de alta pureza o varillas de tungsteno nanopadadas, con granos finos (5-10 μ m) y consumo de energía reducido.

Parámetros clave: frecuencia de pulso actual 50–100 Hz, vacío 10^{-4} Pa, molde de grafito o tungsteno.

Práctica Industrial:

Equipado con monitoreo en línea, control en tiempo real de corriente y temperatura.

El molde debe ser resistente a altas temperaturas y altas presiones, y revisarse regularmente.

Después de SPS, es necesario probar la porosidad de la barra para garantizar la compacidad.

6.4.2 Hornos de fusión al vacío

Características del equipamiento:

Tipo: Horno de arco eléctrico al vacío (VAR) u horno de fusión por haz de electrones (EBM) con un volumen de 0,05-0,5 m³.

Principio de funcionamiento: VAR funde lingotes de tungsteno en vacío (10^{-5} Pa) mediante un arco eléctrico (10-30 kV); El EBM se funde utilizando un haz de electrones de alta energía (50-100 kW) y es adecuado para tungsteno de ultra alta pureza.

Adaptación del proceso: VAR es adecuado para varillas de aleación de tungsteno, EBM es adecuado para varillas de tungsteno de alta pureza (pureza $\geq 99,999\%$), reduciendo la inclusión de gas.

Parámetros clave: potencia de fusión de 20 a 100 kW, caudal de agua de refrigeración de 10 a 50

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

L/min.

Práctica Industrial:

Equipado con una bomba de vacío para mantener un vacío ultra alto.

La palanquilla de fundición debe ser inspeccionada por rayos X para eliminar las inclusiones.

Mantenga los electrodos o el cañón de electrones con regularidad para prolongar la vida útil.

6.4.3 Sistemas automáticos de control y supervisión

Características del equipamiento:

Tipo: Sistema de control PLC, plataforma de monitoreo SCADA, sensores integrados (temperatura, presión, atmósfera).

Principio de funcionamiento: Recopilación en tiempo real de datos de sinterización, forja o procesamiento a través de sensores, PLC ajusta los parámetros y SCADA proporciona monitoreo remoto y análisis de datos.

Adaptación del proceso: Es adecuado para la automatización de todo el proceso, cubriendo la sinterización, extrusión, pulido y otros procesos para mejorar la consistencia y la eficiencia.

Parámetros clave: precisión de temperatura ± 1 °C, precisión de presión $\pm 0,1$ MPa, frecuencia de muestreo de datos 1 Hz.

Práctica Industrial:

El sistema debe ser resistente al polvo y al agua y adaptarse a entornos de alta temperatura.

Calibre el sensor con regularidad para asegurarse de que los datos sean precisos.

El almacenamiento de datos debe cifrarse para proteger los parámetros del proceso.

6.5 Selección de equipos y mantenimiento de varillas de tungsteno

La selección del equipo debe optimizarse de acuerdo con el tipo de varilla de tungsteno y la demanda de producción, y la gestión del mantenimiento debe prolongar la vida útil del equipo.

6.5.1 Requisitos de equipo para diferentes tipos de varillas de wolframio

Varilla de tungsteno puro:

Requisitos: Horno de sinterización de hidrógeno estándar (2000-2800 °C), martillo neumático o laminador en caliente, bajo costo, adecuado para producción de alto volumen.

Características del equipo: prensa CIP (150 MPa), pulidora mecánica, que enfatiza la durabilidad y el alto rendimiento.

Escena aplicable: varilla del núcleo del horno de cuarzo, contrapeso.

Varilla de tungsteno de alta pureza:

Requisitos: Horno de sinterización al vacío (10^{-5} Pa), SPS o EBM, máquina de estampación rotativa o torno CNC para garantizar una alta limpieza y precisión.

Características del equipo: operación de sala limpia (ISO clase 5), pulido electrolítico y equipo de limpieza por plasma.

Escenarios aplicables: electrodos semiconductores, objetivos de pulverización catódica.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Varillas de tungsteno dopadas:

Requisitos: molino planetario (dopaje homogéneo), horno de tratamiento térmico al vacío (800-1200 °C), máquina de trefilado (0,01-5 mm).

Características del equipo: las varillas de tungsteno dopadas con torio deben equiparse con instalaciones de gestión radiactiva, haciendo hincapié en la optimización del rendimiento del arco.

Escenarios aplicables: electrodos de soldadura, componentes de hornos de alta temperatura.

Práctica Industrial:

Elija el tamaño del equipo de acuerdo con el volumen de producción (por ejemplo, horno pequeño para investigación y desarrollo, horno grande para producción en masa).

El equipo de varilla de tungsteno de alta pureza debe aislarse en una sala limpia.

Las varillas de tungsteno dopadas deben ser compatibles con una variedad de equipos de mezcla de dopantes.

6.5.2 Mantenimiento de equipos y gestión de la vida útil

Medidas de mantenimiento:

Inspección periódica: verifique el desgaste de moldes, muelas abrasivas y herramientas todos los meses; Calibrar los sensores de temperatura y presión trimestralmente.

Limpieza y mantenimiento: El horno de sinterización debe limpiarse cada seis meses para eliminar los depósitos de vapor de tungsteno; El equipo de pulido debe limpiarse semanalmente para evitar residuos abrasivos.

Gestión de la lubricación: las extrusoras y las máquinas de trefilado deben reponerse con lubricantes de alta temperatura (como el disulfuro de molibdeno) todos los meses; Compruebe regularmente la calidad del aceite del sistema hidráulico.

Mantenimiento preventivo: Predecir fallos de los rodamientos mediante el control de vibraciones; Utilice un termómetro infrarrojo para detectar puntos calientes de sobrecalentamiento en el equipo y evitar daños por sobrecalentamiento.

Gestión de piezas de repuesto: almacene componentes críticos (por ejemplo, matrices de diamante, electrodos de molibdeno) para reducir el tiempo de inactividad.

Gestión de la vida:

Vida útil del molde: El tungsteno o la matriz de extrusión entre 1000 y 5000 veces, deben aplicarse regularmente con un recubrimiento resistente a altas temperaturas (por ejemplo, ZrO₂).

Vida útil del horno: El horno de molibdeno o grafito se sinteriza entre 2000 y 3000 veces, y el revestimiento debe cambiarse regularmente.

Actualizaciones de equipos: Los equipos más antiguos (como los martillos neumáticos tradicionales) se pueden actualizar a sistemas CNC para mejorar la precisión y la eficiencia.

Análisis de datos: Analice los datos de funcionamiento de los equipos a través del sistema SCADA para optimizar los intervalos de mantenimiento y prolongar la vida útil entre un 20 y un 30 %.

Práctica Industrial:

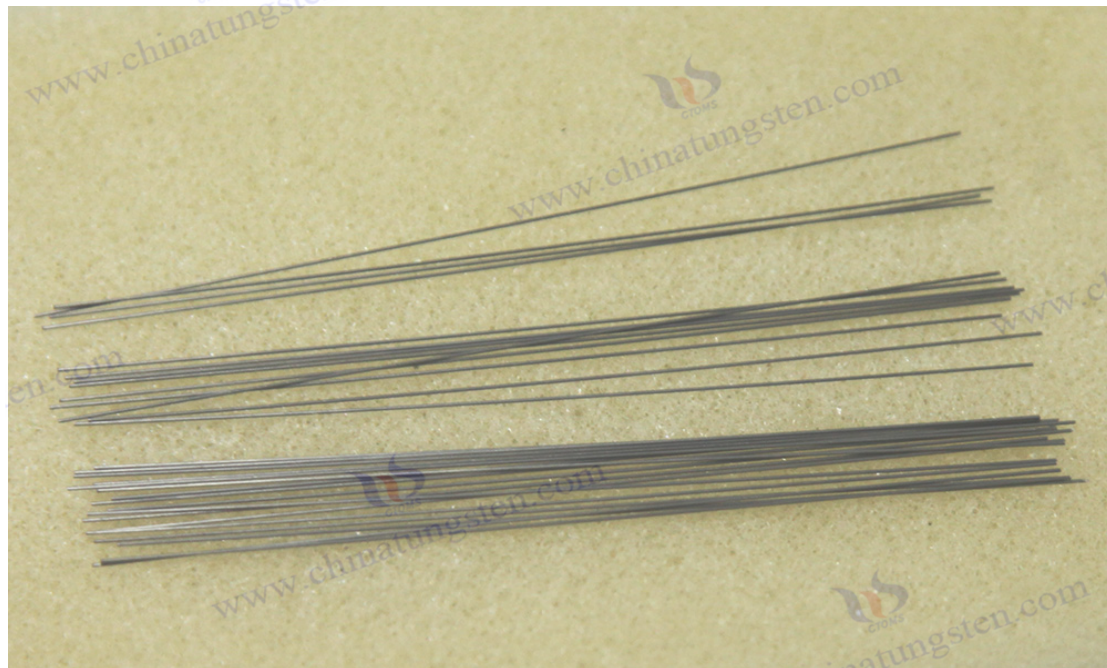
Establezca un registro de mantenimiento para registrar cada mantenimiento y fallo.

Capacite a los operadores para que reconozcan los primeros signos de falla, como vibraciones

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

anormales o fluctuaciones de temperatura.

Trabaje con los proveedores para actualizar regularmente el firmware del dispositivo y optimizar el rendimiento.



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 7 Normas nacionales y extranjeras para varillas de tungsteno

Como material metálico refractario de alto rendimiento, la producción, prueba y aplicación de varillas de tungsteno deben seguir estrictos estándares nacionales y extranjeros para garantizar la consistencia de la calidad, la confiabilidad del rendimiento y la competitividad en el mercado. Estas normas cubren la composición química, las propiedades físicas, las tolerancias dimensionales, la calidad de la superficie y los métodos de prueba de las varillas de tungsteno, y son aplicables a las varillas de tungsteno puro, las varillas de tungsteno de alta pureza, las varillas de tungsteno dopadas y las varillas de aleación de tungsteno. Este capítulo presenta sistemáticamente las normas internacionales (ISO, ASTM, RWMA, etc.) y las normas chinas (GB/T, YS/T, etc.) para las varillas de tungsteno, y compara y analiza sus diferencias, aplicabilidad e importancia orientadora para las pruebas de producción.

7.1 Normas internacionales para varillas de tungsteno

Las normas internacionales proporcionan especificaciones unificadas para el comercio y la aplicación global de varillas de tungsteno, formuladas principalmente por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la Asociación de Fabricación de Soldadura por Resistencia (RWMA), que cubren la composición, las propiedades y los usos del tungsteno y las aleaciones de tungsteno.

7.1.1 Norma ISO (ISO 24370: Tungsteno y aleaciones de tungsteno)

Descripción general de la norma: ISO 24370: 2005 "Cerámica fina y materiales metálicos

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

refractarios" es una norma para metales refractarios desarrollada por la Organización Internacional de Normalización, que incluye especificaciones para varillas de tungsteno y aleaciones de tungsteno, adecuadas para aplicaciones de alta temperatura y alta resistencia.

Disposiciones básicas:

Alcance: Especificar la composición química, las propiedades mecánicas y los requisitos dimensionales de las varillas de tungsteno puro y aleación de tungsteno, que son adecuadas para los campos aeroespacial, electrónico e industrial.

Composición química: El contenido de tungsteno puro $\geq 99.9\%$, las impurezas (como Fe, C, O) deben controlarse a niveles de trazas; Las varillas de aleación de tungsteno (por ejemplo, W-Ni-Fe) deben tener clara la proporción de elementos de aleación.

Propiedades físicas: densidad especificada (tungsteno puro $\geq 19,0 \text{ g/cm}^3$), resistencia a la tracción y dureza, haciendo hincapié en la resistencia a la fluencia a altas temperaturas.

Dimensiones y tolerancias: Los diámetros van de 1 a 100 mm, las tolerancias se dividen en clases comunes y de alta precisión según la aplicación.

Métodos de prueba: Se recomienda la espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) para analizar la composición, ultrasónica para detectar defectos internos y probador de dureza para probar las propiedades mecánicas.

Escenarios aplicables:

Se utiliza principalmente para componentes aeroespaciales de alta temperatura (como revestimientos de boquillas), objetivos de pulverización catódica electrónica y electrodos de soldadura.

Haciendo hincapié en la coherencia internacional, es adecuado para las cadenas de suministro transfronterizas y el comercio de exportación.

Puntos clave:

La norma tiene requisitos estrictos para el control de impurezas en varillas de tungsteno de alta pureza, y se requiere un entorno de producción limpio.

El método de prueba está en línea con los estándares internacionales y es conveniente para la certificación global.

Necesita actualizarse periódicamente para adaptarse a las nuevas tecnologías de materiales.

7.1.2 Norma ASTM (ASTM B777: aleación de tungsteno de alta densidad)

Descripción general de la norma: La especificación estándar ASTM B777-15 para aleaciones a base de tungsteno de alta densidad fue desarrollada por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM) para el rendimiento y la aplicación de varillas de aleación de tungsteno (por ejemplo, W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) y es ampliamente utilizada en los campos militar y médico.

Disposiciones básicas:

Alcance: Cubre la clasificación de varillas de aleación de tungsteno de alta densidad (Clase 1-4), clasificadas según el contenido de tungsteno (90-97% en peso) y el rendimiento.

Composición química: Especifique la proporción de tungsteno, níquel, hierro o cobre e impurezas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

(por ejemplo, S, P) por debajo de los límites especificados.

Propiedades físicas: rango de densidad 17,0–18,5 g/cm³, resistencia a la tracción 600–1200 MPa, dureza 300–400 HV.

Dimensiones y tolerancias: 5-50 mm de diámetro, longitud personalizable, tolerancias que cumplen con los requisitos del mecanizado de precisión.

Método de detección: Se utilizó espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para analizar la composición, se utilizaron pruebas de partículas magnéticas para detectar grietas superficiales y se utilizó una prueba de tracción para verificar la resistencia.

Escenarios aplicables:

Se utiliza principalmente para núcleos perforantes de armaduras, piezas de protección contra la radiación y contrapesos de aviación.

Adecuado para el mercado norteamericano y la industria militar, con énfasis en alta densidad y propiedades mecánicas.

Puntos clave:

El estándar se clasifica por densidad y resistencia, lo cual es conveniente para la selección de materiales.

Existen requisitos claros para el respeto al medio ambiente de los elementos de aleación (por ejemplo, formulaciones sin plomo).

La detección requiere un equipo especial, que es costoso.

7.1.3 AMERM Clase 13

Descripción general del estándar: La Asociación de Fabricantes de Soldadura por Resistencia (RWMA) ha desarrollado un estándar de Clase 13 para varillas de tungsteno puro y está diseñado para electrodos de soldadura por resistencia y aplicaciones de electrodos de alta temperatura.

Disposiciones básicas:

Alcance: Especifique la composición, la conductividad y la resistencia a altas temperaturas de la varilla de tungsteno puro (contenido de tungsteno $\geq 99.9\%$).

Composición química: Control estricto de carbono, oxígeno, nitrógeno y otras impurezas para evitar la inestabilidad del arco.

Propiedades físicas: conductividad de aproximadamente 18% IACS, dureza de 350-450 HV, resistencia a la combustión a altas temperaturas.

Dimensiones y tolerancias: 1–10 mm de diámetro, $\pm 0,05$ mm de tolerancia, adecuado para el mecanizado de puntas de electrodos.

Método de detección: el probador de conductividad verifica la conductividad, la inspección microscópica de la calidad de la superficie, la prueba de resistencia a altas temperaturas simula el entorno del arco.

Escenarios aplicables:

Se utiliza en electrodos de soldadura por puntos de resistencia y ensamblaje de equipos electrónicos en la fabricación de automóviles.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Es adecuado para escenarios de soldadura de alta frecuencia y enfatiza la vida útil del electrodo.

Puntos clave:

Rendimiento estándar de electrodos enfocados, ignorando otras aplicaciones.

Tiene altos requisitos de calidad superficial y requiere un pulido de precisión.

El método de detección es simple y adecuado para pequeñas y medianas empresas.

7.1.4 Otras normas internacionales

Descripción general: Además de ISO, ASTM y RWMA, otras normas internacionales también cubren las varillas de tungsteno, tales como:

AWS A5.12: Tungsteno y estándares de electrodos de tungsteno dopados (p. ej., WT20, WC20) desarrollados por el American Welding Institute que especifican el contenido de dopante (p. ej., 2% ThO₂ o CeO₂) y el rendimiento del arco.

JIS Z 3211: Norma industrial japonesa para la composición y el tamaño de los electrodos de tungsteno para el mercado asiático.

DIN EN 26848: norma europea que especifica los requisitos generales para las varillas de tungsteno, con énfasis en aplicaciones de alta temperatura.

Contenido principal:

AWS A5.12 se centra en la soldabilidad de las varillas de tungsteno dopadas, incluida la estabilidad del arco y la tasa de quemado.

JIS Z 3211 es similar a ISO 24370, pero con tolerancias dimensionales más estrictas y es adecuado para electrónica de precisión.

La norma DIN EN 26848 cubre varillas de tungsteno puro y aleaciones, con énfasis en aplicaciones aeroespaciales y de defensa.

Escenarios aplicables:

AWS A5.12 se utiliza en la industria mundial de la soldadura, JIS Z 3211 sirve al mercado japonés de electrónica y DIN EN 26848 se utiliza para empresas aeroespaciales europeas.

Estas normas complementan ISO y ASTM para satisfacer las necesidades de regionalización.

Puntos clave:

Los criterios aplicables deben seleccionarse de acuerdo con el mercado objetivo.

Los estándares de varillas de tungsteno dopadas (p. ej., AWS) tienen requisitos de gestión especiales para los radiodopantes (p. ej., ThO₂).

Las pruebas deben verificarse en todos los estándares, lo que aumenta el costo de la certificación.

7.2 Estándar chino para varillas de tungsteno

El sistema estándar chino incluye estándares nacionales (GB / T) y estándares de la industria (YS / T), que cubren la composición, el rendimiento, el tamaño y las pruebas de las varillas de tungsteno, para satisfacer las necesidades de producción y aplicación nacionales.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

7.2.1 GB/T 4187-2017 (Norma nacional para barras de tungsteno)

Descripción general del estándar: GB / T 4187-2017 "Varilla de tungsteno" es un estándar nacional chino, que estipula el rendimiento y el uso de varillas de tungsteno puro y varillas de tungsteno de alta pureza, y es adecuado para los campos de investigación industrial, electrónica y científica.

Disposiciones básicas:

Gama: Cubre varillas de tungsteno puro ($\geq 99,9\%$ de contenido de tungsteno) y varillas de tungsteno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) con diámetros de 1 a 100 mm.

Composición química: Límites estrictos para impurezas (por ejemplo, Fe, C, O) y contenido de oxígeno < 50 ppm para varillas de tungsteno de alta pureza.

Propiedades físicas: densidad $\geq 19,0$ g/cm³, la resistencia a la tracción varía según el diámetro y el estado de procesamiento, dureza 300–450 HV.

Dimensiones y tolerancias: Las tolerancias se dividen en grado ordinario ($\pm 0,1$ mm) y grado de precisión ($\pm 0,05$ mm), y la longitud se puede personalizar.

Método de detección: análisis XRF o ICP-MS de componentes, pruebas ultrasónicas de calidad interna, prueba de dureza Vickers.

Escenarios aplicables:

Se utiliza para varilla de núcleo de horno de cuarzo, varilla de sujeción de silicio monocristalino y objetivo semiconductor.

Adecuado para el mercado interno y la exportación, enfatizando la alta pureza y la precisión dimensional.

Puntos clave:

La norma tiene altos requisitos para la producción limpia de varillas de tungsteno de alta pureza, y se requiere un entorno libre de polvo.

Los métodos de prueba están en línea con los estándares internacionales y son convenientes para la certificación de exportación.

Revisiones periódicas para adaptarse a nuevos procesos.

7.2.2 GB/T 3459-2017 (productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno)

Descripción general del estándar: GB / T 3459-2017 "Tungsteno y productos de aleación de tungsteno" es un estándar nacional chino que cubre varillas de tungsteno, varillas de aleación de tungsteno y otros productos de tungsteno, adecuados para campos aeronáuticos, militares e industriales.

Disposiciones básicas:

Gama: incluye varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno dopadas y varillas de aleación de tungsteno (por ejemplo, W-Ni-Fe) con un contenido de tungsteno del 90-99,9%.

Composición química: Especifique la proporción de elementos de aleación (por ejemplo, Ni, Fe) y los límites de impurezas están relacionados con la aplicación.

Propiedades físicas: densidad 17,0–19,25 g/cm³, resistencia a la tracción 600–1000 MPa, elongación moderada.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Dimensiones y tolerancias: Diámetro 5-50 mm, tolerancias $\pm 0,2$ mm, los requisitos especiales se pueden personalizar.

Métodos de prueba: análisis ICP-AES de componentes, prueba de defectos de partículas magnéticas de superficies, prueba de tracción para verificar el rendimiento.

Escenarios aplicables:

Se utiliza para perforar núcleos de balas, contrapesos de aviación y productos de protección contra la radiación.

Sirviendo a la industria militar nacional y a la industria pesada, haciendo hincapié en la alta densidad y resistencia.

Puntos clave:

La norma cubre una variedad de productos de tungsteno, con alta flexibilidad.

Los requisitos de protección ambiental para las varillas de aleación son estrictos y se requieren formulaciones no tóxicas.

La detección debe estar respaldada por un equipo integral.

7.2.3 Estándar de la industria (YS/T 695-2017: electrodo romo)

Descripción general del estándar: YS / T 695-2017, "Electrodo romo" es el estándar de la industria para metales no ferrosos en China, con el objetivo de obtener el rendimiento y la producción de electrodos romos puros y dopados (como WC20, WL20, WT20).

Disposiciones básicas:

Rango: Especifique la composición, el tamaño y las propiedades del arco del electrodo romo, de 0,5 a 10 mm de diámetro.

Composición química: contenido contundente puro $\geq 99,9\%$, dopado con óxidos de tierras raras contundentes (como 2% de CeO_2) u óxido de torio, límite de impurezas bajo.

Propiedades físicas: excelente conductividad, resistencia a la combustión a alta temperatura, alta estabilidad del arco.

Dimensiones y tolerancias: Tolerancias $\pm 0,05$ mm, las puntas deben cumplir con los requisitos de soldadura.

Método de detección: máquina de prueba de arco para probar la ignición y la estabilidad, análisis XRF del contenido de dopante, inspección microscópica de la superficie.

Escenarios de aplicación:

Se utiliza para la soldadura por arco de argón (TIG), el corte por plasma y para la construcción de automóviles y barcos.

Es adecuado para la industria de soldadura doméstica, enfatizando el rendimiento del electrodo.

Puntos clave:

Los electrodos romos dopados con torio están sujetos a las regulaciones de radiactividad.

La prueba simula el entorno de soldadura real para verificar el rendimiento del arco.

Los estándares se actualizan con frecuencia, así que esté atento a la última versión.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

7.3 Comparación estándar y aplicabilidad de varillas romas

Comparación de estándares y análisis de aplicabilidad: Existen diferencias en los objetivos de formulación, requisitos y escenarios de aplicación de las normas nacionales y extranjeras, y es necesario seleccionar las especificaciones adecuadas de acuerdo con el tipo de varilla roma y el mercado.

7.3.1 Diferencias entre normas nacionales y extranjeras

Análisis comparativo:

Establece metas:

Las normas internacionales (como ISO, ASTM) hacen hincapié en la universalidad mundial y tienen términos amplios, que son adecuados para el comercio transfronterizo; Los estándares chinos (GB/T, YS/T) combinan la tecnología nacional y la demanda del mercado, y los términos son más específicos.

ASTM B777 se enfoca en varillas de aleación roma de alta densidad, adecuadas para uso militar y médico; GB/T 3459 cubre una amplia gama de productos contundentes y proporciona una gama más amplia de flexibilidad.

RWMA Clase 13 e YS/T 695 se especializan en electrodos, y los estándares internacionales se centran más en la conductividad y el rendimiento del arco.

Requisitos técnicos:

Ingredientes estándar internacionales: los estándares internacionales (como ISO 24370) tienen un control más estricto de las impurezas (como oxígeno, carbono), lo que es adecuado para varillas romas de alta pureza; Los estándares chinos (como GB / T 4187) tienen requisitos ligeramente más flexibles para las varillas romas puras ordinarias para reducir los costos de producción.

Propiedades físicas: ASTM B777 requiere una mayor resistencia y densidad de resistencia a la tracción de las aleaciones romas (600-1200 MPa); GB/T 3459 enfatiza el rango de densidad (17,0–19,25 g/cm³).

Tolerancia dimensional: las tolerancias estándar ISO y JIS son más estrictas ($\pm 0,05$ mm), adecuadas para alta precisión; Clasificación de tolerancia GB/T ($\pm 0,1-0,2$ mm) para una amplia gama de requisitos.

Método de detección:

Las normas internacionales recomiendan XRF, ICP-MS y pruebas de partículas magnéticas, de acuerdo con las normas chinas, pero ASTM requiere pruebas de tracción más complejas.

La prueba de arco de YS/T 695 es más específica de la industria, y AWS A5.12 es similar pero más estricta.

Puntos clave:

Los estándares internacionales son más adecuados para la exportación y los mercados de alta gama, mientras que los estándares chinos están más en línea con la realidad de la producción nacional.

El equipo de prueba debe ser compatible con ambos estándares, y se debe considerar el equilibrio entre costo y eficiencia.

La gestión de la radiactividad de los electrodos de tungsteno dopados con torio es más estricta en

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

las normas internacionales.

7.3.2 Requisitos estándar para los diferentes tipos de varillas de tungsteno

Varilla roma pura:

Normas aplicables: ISO 24370, GB/T 4187, RWMA Clase 13.

Requisitos: contenido de $\geq$ contundente del 99,9%, bajas impurezas (por ejemplo, oxígeno < 100 ppm), densidad $\geq 19,0 \text{ g/cm}^3$, tolerancia $\pm 0,1 \text{ mm}$.

Escenarios aplicables: muestras de núcleo de horno de cuarzo, contrapesos, enfatizando la estabilidad a alta temperatura y el control de costos.

Varilla de tungsteno de alta pureza:

Normas aplicables: ISO 24370, GB/T 4187 (grado de alta pureza), ASTM B760 (referencia de extensión de placa roma).

Requisitos: Contenido contundente $\geq 99,95\%$, impurezas muy bajas (por ejemplo, oxígeno < 30 ppm), producción limpia, tolerancia $\pm 0,05 \text{ mm}$.

Escenarios aplicables: objetivos semiconductores, dispositivos médicos, enfatizando la alta densidad y pureza.

Varillas romas dopadas:

Normas aplicables: AWS A5.12, YS/T 695, GB/T 3459.

Requisitos: El dopante (por ejemplo, 2% de CeO_2) se distribuye uniformemente, la estabilidad del arco es alta y las varillas dopadas con torio necesitan control radiactivo.

Escenarios aplicables: electrodos de soldadura, componentes de hornos de alta temperatura, enfatizando el rendimiento eléctrico.

Varilla de aleación de tungsteno:

Normas aplicables: ASTM B777, GB/T 3459.

Requisitos: contenido contundente 90-97%, densidad $17,0-18,5 \text{ g/cm}^3$, resistencia a la tracción 600-800 MPa, formulación no tóxica.

Escenarios aplicables: núcleo de bala perforante, blindaje contra la radiación, énfasis en la alta resistencia y la protección del medio ambiente.

Puntos clave:

La selección estándar debe coincidir con el tipo de varilla roma y el campo de aplicación.

Las varillas romas dopadas y de alta pureza requieren equipos de mayor precisión para respaldar la producción y la inspección.

Las varillas de aleación roma deben prestar atención a las regulaciones ambientales.

7.3.3 La importancia rectora de las normas para la producción y las pruebas

Instrucciones de producción:

Control de ingredientes: Las normas especifican límites para impurezas y dopantes para guiar los procesos de selección y purificación de materias primas (por ejemplo, ISO requiere oxígeno < 50 ppm y se debe optimizar la reducción de hidrógeno).

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Optimización del proceso: Las tolerancias y los requisitos de rendimiento (por ejemplo, $\pm 0,1$ mm para GB/T) guían la precisión de los equipos de prensado, sinterización y procesamiento.

Gestión de la calidad: La norma requiere promover la certificación ISO 9001 y otros sistemas, estandarizar el proceso de producción y reducir la tasa de defectos.

Guía para la prueba:

Análisis de composición: XRF, ICP-MS garantizan que la química cumpla con los estándares y los instrumentos deben calibrarse regularmente.

Verificación del rendimiento: Las pruebas de tracción, las pruebas de dureza y las pruebas de arco verifican las propiedades mecánicas y eléctricas con una preparación de muestras estandarizada.

Inspección de defectos: Las técnicas de prueba ultrasónicas y de partículas magnéticas detectan defectos internos y superficiales para garantizar la seguridad del producto.

Práctica Industrial:

Las empresas necesitan establecer laboratorios de control de calidad estandarizados equipados con equipos de prueba multifuncionales.

Capacitar regularmente a los empleados para que se familiaricen con las diferencias entre las normas nacionales y extranjeras y mejoren el cumplimiento.

Los productos de exportación deben cumplir primero con los estándares del mercado objetivo y prepararse para la certificación con anticipación.



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Capítulo 8 Detección de varillas de tungsteno

Como material metálico refractario de alto rendimiento, la calidad de la varilla de tungsteno afecta directamente el rendimiento de la aplicación, y las propiedades físicas, la composición química, la microestructura y las propiedades especiales deben evaluarse mediante métodos de prueba integrales. Las pruebas cubren una variedad de técnicas, desde macro hasta micro, incluidas las pruebas de propiedades físicas, el análisis químico, la observación microscópica, las pruebas no destructivas y la verificación del rendimiento, con diferentes énfasis para varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza y varillas de tungsteno dopadas. Este capítulo profundizará en los métodos de prueba de las varillas de tungsteno, incluida la densidad, la dureza, la resistencia a la tracción, las propiedades térmicas, la composición química, la microestructura, las pruebas no destructivas, la alta temperatura, la resistencia a la corrosión, la conductividad y otras pruebas de rendimiento, y analizará las prioridades de prueba de los diferentes tipos de varillas de tungsteno.

8.1 Propiedades físicas de la prueba de varilla de tungsteno

Las pruebas de propiedades físicas evalúan la densidad, la dureza, la resistencia y las propiedades térmicas de las varillas de tungsteno para garantizar que cumplan con los requisitos de diseño para aplicaciones aeroespaciales, electrónicas e industriales.

8.1.1 Ensayo de densidad de varillas de wolframio

Propósito: La densidad es el indicador clave de la calidad de la varilla de tungsteno, lo que refleja la compacidad de la sinterización y el procesamiento, la densidad teórica de la varilla de tungsteno puro es de $19,25 \text{ g / cm}^3$ y la varilla de aleación de tungsteno es de $17,0$ a $18,5 \text{ g / cm}^3$.

Método de detección:

Método de Arquímedes: las varillas de tungsteno se sumergen en agua desionizada, se mide el peso seco y el peso en el agua, y se calcula la densidad. Utilice una balanza electrónica de alta precisión (exactitud $\pm 0,001 \text{ g}$) y un disipador termostático ($25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Densitómetro de rayos X: Medición de la densidad por absorción de rayos X, adecuada para una inspección rápida sin contacto con una precisión de $\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Puntos operativos:

La superficie de la muestra debe limpiarse para eliminar las capas de aceite u óxido.

El método de Arquímedes requiere la calibración de la densidad del líquido para excluir las burbujas de aire.

El método de rayos X requiere una calibración periódica del instrumento para verificar la muestra estándar.

Interpretación de los resultados:

Densidades inferiores a los valores teóricos pueden indicar una porosidad insuficiente o sinterización.

La densidad de las varillas de aleación de tungsteno debe coincidir con la relación de aleación, y la desviación puede deberse a una composición desigual.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

8.1.2 Ensayo de dureza de varillas de tungsteno (Vickers, Brinell)

Propósito de la prueba: la dureza refleja la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste de la varilla de tungsteno, y la dureza de la varilla de tungsteno puro es de aproximadamente 350-450 HV, y la dureza de la varilla de aleación de tungsteno es de aproximadamente 300-400 HV.

Método de detección:

Dureza Vickers (HV): Se aplica una carga de 10 a 50 kgf utilizando un indentador de diamante, se mide la longitud diagonal de la indentación y se calcula la dureza. Adecuado para varillas de diámetro pequeño o pruebas de alta precisión.

Dureza Brinell (HB): La carga de 500-3000 kgf se aplica utilizando un indentador de bolas de carburo para medir el diámetro de indentación y es adecuada para varillas grandes.

Puntos operativos:

La muestra debe pulirse hasta obtener una superficie de espejo para evitar que los defectos de la superficie afecten los resultados.

Las pruebas Vickers requieren la selección de cargas apropiadas para evitar que la hendidura sea demasiado pequeña o demasiado grande.

La prueba Brinell garantiza que el penetrador sea perpendicular a la muestra y se promedie en múltiples mediciones.

Interpretación de los resultados:

Demasiada dureza puede indicar granos demasiado finos o demasiado dopante.

La baja dureza puede deberse a una porosidad insuficiente o a una tensión de procesamiento.

8.1.3 Ensayo de resistencia a la tracción y tenacidad de varillas de tungsteno

Propósito: Para evaluar la capacidad de carga y el comportamiento de fractura de la varilla de tungsteno bajo carga de tracción con resistencia a la tracción y tenacidad, la resistencia a la tracción de la varilla de tungsteno puro es de aproximadamente 600-1000 MPa, y la varilla de aleación de tungsteno es mayor.

Método de detección:

Ensayo de tracción: Utilizando una máquina de ensayo de materiales universal, se sujeta y estira una muestra de varilla de tungsteno (tamaños estándar como 5 mm de diámetro y 50 mm de longitud) a una velocidad de 0,5-1 mm/min, y se registran la carga de rotura y el alargamiento.

Prueba de impacto: La máquina de prueba de impacto Charpy se utiliza para probar la resistencia al impacto de la varilla de tungsteno a baja temperatura o temperatura ambiente y medir la energía absorbida.

Puntos operativos:

Las muestras deben procesarse de acuerdo con las normas (por ejemplo, ASTM E8) para evitar arañazos en la superficie.

El ensayo de tracción requiere que se controle la temperatura ambiente (23 ± 5 °C) y se registre la curva tensión-deformación.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La prueba de impacto requiere la selección de un tipo de muesca apropiado (por ejemplo, en forma de V) para garantizar la repetibilidad.

Interpretación de los resultados:

Una resistencia a la tracción insuficiente puede indicar defectos internos o un tamaño de grano excesivo.

La baja tenacidad puede deberse a un dopaje inadecuado o a una sinterización desigual, y es necesario optimizar el proceso.

8.1.4 Ensayo de expansión térmica y conductividad térmica de varillas de tungsteno

Propósito: El coeficiente de expansión térmica (aproximadamente $4.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) y la conductividad térmica (aproximadamente $170 \text{ W} / \text{m}\cdot\text{K}$) afectan la estabilidad dimensional y la conductividad térmica de la varilla de tungsteno en un entorno de alta temperatura.

Método de detección:

Prueba de expansión térmica: El coeficiente de expansión térmica se calcula midiendo el cambio en la longitud de la muestra en el rango de 100 a 1000 $^\circ\text{C}$ utilizando un dilatómetro térmico (por ejemplo, dilatómetro).

Prueba de conductividad térmica: El método de destello láser se utiliza para calentar un extremo de la varilla de tungsteno para medir la tasa de difusión térmica y calcular la conductividad térmica.

Puntos operativos:

Las pruebas de expansión térmica se realizan en una atmósfera inerte (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación.

Las pruebas de conductividad térmica requieren la calibración del instrumento para verificar la precisión utilizando una muestra estándar como el cobre.

El tamaño de la muestra debe ser uniforme (por ejemplo, 10 mm de diámetro, 2 mm de grosor).

Interpretación de los resultados:

Un alto coeficiente de expansión térmica puede indicar impurezas o elementos de aleación.

La baja conductividad térmica puede deberse a una porosidad o microestructura desiguales.

8.2 Análisis de la composición química de las varillas de tungsteno

El análisis de la composición química garantiza que las varillas de tungsteno cumplan con los estándares de pureza y contenido de dopantes, y la detección de impurezas es fundamental para el rendimiento.

8.2.1 Análisis espectroscópico (ICP-MS, XRF)

Propósito: Analizar cuantitativamente los contenidos de tungsteno, dopante (como Ce, La, Th) e impurezas (como Fe, C, O) en varillas de tungsteno.

Método de detección:

Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): La muestra se disuelve en

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

una solución ácida (por ejemplo, ácido nítrico + ácido fluorhídrico) y se separa mediante excitación de plasma y espectrometría de masas para detectar el contenido elemental con una sensibilidad de ppb.

Espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF): excitación de rayos X de la superficie de la muestra, análisis de espectros de fluorescencia, determinación rápida del contenido elemental, adecuado para análisis no destructivo.

Puntos operativos:

ICP-MS requiere reactivos de alta pureza y un laboratorio limpio (ISO Clase 5) para evitar la contaminación.

XRF pule la superficie de la muestra para asegurarse de que sea plana y calibra el instrumento para mejorar la precisión.

Los dos métodos deben utilizarse en combinación, con ICP-MS para la verificación de elementos traza y XRF para el cribado rápido.

Interpretación de los resultados:

El contenido de tungsteno por debajo del estándar (por ejemplo, 99,9%) puede indicar una purificación insuficiente.

Las desviaciones en el contenido de dopante pueden afectar el rendimiento del arco o la estabilidad a altas temperaturas.

8.2.2 Detección de oligoelementos e impurezas

Propósito: Los oligoelementos (como O, C, N) y las impurezas (como Fe, Si) pueden reducir el rendimiento de las varillas de tungsteno, que deben controlarse estrictamente.

Método de detección:

Método de fusión de gas inerte: la muestra se funde en argón a alta temperatura para liberar oxígeno, nitrógeno y carbono, y se analiza mediante un detector de conductividad infrarroja o térmica con una sensibilidad de ppm.

Espectrometría de masas de descarga incandescente (GD-MS): La superficie de la muestra se excita mediante descarga incandescente y las impurezas traza se analizan mediante espectrometría de masas, que es adecuada para varillas de tungsteno de alta pureza.

Puntos operativos:

Las muestras se limpian por ultrasonidos para eliminar los contaminantes de la superficie.

El método de fusión de gas inerte requiere argón de alta pureza (99,999%), calibrando el gas estándar.

GD-MS requiere un entorno de vacío (10^{-6} Pa) y mantenimiento regular y potencia de descarga.

Interpretación de los resultados:

El alto contenido de oxígeno puede provocar fragilidad a alta temperatura, y es necesario optimizar la atmósfera de sinterización.

El exceso de impurezas puede deberse a la contaminación de las materias primas, y es necesario reforzar el control de calidad.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

8.3 Análisis de la microestructura de las varillas de tungsteno

El análisis de la microestructura revela el tamaño de grano, la uniformidad de la microestructura y la distribución de defectos de las varillas de tungsteno, lo que afecta a las propiedades mecánicas y térmicas.

8.3.1 Observación microscópica (SEM, TEM)

Objetivo: Observar la morfología de la superficie, las características de fractura y la estructura interna de la varilla de tungsteno, e identificar grietas, poros o distribución de dopantes.

Método de detección:

Microscopía electrónica de barrido (SEM): Exploración de la superficie de una muestra con un haz de electrones con resolución nanométrica, equipado con un espectrómetro de dispersión de energía (EDS) para analizar la distribución elemental.

Microscopía electrónica de transmisión (TEM): El haz de electrones penetra en muestras ultrafinas (<100 nm) para observar la estructura cristalina y las dislocaciones, adecuadas para análisis de alta resolución.

Puntos operativos:

Las muestras SEM deben pulirse o fracturarse, y chaparse en carbono u oro para mejorar la conductividad.

Las muestras de TEM deben prepararse con adelgazamiento ionizado para mantenerlas limpias y evitar la contaminación.

Es necesario calibrar el microscopio y registrar las condiciones de aumento e imagen.

Interpretación de los resultados:

El SEM muestra porosidad o grietas, lo que indica defectos de sinterización o mecanizado.

TEM revela aglomeración de dopantes o anomalías en el límite de grano que requieren la optimización del proceso de mezcla.

8.3.2 Tamaño de grano y uniformidad de la microestructura

Propósito: El tamaño de grano (generalmente 10-50 μm) y la homogeneidad de la microestructura afectan la resistencia, la tenacidad y el rendimiento a alta temperatura de las varillas de tungsteno.

Método de detección:

Microscopía óptica: La muestra se pule y se graba químicamente (por ejemplo, solución de HNO_3) para observar los límites de grano y medir el tamaño medio de grano.

Difracción de rayos X (XRD): Analiza la orientación del cristal y el tamaño de grano, calcula el tamaño de grano (a través de la fórmula de Scherrer).

Puntos operativos:

El tiempo de corrosión debe controlarse con precisión (10-30 segundos) para evitar una corrosión excesiva.

XRD requiere una calibración estándar de tungsteno de alta pureza con un ángulo de escaneo de 10

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

a 80°.

Se miden diferentes áreas varias veces para garantizar una evaluación precisa de la uniformidad del tejido.

Interpretación de los resultados:

El tamaño de grano es demasiado grande y la resistencia puede reducirse, por lo que es necesario ajustar la temperatura de sinterización.

El tejido desigual puede deberse a un prensado o dopaje inadecuados, y el proceso debe optimizarse.

8.4 Ensayos no destructivos de varillas de wolframio

Los ensayos no destructivos (END) se utilizan para evaluar los defectos internos y superficiales de las varillas de tungsteno, mantener la integridad de la muestra y son adecuados para el control de calidad.

8.4.1 Ensayos ultrasónicos

Propósito: Detectar los poros internos, grietas o inclusiones de varillas de tungsteno para garantizar la integridad estructural.

Método de detección:

Utilizando un detector ultrasónico de defectos, se emiten ultrasonidos de 5 a 10 MHz, se recibe la señal reflejada y se analiza la ubicación y el tamaño del defecto.

Una sonda longitudinal o de onda de corte combinada con un acoplante de agua escanea toda la longitud de la barra.

Puntos operativos:

La superficie de la muestra debe ser plana, limpiar y eliminar el aceite.

La sonda debe calibrarse para verificar la sensibilidad utilizando una muestra defectuosa estándar.

Se registran la altura y la posición del eco de defecto y se traza el C-scan.

Interpretación de los resultados:

Los ecos fuertes indican defectos grandes (por ejemplo, porosidad > 0,5 mm) que requieren retrabajo.

Los ecos continuos pueden originarse en grietas laminares y deben cortarse para su verificación.

8.4.2 Inspección por rayos X

Propósito: Identificar los poros internos, inclusiones o grietas de las varillas de tungsteno, que son adecuadas para barras de gran tamaño.

Método de detección:

Utilizando una máquina de rayos X industrial (100-300 kV), se penetra una varilla de tungsteno, se registra una imagen de transmisión y se analizan las características del defecto.

Cooperar con imágenes digitales (DR) o tomografía computarizada (TC) para mejorar la resolución.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Puntos operativos:

Debe protegerse de la radiación y se requieren calificaciones profesionales para su operación.
Ajuste la energía de los rayos X para asegurar la penetración de muestras gruesas (>20 mm).
Calibradas con muestras de defectos estándar, se registraron los valores en escala de grises de las imágenes.

Interpretación de los resultados:

Las áreas oscuras indican porosidad o inclusiones y deben verificarse junto con ultrasonidos.
La reconstrucción por TC cuantifica el volumen de defectos y guía la evaluación de la calidad.

8.4.3 Ensayo de partículas magnéticas

Propósito de la prueba: para detectar grietas superficiales y cercanas a la superficie de la varilla de aleación de tungsteno (como W-Ni-Fe), la varilla de tungsteno puro no es adecuada debido a la falta de magnetismo.

Método de detección:

Se aplica un campo magnético (CA o CC) a un dispositivo magnetizador, se rocían partículas magnéticas fluorescentes y se observan trazas magnéticas bajo una lámpara UV.
Magnetización longitudinal o transversal para detectar grietas en diferentes direcciones.

Puntos operativos:

Es necesario limpiar la superficie de la muestra y ajustar la corriente de magnetización de acuerdo con el diámetro (500-2000 A).
La partícula magnética debe rociarse de manera uniforme y el tiempo de observación debe controlarse a 1-2 minutos.
Se registra la longitud y la distribución de las marcas magnéticas y se toman fotos para archivarlas.

Interpretación de los resultados:

Las marcas magnéticas lineales indican grietas en la superficie que requieren pulido o reelaboración.
Las marcas magnéticas densas pueden deberse a tensiones de mecanizado y deben eliminarse mediante tratamiento térmico.

8.5 Verificación del rendimiento de las varillas de tungsteno

Las pruebas de verificación de rendimiento simulan las condiciones de funcionamiento del mundo real para evaluar el rendimiento de las varillas de tungsteno en entornos eléctricos, corrosivos y de alta temperatura.

8.5.1 Ensayo de rendimiento a alta temperatura

Propósito: Evaluar la oxidación, fluencia y resistencia de varillas de tungsteno a altas temperaturas (1000-2500 °C) para aplicaciones aeroespaciales y de hornos.

Método de detección:

Prueba de tracción a alta temperatura: La resistencia a la tracción se prueba utilizando una máquina

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de prueba de alta temperatura calentando la muestra a una temperatura especificada en un horno de vacío o argón.

Prueba de fluencia: Se aplica una carga constante (por ejemplo, 100 MPa), se registra la deformación durante 100-1000 horas y se calcula la tasa de fluencia.

Puntos operativos:

Necesita ser protegido por gas argón de alta pureza (99,999%) para evitar la oxidación.

Las muestras deben ser de tamaño estándar (por ejemplo, 5 mm de diámetro) y los accesorios deben ser de molibdeno o cerámica.

La precisión del control de temperatura es de $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se registra la curva de deformación.

Interpretación de los resultados:

La degradación de la resistencia a altas temperaturas puede deberse al crecimiento del grano y requiere una sinterización optimizada.

Una tasa de fluencia demasiado alta puede indicar un dopaje insuficiente y es necesario ajustar la formulación.

8.5.2 Ensayo de resistencia a la corrosión

Propósito de la prueba: evaluar la resistencia a la corrosión de varillas de tungsteno en ambientes ácidos, alcalinos o gaseosos a alta temperatura, adecuados para aplicaciones químicas y de electrodos.

Método de detección:

Prueba de inmersión: La pérdida de peso se mide sumergiendo la muestra en un medio corrosivo (por ejemplo, 10% de HNO_3 o NaOH) a una temperatura constante ($25\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 24-168 horas.

Ensayo de corrosión por gases: Exposición a atmósferas oxidantes o vulcanizantes (por ejemplo, O_2 , H_2S) en un horno de alta temperatura para registrar los cambios en la superficie.

Puntos operativos:

La muestra debe pesarse (precisión $\pm 0,0001\text{ g}$) y la superficie debe pulirse uniformemente.

El medio corrosivo debe reemplazarse regularmente para garantizar una concentración estable.

Las pruebas de gas requieren el control del caudal ($0,1\text{-}1\text{ L/min}$) y la humedad.

Interpretación de los resultados:

Una pérdida de peso del $>0,1\%$ indica una resistencia a la corrosión insuficiente y requiere una formulación mejorada.

El grosor de la capa de óxido en la superficie puede deberse a impurezas y debe optimizarse para la purificación.

8.5.3 Ensayo de conductividad y fluencia

Propósito de la prueba: La conductividad (alrededor del 18% IACS) y la resistencia a la fluencia son propiedades clave de los electrodos y los componentes de alta temperatura, que afectan la estabilidad y la vida útil del arco.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Método de detección:

Prueba de conductividad: Utilizando el método de cuatro sondas, se aplica una corriente constante, se mide la caída de voltaje y se calcula la conductividad.

Prueba de resistencia a la fluencia: Similar a la prueba de fluencia a alta temperatura, pero con un enfoque en varillas de tungsteno dopadas (como WC20) para probar la deformación en entornos de arco.

Puntos operativos:

La prueba de conductividad requiere un buen contacto y la sonda es de cobre o plata.

Las pruebas de resistencia a la fluencia simulan las condiciones de soldadura (por ejemplo, arco de 6000 °C) y registran la cantidad de deformación.

Las muestras se analizan varias veces y se promedian.

Interpretación de los resultados:

La baja conductividad puede deberse a una distribución desigual del dopante.

Una resistencia insuficiente a la fluencia puede indicar un dopaje insuficiente de las tierras raras y la necesidad de una mezcla óptima.

8.6 Puntos clave de detección de diferentes tipos de varillas de tungsteno

Los diferentes tipos de varillas de tungsteno (varillas de tungsteno puro, varillas de tungsteno de alta pureza, varillas de tungsteno dopadas) tienen diferentes focos de detección debido a sus diferentes composiciones y usos.

8.6.1 Detección de varillas de tungsteno puro

Puntos clave de detección:

Propiedades físicas: densidad ($\geq 19,0 \text{ g/cm}^3$), dureza (350–450 HV) y resistencia a la tracción para garantizar la estabilidad a altas temperaturas.

Composición química: Contenido de tungsteno $\geq 99,9\%$, oxígeno, carbono y otras impurezas $< 100 \text{ ppm}$ para evitar la fragilidad a alta temperatura.

Ensayos no destructivos: detección ultrasónica de poros internos, verificación por rayos X de la calidad de barras de gran tamaño.

Escenarios aplicables:

Las piezas del núcleo del horno de cuarzo, la varilla y el contrapeso requieren un rendimiento estable y de bajo costo.

Puntos clave:

El método de Arquímedes se utiliza preferentemente para las pruebas de densidad, que son rentables. La detección de impurezas debe prestar atención al contenido de oxígeno y optimizar la atmósfera de sinterización.

Las pruebas no destructivas cubren todo el lote para garantizar la consistencia.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

8.6.2 Detección de varillas de tungsteno de alta pureza

Puntos clave de detección:

Composición química: Contenido de tungsteno $\geq 99,95\%$, trazas de impurezas (por ejemplo, O, N) < 30 ppm, utilizando ICP-MS y GD-MS.

Microestructura: SEM y TEM observan el tamaño de grano (5-15 μm) y la distribución del dopante para garantizar la limpieza.

Verificación del rendimiento: pruebas de conductividad y resistencia a la corrosión para cumplir con los requisitos de los semiconductores.

Escenarios aplicables:

Los objetivos de pulverización catódica y los dispositivos médicos requieren una producción limpia y de alta pureza.

Puntos clave:

La prueba debe realizarse en una sala limpia (ISO clase 5) para evitar la contaminación.

El análisis de oligoelementos requiere instrumentos altamente sensibles y una calibración regular.

Las pruebas de rendimiento simulan las condiciones de funcionamiento del mundo real, como un entorno de vacío.

8.6.3 Detección de varillas de tungsteno dopadas

Puntos clave de detección:

Composición química: El contenido de dopantes (como 2% de CeO_2 , La_2O_3) es uniforme y los bacilos dopados con torio deben detectarse radiactivamente.

Verificación del rendimiento: ensayos de conductividad y estabilidad del arco, utilizando una máquina de ensayos de arco para simular la soldadura.

Microestructura: SEM-EDS para analizar la distribución dopante, XRD para verificar la orientación de los cristales.

Escenarios aplicables:

Los electrodos de soldadura y los componentes de hornos de alta temperatura requieren un excelente rendimiento del arco.

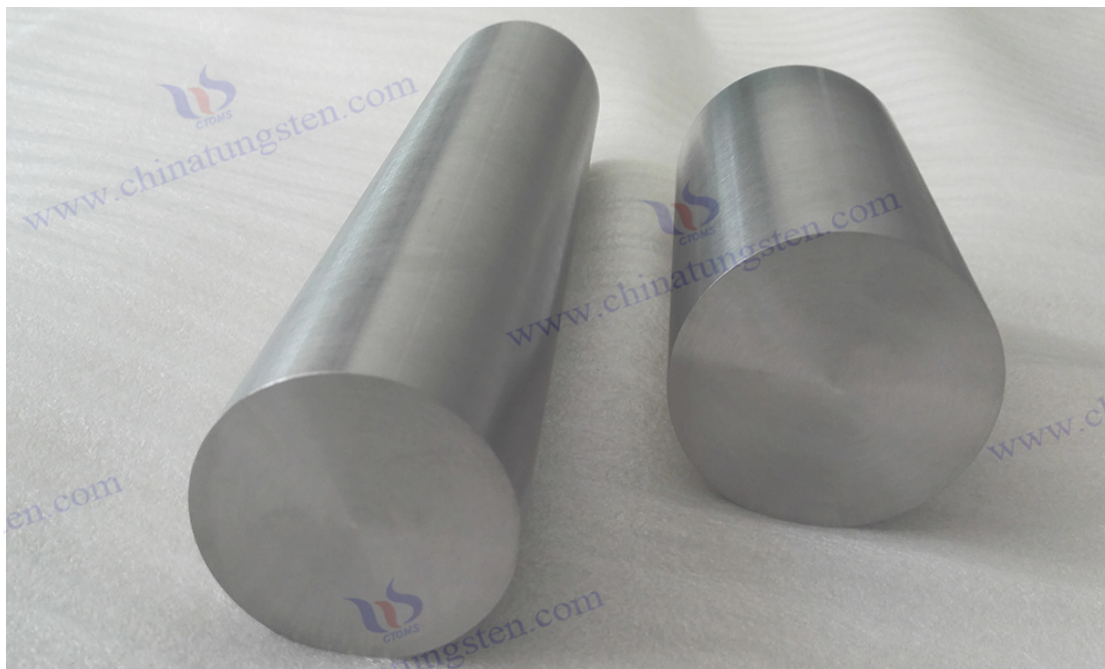
Puntos clave:

La prueba de arco requiere condiciones de soldadura estándar y registra la tasa de quemado.

La distribución desigual del dopante requiere un proceso de mezcla optimizado.

La detección de varillas de tungsteno dopadas con torio está sujeta a la normativa sobre radiactividad.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 9 Estado de la industria de varillas de tungsteno y tendencia de desarrollo

Como material metálico refractario estratégico, la varilla de tungsteno desempeña un papel insustituible en los campos aeroespacial, electrónico, de soldadura y militar debido a su alto punto de fusión, alta densidad y excelentes propiedades mecánicas. En los últimos años, el mercado mundial de varillas de tungsteno ha mostrado una rápida tendencia de crecimiento, impulsada por los cambios en la oferta y la demanda, el progreso tecnológico y las políticas de protección del medio ambiente. Este capítulo analiza el mercado chino e internacional de varillas de tungsteno, analiza las tendencias de desarrollo tecnológico (nuevos materiales, fabricación ecológica, producción inteligente) y evalúa los desafíos y oportunidades que enfrenta la industria (cuellos de botella tecnológicos, competencia en el mercado, desarrollo sostenible).

9.1 Descripción general del mercado de varillas de tungsteno en China

China es el mayor productor de recursos de tungsteno y varillas de tungsteno del mundo, la escala del mercado se está expandiendo rápidamente y el patrón de oferta y demanda está impulsado por la regulación de las políticas y la demanda aguas abajo.

9.1.1 Análisis de la oferta y la demanda del mercado

Demanda del mercado:

La demanda del mercado de varillas de tungsteno en China proviene principalmente de los sectores aeroespacial, de fabricación de productos electrónicos, de soldadura y de herramientas de carburo de tungsteno.

Aeroespacial: Las varillas de tungsteno se utilizan para componentes de alta temperatura (por ejemplo, revestimientos de boquillas) y contrapesos, impulsados por grandes aviones nacionales

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

(por ejemplo, C919) y programas aeroespaciales (por ejemplo, estaciones espaciales), con un crecimiento constante de la demanda.

Fabricación de productos electrónicos: Las varillas de tungsteno de alta pureza son un material clave para los objetivos y electrodos de pulverización catódica de semiconductores, y con la localización de chips y el desarrollo de equipos 5G, la demanda ha aumentado.

Soldadura y corte: Las varillas de tungsteno dopadas (por ejemplo, WC20, WT20) se utilizan ampliamente en la soldadura TIG y el corte por plasma, beneficiándose de las industrias automotriz, marina y de la construcción, y el mercado continúa expandiéndose.

Carburo de tungsteno: Como materia prima para herramientas de carburo de tungsteno, la varilla de tungsteno está impulsada por la demanda de máquinas herramienta CNC y fabricación de alta gama, y representa una participación de mercado significativa.

Análisis de la oferta:

Ventaja de recursos: las reservas de tungsteno de China representan el 51% de la producción mundial, y las principales áreas de producción son Jiangxi, Hunan y Henan.

Capacidad de producción: Las principales empresas nacionales tienen una cadena industrial completa, que abarca desde la extracción de mineral de tungsteno hasta el procesamiento de barras, con una alta concentración de capacidad de producción.

Regulación de políticas: El gobierno restringe la minería de tungsteno a través de cuotas de exportación y políticas de protección del medio ambiente, y fortalece el uso de tungsteno reciclado a partir de 2023 para promover la reforma del lado de la oferta.

Desafío: La fluctuación de los precios de las materias primas y el aumento de los costos de protección del medio ambiente están comprimiendo las ganancias de las pequeñas y medianas empresas, y las varillas de tungsteno de alta gama (como las de alta pureza y a nanoescala) aún dependen de las importaciones.

Pronóstico de tendencias:

Se espera que la demanda del mercado crezca a una tasa media anual del 5-7%, y que la fabricación de alta gama y las nuevas energías (como la fotovoltaica y la eólica) se conviertan en nuevos puntos de crecimiento.

La oferta se desplazará hacia productos de alto valor añadido, y las pymes tendrán que actualizar su tecnología para hacer frente a las presiones de los costos.

9.2 Descripción general del mercado internacional de varillas de tungsteno

El mercado mundial de varillas de tungsteno es altamente competitivo, con China liderando el suministro, Europa, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur dominando la demanda de gama alta, y la reestructuración de la cadena de suministro y la geopolítica afectan la estructura del mercado.

9.2.1 Principales países y regiones exportadores

Estado de exportación:

Liderado por China: Las exportaciones de tungsteno de China alcanzaron las 24.900 toneladas en 2022, lo que representa el suministro dominante del mundo, principalmente a Japón (23%), Corea del Sur (19%), Europa (35%) y Estados Unidos (11%).

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Estructura del producto: Las exportaciones están dominadas por varillas de tungsteno de grado de materia prima y productos de bajo valor agregado, y las varillas de carburo cementado representan 8,9 mil toneladas, un aumento interanual del 7,23%.

Tendencias de exportación:

Impulsadas por el crecimiento: Las exportaciones están impulsadas por el aumento de la demanda aeroespacial y de defensa en Europa y Estados Unidos, especialmente las varillas de aleación de tungsteno.

Cambios regionales: Las exportaciones a Europa y Estados Unidos aumentarán un 18,03% y un 46,75% respectivamente en 2022, mientras que las exportaciones a Japón y Corea del Sur disminuirán, reflejando el ajuste de la cadena industrial global.

Desafío: Las fricciones comerciales y las cuotas de exportación restringen la exportación de productos de gama baja, y el mercado de gama alta está ocupado por empresas europeas y estadounidenses, con bajo valor agregado.

9.2.2 Dependencia de las importaciones y situación de la cadena de suministro

Dependencia de la importación:

China: Las varillas de tungsteno de alta gama (por ejemplo, varillas de tungsteno de alta pureza, electrodos dopados) dependen parcialmente de las importaciones, y las importaciones representan alrededor del 90% de las exportaciones, principalmente de los Estados Unidos, Alemania y Japón, lo que refleja la brecha tecnológica.

Europa y Estados Unidos: Dependiendo de las materias primas de tungsteno de China, China representó el 83% del suministro mundial de mineral de tungsteno en 2022, y el desarrollo de las minas locales en Europa y Estados Unidos es lento, lo que dificulta ser autosuficiente a corto plazo. Japón y Corea del Sur: Altamente dependientes de las importaciones de varillas de tungsteno de China, procesadas para la exportación de productos de alto valor agregado (por ejemplo, objetivos de semiconductores).

Estado de la cadena de suministro:

Riesgo de concentración: La cadena de suministro mundial de tungsteno depende en gran medida de China, y el riesgo de interrupción de la cadena de suministro ha aumentado debido a la geopolítica y la pandemia.

Intentos de reestructuración: Europa y Estados Unidos están acelerando el desarrollo de minas de tungsteno en el extranjero (como Australia y Vietnam), pero las limitaciones de capital y costos limitan el progreso, y el dominio de China es estable a corto plazo.

Tungsteno reciclado: La tasa mundial de reciclaje de chatarra de tungsteno ha aumentado al 30%, y Europa, Estados Unidos y China han promovido la cadena de la industria del tungsteno reciclado para aliviar la dependencia de las materias primas.

Pronóstico de tendencias:

Las cadenas de suministro mundiales se diversificarán, con Vietnam y Australia probablemente emergiendo como proveedores emergentes, pero China seguirá siendo dominante.

Los países importadores aumentarán la investigación y el desarrollo de varillas de tungsteno de alta

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

gama para reducir su dependencia de la tecnología de China.

9.3 Tendencia de desarrollo tecnológico de las varillas de tungsteno

Los avances tecnológicos están impulsando la transformación de la industria de las varillas de tungsteno hacia un alto rendimiento, bajo costo y sostenibilidad, que abarca materiales, procesos y métodos de producción.

9.3.1 Nuevos materiales y tecnologías de aleación

Dirección Técnica:

Varilla de tungsteno de alta pureza: la pureza aumentó al 99,99% mediante la deposición de vapor químico (CVD) y la sinterización por plasma (SPS) para satisfacer las necesidades aeroespaciales y de semiconductores.

Optimización del dopaje: Desarrollo de varillas de tungsteno no dopadas con torio (como W-La₂O₃, W-CeO₂) para mejorar la estabilidad del arco y la protección del medio ambiente, y reemplazar los electrodos radiactivos WT20.

Aleación de tungsteno: Investigación y desarrollo de aleaciones de alta densidad como W-Ni-Fe y W-Cu para optimizar la resistencia y la conductividad, que se utilizan en la industria militar y electrónica.

Nanotecnología: Las varillas de tungsteno nanocrystalino se preparan mediante molienda de bolas y SPS, y el tamaño de grano se reduce a 5-10 µm, lo que mejora la tenacidad y el rendimiento a altas temperaturas.

Avances y desafíos:

Progreso: empresas chinas como Xiamen Tungsten se han dado cuenta de la localización de algunas varillas de tungsteno de alta pureza, y la investigación y el desarrollo de varillas de nano-tungsteno han entrado en la etapa piloto.

Desafío: El costo de la refinación de alta pureza y el nanoprocesamiento es alto, el equipo depende de las importaciones y la tecnología central debe abrirse paso.

Pronóstico de tendencias:

Las varillas no dopadas con torio y nanotungsteno se convertirán en la corriente principal, con una cuota de mercado del 40% para 2030.

La tecnología de aleación se centrará en la multifuncionalidad para satisfacer las nuevas necesidades energéticas y de defensa.

9.3.2 Fabricación ecológica y tecnologías de ahorro de energía

Dirección Técnica:

Utilización de tungsteno reciclado: Los residuos de tungsteno se recuperan mediante hidrometalurgia y electrólisis para reducir la dependencia de la minería de mineral en bruto, y se prevé que la tasa de recuperación alcance el 50% para 2030.

Sinterización de baja energía: La sinterización por microondas y la tecnología SPS se utilizan para acortar el tiempo de sinterización (5-15 minutos) y reducir el consumo de energía en un 30%.

Producción más limpia: desarrollar un proceso de purificación sin flúor para reducir el uso de ácido

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

fluorhídrico y reducir la descarga de aguas residuales.

Tratamiento de gases de escape: Equipado con sistemas de eliminación de polvo y desulfuración de alta eficiencia para cumplir con los estándares de emisiones (por ejemplo, $\text{SO}_2 < 50 \text{ mg/m}^3$).

Avances y desafíos:

Progreso: China ha introducido políticas para apoyar la industria del tungsteno reciclado, y la producción de tungsteno reciclado representará el 20% del suministro total en 2023.

Desafío: La inversión inicial en tecnología verde es alta, lo que es difícil de pagar para las pequeñas y medianas empresas, y necesita subsidios de política.

Pronóstico de tendencias:

La fabricación ecológica se convertirá en el umbral de entrada de la industria, y se espera que la tasa de penetración de la tecnología de ahorro de energía alcance el 80% para 2030.

El tungsteno reciclado representará más del 30% del suministro mundial, aliviando la presión sobre los recursos.

9.3.3 Producción inteligente y automatizada

Dirección Técnica:

Control inteligente: Los sistemas PLC y SCADA se utilizan para monitorear los parámetros de sinterización, forja y procesamiento en tiempo real para mejorar la consistencia.

Equipo de automatización: La introducción de la máquina de estampación rotativa CNC, la máquina de dibujo automático y la línea de ensamblaje de robots ha aumentado la eficiencia de producción en un 20%.

Gemelo digital: cree un modelo digital de la producción de varillas de tungsteno para optimizar los parámetros del proceso y reducir los costos de prueba y error.

Trazabilidad de la calidad: Registre los datos de toda la cadena, desde las materias primas hasta los productos terminados, a través de la tecnología blockchain para garantizar una calidad controlable.

Avances y desafíos:

Progreso: Las principales empresas chinas han desplegado líneas de producción inteligentes, con una tasa de automatización del 50% en 2023.

Desafíos: El alto costo de los equipos inteligentes, la baja tasa de penetración de las pequeñas y medianas empresas y la escasez de talentos técnicos.

Pronóstico de tendencias:

En 2030, se espera que la tasa de automatización de la industria de varillas de tungsteno de China alcance el 70%, y la inteligencia remodelará el panorama competitivo.

Los gemelos digitales y la trazabilidad de la calidad se convertirán en estándar en el mercado de gama alta.

9.4 Desafíos y oportunidades de las varillas de tungsteno

La industria de las varillas de tungsteno se enfrenta a múltiples desafíos en tecnología, mercado y protección del medio ambiente en el rápido desarrollo y, al mismo tiempo, contiene enormes

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

oportunidades.

9.4.1 Cuellos de botella y avances técnicos

Desafiar:

Brecha tecnológica de alta gama: el equipo central de la varilla de tungsteno de alta pureza y la varilla de nano-tungsteno (como el horno SPS) depende de las importaciones, lo que tiene un alto costo y restringe la localización.

Uniformidad del dopaje: La distribución desigual de los dopantes de tierras raras afecta el rendimiento del arco y es necesario mejorar el proceso de mezcla.

Insuficiente inversión en investigación y desarrollo: Las pequeñas y medianas empresas tienen fondos limitados para investigación y desarrollo, y es difícil abrirse paso a través de tecnologías clave.

Oportunidad:

La localización se acelera: El "14º Plan Quinquenal" nacional apoya la investigación y el desarrollo de nuevos materiales de tungsteno, y se espera que la tasa de localización de las varillas de tungsteno de alta pureza alcance el 80% en 2025.

Cooperación entre la industria, la universidad y la investigación: Las universidades y las empresas abordan conjuntamente problemas clave para acelerar la transformación tecnológica.

Apoyo a las políticas: El gobierno proporciona subsidios a la investigación y el desarrollo e incentivos fiscales para reducir el costo de la innovación.

Estrategias:

Aumentar la investigación y el desarrollo de equipos básicos y romper la dependencia de las importaciones.

Establecer una plataforma de investigación entre la industria y la universidad para acelerar la iteración de la tecnología.

Optimice el proceso de dopaje y mejore el rendimiento del producto.

9.4.2 Competencia en el mercado y globalización

Desafiar:

Competencia internacional: las empresas europeas y americanas dominan el mercado de alta gama, mientras que las empresas chinas dominan los productos de bajo valor añadido.

Barreras comerciales: Estados Unidos y Europa han impuesto aranceles a los productos de tungsteno, lo que afecta la competitividad de las exportaciones.

Concentración industrial: las pequeñas y medianas empresas están atrasadas tecnológicamente y corren el riesgo de ser adquiridas o eliminadas.

Oportunidad:

Demanda mundial: La demanda de energía aeroespacial, semiconductores y nuevas energías está creciendo, y se espera que el mercado mundial alcance miles de millones de dólares para 2030.

"Un cinturón, una ruta": las empresas chinas pueden expandir el mercado en el sudeste asiático y África, y exportar tecnología y capacidad de producción.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Construcción de marca: A través de la actualización tecnológica, se espera que las empresas chinas ocupen un lugar en el mercado de gama media y alta.

Estrategias:

Mejorar el valor agregado de los productos y desarrollar varillas de tungsteno dopadas y de alta pureza.

Fortalecer la cooperación internacional y eludir las barreras comerciales.

Promover la integración industrial y mejorar la concentración.

9.4.3 Requisitos para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible

Desafiar:

Presión de protección del medio ambiente: la minería y fundición de tungsteno produce aguas residuales y gases residuales, y los costos de protección del medio ambiente representan el 20% de los costos de producción.

Objetivo de neutralidad de carbono: El pico de emisiones de carbono para 2030 requiere que las empresas reduzcan el consumo de energía, y los procesos tradicionales son difíciles de cumplir con el estándar.

Gestión de la radiactividad: Las varillas de tungsteno dopadas con torio deben controlarse estrictamente, lo que aumenta el costo del cumplimiento.

Oportunidad:

Mercado verde: La demanda de varillas de tungsteno respetuosas con el medio ambiente (como los electrodos sin torio) está creciendo y las perspectivas del mercado son amplias.

Potencial de tungsteno reciclado: La tecnología de reciclaje de tungsteno residual está madura y el costo es menor que el de la minería de mineral en bruto.

Dividendos de la política: el gobierno subsidia proyectos de fabricación verde para reducir el costo de la transformación.

Estrategias:

Promover el tungsteno reciclado y la tecnología de baja energía para reducir los costos de protección del medio ambiente.

Desarrollo de electrodos no dopados con torio para cumplir con las normativas medioambientales.

Establecer un sistema de gestión de la huella de carbono para responder al objetivo de neutralidad de carbono.



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Capítulo 10 Conclusiones

Como material metálico refractario de alto rendimiento, la varilla de tungsteno desempeña un papel insustituible en la industria aeroespacial, electrónica, soldadura, industria militar y nuevos campos energéticos debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Este capítulo resume el valor central y las perspectivas de aplicación de la varilla de tungsteno, mira hacia adelante a su futura dirección de desarrollo, presenta sugerencias para el desarrollo de la industria y reflexiona sobre las limitaciones y las perspectivas de investigación futuras de esta investigación.

10.1 El valor central y las perspectivas de aplicación de las varillas de tungsteno

Valores fundamentales:

La varilla de tungsteno se ha convertido en un representante de materiales industriales clave debido a su alto punto de fusión, alta densidad, excelente dureza y resistencia a altas temperaturas y corrosión. Sus valores fundamentales se reflejan en los siguientes aspectos:

Garantía de alto rendimiento: la varilla de tungsteno permanece estable en entornos extremos (como alta temperatura, alta presión, arco) y cumple con los altos requisitos aeroespaciales (como el revestimiento de la boquilla), semiconductores (objetivo de pulverización catódica) y militares (núcleo de bala perforante).

Diversidad funcional: Las varillas de tungsteno puro, las varillas de tungsteno de alta pureza y las varillas de tungsteno dopadas (como WC20 y WL20) sirven para diferentes escenarios, la optimización del dopaje mejora el rendimiento del arco, la aleación mejora la resistencia y la conductividad.

Importancia estratégica: El tungsteno es un recurso estratégico escaso, la cadena de la industria de varillas de tungsteno involucra la seguridad nacional y la fabricación de alta gama, y la cadena de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

suministro global depende de China (representa el 83% de la producción), lo que destaca su valor geoeconómico.

Potencial sostenible: Los avances en la tecnología de tungsteno reciclado y los procesos de fabricación ecológicos reducen el consumo de recursos y el impacto ambiental, y mejoran la competitividad a largo plazo de la industria.

Perspectivas de aplicación:

Aeroespacial: Con el avance de los programas espaciales globales (como la estación espacial de China y la nave estelar de SpaceX), la demanda de varillas de tungsteno para componentes y contrapesos de alta temperatura seguirá creciendo, y se espera que la participación de mercado aumente al 20% para 2030.

Electrónica y semiconductores: El 5G, los chips de IA y la computación cuántica están impulsando un aumento en la demanda de varillas de tungsteno de alta pureza, y se espera que el mercado de electrodos y blancos de pulverización catódica crezca a una tasa anual promedio del 8%.

Nueva energía: La aplicación de varillas de tungsteno en energía fotovoltaica (varillas de sujeción de silicio monocristalino) y eólica (componentes de alta resistencia) se ha expandido, beneficiándose del objetivo global de neutralidad de carbono, y el potencial de mercado es significativo.

Soldadura y fabricación: Los electrodos de tungsteno dopados se utilizan ampliamente en las industrias automotriz, de construcción naval y de construcción, y la demanda está creciendo constantemente con la actualización de la fabricación de alta gama.

Militar y médico: La demanda de varillas de aleación de tungsteno en núcleos perforantes y piezas de protección contra la radiación está impulsada por la modernización de la defensa global y la renovación de equipos médicos, y las perspectivas del mercado son sólidas.

10.2 Dirección de desarrollo futuro de las varillas de tungsteno

Innovación tecnológica:

Alta pureza y nanotecnología: Mejore la pureza de las varillas de tungsteno a más del 99,99 % y desarrolle varillas de tungsteno nanocristalino (tamaño de grano de 5 a 10 μm) para mejorar la tenacidad y el rendimiento a alta temperatura para satisfacer las necesidades aeroespaciales y de semiconductores.

Electrodos no dopados con torio: Investigación y desarrollo de varillas de tungsteno dopadas respetuosas con el medio ambiente (como W-La₂O₃, W-CeO₂) para reemplazar los electrodos radiactivos WT20 para mejorar la estabilidad del arco y la aceptación en el mercado.

Nueva aleación de tungsteno: optimice la fórmula de W-Ni-Fe, W-Cu y otras aleaciones, equilibre la resistencia, la conductividad y la protección del medio ambiente, y amplíe las aplicaciones militares y electrónicas.

Fabricación ecológica: Promover la sinterización por microondas, la sinterización por plasma (SPS) y los procesos de purificación sin flúor, reducir el consumo de energía en un 30% y reducir las emisiones de aguas residuales y gases de escape.

Producción inteligente: integre el gemelo digital, el control PLC y la tecnología de trazabilidad blockchain para mejorar la eficiencia de la producción en un 20% y lograr una gestión de calidad de cadena completa.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Expansión del mercado:

Avance en el mercado de alta gama: aumente la investigación y el desarrollo de varillas de tungsteno de alta pureza y electrodos dopados, apodere el mercado de alta gama en Europa, América, Japón y Corea del Sur, y reduzca la dependencia de las importaciones.

Desarrollo de mercados emergentes: A través de la iniciativa "Belt and Road", expandir el mercado en el sudeste asiático, África y América del Sur, y exportar tecnología de varillas de tungsteno y capacidad de producción.

Aplicaciones diversificadas: Explorar nuevos usos de las varillas de tungsteno en nuevas fuentes de energía (por ejemplo, dispositivos de hidrógeno), biomédica (por ejemplo, herramientas quirúrgicas de alta precisión) y tecnología cuántica.

Optimización de la cadena de suministro:

Utilización de tungsteno reciclado: aumentar la tasa de reciclaje de residuos de tungsteno al 50%, construir un modelo de economía circular y aliviar la presión sobre los recursos.

Suministro diversificado: Apoyar el desarrollo de minas de tungsteno emergentes en Vietnam y Australia, y reducir el riesgo de concentración en la cadena de suministro global.

Cooperación regional: Fortalecer la cooperación técnica y comercial con Japón, Corea del Sur y la Unión Europea para evitar influencias geopolíticas.

Políticas y estándares:

Formulación de normas internacionales: Promover las normas internacionales lideradas por China para las varillas de tungsteno (como la actualización de la norma ISO 24370) para mejorar el discurso mundial.

Fortalecimiento de las regulaciones ambientales: Se han establecido estándares de emisión y reciclaje más estrictos para promover la transformación verde de la industria.

Políticas de apoyo a la industria: ampliar los subsidios a la investigación y el desarrollo y los incentivos fiscales, fomentar la innovación tecnológica y la modernización de las pequeñas y medianas empresas.

10.3 Recomendaciones para el desarrollo de la industria

A nivel empresarial:

Aumentar la inversión en investigación y desarrollo: centrarse en varillas de tungsteno de alta pureza, nanotecnología y procesos de dopaje sin torio, romper la dependencia de las importaciones de equipos básicos (como los hornos SPS) y recomendar que la investigación y el desarrollo represente entre el 5 y el 8% de los ingresos.

Promueva la transformación inteligente: implemente equipos CNC y sistemas SCADA, construya líneas de producción inteligentes y logre una tasa de automatización de más del 50% para 2025, reduciendo los costos de mano de obra y mejorando la consistencia.

Fortalezca la construcción de marca: Mejorar la competitividad de las marcas chinas de varillas de tungsteno en el mercado de alta gama a través de exposiciones internacionales (como Hannover Messe) y certificaciones (como ISO 9001).

Profundizar la integración de la cadena industrial: a través de fusiones y adquisiciones o cooperación, integrar los recursos de las pequeñas y medianas empresas, mejorar la concentración industrial y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

optimizar la eficiencia de la cadena de suministro desde el mineral hasta los productos terminados. Diseño de la industria del tungsteno reciclado: invertir en tecnología de hidrometalurgia y recuperación electrolítica, aumentar la proporción de producción de tungsteno reciclado al 30% para 2025 y reducir el costo de las materias primas.

A nivel gubernamental:

Mejorar el apoyo a las políticas: introducir un fondo especial para apoyar la investigación y el desarrollo de nuevos materiales de tungsteno y la fabricación ecológica, y ampliar la reducción y exención de impuestos para las pequeñas y medianas empresas hasta 2030.

Fortalecer la gestión de recursos: optimizar las cuotas de minería de tungsteno, fomentar el uso de tungsteno reciclado y reducir la extracción de mineral en bruto en un 20% para 2030.

Promover la cooperación internacional: A través de la iniciativa "Belt and Road", establecer una alianza internacional de recursos de tungsteno para expandir la producción tecnológica y la participación en el mercado.

Fortalecer la supervisión ambiental: Formular normas de emisión de fundición de tungsteno (como $\text{SO}_2 < 30 \text{ mg/m}^3$), limitar la producción de empresas altamente contaminantes y promover la transformación verde de la industria.

Apoyar la colaboración entre la industria, la universidad y la investigación: Financiar laboratorios conjuntos de universidades y empresas (como la Universidad de Tsinghua y Xiamen Tungsten) para acelerar la transformación tecnológica y lograr 10 avances tecnológicos clave para 2025.

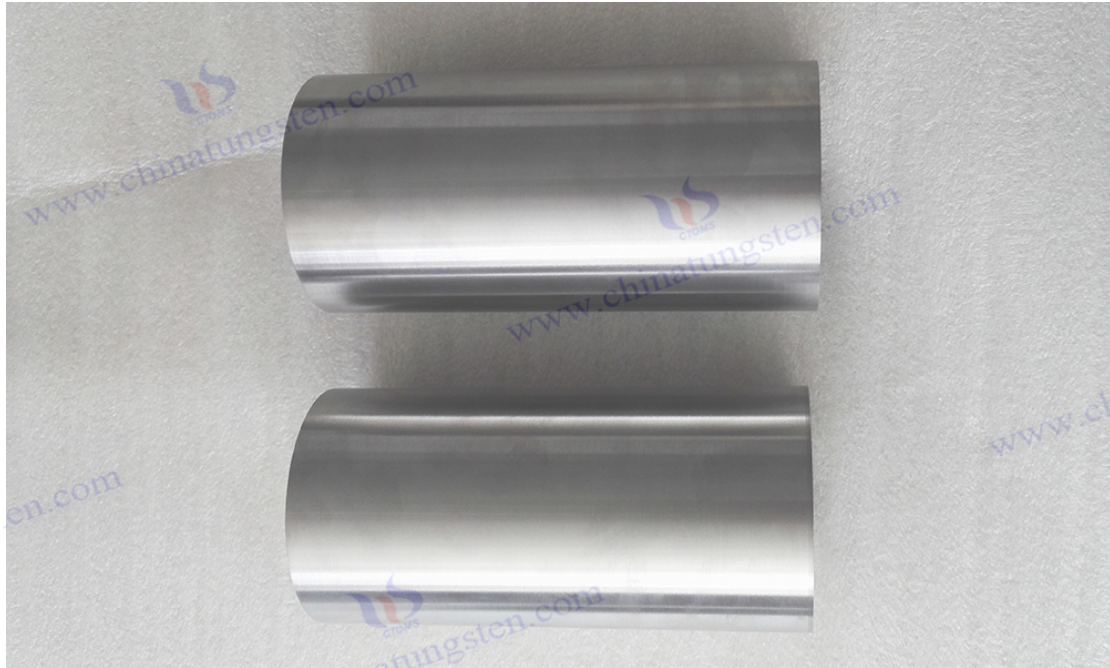
A nivel de las asociaciones sectoriales:

Formular estándares de la industria: revisar los estándares de producción y prueba de varillas de tungsteno (como GB/T 4187) para integrarlos con los estándares internacionales y mejorar la calidad del producto.

Construir una plataforma de comunicación: Organizar un foro anual de la industria del tungsteno para promover la cooperación entre empresas, universidades y gobiernos, y compartir la fabricación ecológica y la experiencia inteligente.

Llevar a cabo estudios de mercado: publique regularmente informes de mercado globales de varillas de tungsteno para guiar a las empresas a diseñar con precisión los mercados emergentes.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



Varillas de tungsteno CTIA GROUP LTD

Apéndice

A. Glosario

Varilla de tungsteno: Un material similar a una varilla con tungsteno o sus aleaciones como componente principal, generalmente preparado por el proceso de pulvimetalurgia.

Pulvimetalurgia: Proceso de preparación de materiales mediante la mezcla, el prensado y la sinterización de polvos metálicos.

Coefficiente de expansión térmica: La velocidad a la que el volumen o la longitud de un material cambia a la temperatura.

Alta densidad: Se refiere a la estructura interna compacta del material y la baja porosidad, que generalmente se relaciona con la alta resistencia.

Sinterización: El proceso de combinar partículas de polvo metálico en un material sólido a altas temperaturas.

Forja en caliente: Forjar un metal a altas temperaturas para cambiar su forma y propiedades.

Forja rotativa: El proceso de procesamiento de metal por rotación y presión, adecuado para la producción de barras.

Extrusión en caliente: El proceso de extrusión de metal a través de un molde a altas temperaturas.

Aleación de tungsteno: Un material compuesto con tungsteno como matriz y la adición de níquel, hierro, cobre y otros elementos.

Varilla de tungsteno dopada: Una varilla de tungsteno que mejora sus propiedades mediante la adición de tierras raras u otros elementos.

Resistencia a la corrosión: La capacidad de un material para resistir un ataque químico.

Conductividad térmica: La capacidad de un material para conducir el calor.

Conductividad eléctrica: La capacidad de un material para conducir una corriente eléctrica.

Resistencia a la fluencia: La capacidad de un material para resistir la deformación a altas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

temperaturas y bajo tensión constante.

Ensayos no destructivos: Método para probar el rendimiento y los defectos de un material sin dañar su estructura.

ICP-MS (Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente): Un instrumento para el análisis de elementos traza en materiales.

SEM/TEM (Microscopía electrónica de barrido/transmisión): Técnica de microscopía utilizada para observar la microestructura de los materiales.

RWMA (Asociación de Fabricantes de Soldadura por Resistencia): Asociación de Fabricantes de Soldadura por Resistencia, que desarrolla normas relacionadas con los materiales de tungsteno.

B. Referencias

- [1] ASTM E8-21, Norma para ensayos de tracción de materiales metálicos, Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, 2021.
- [2] ISO 6892-1:2019, Ensayos de tracción en materiales metálicos a temperatura ambiente, Organización Internacional de Normalización, 2019.
- [3] GB/T 4187-2017, varilla de tungsteno, norma nacional, 2017.
- [4] GB/T 3459-2017, Productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno, Norma Nacional, 2017.
- [5] YS/T 695-2009, Electrodo de tungsteno, estándar de la industria para metales no ferrosos, 2009.
- [6] Asociación Internacional de Tungsteno, Guía técnica para las pruebas de materiales de tungsteno, 2023.
- [7] Asociación de la Industria del Tungsteno de China, Especificación de control de calidad de varillas de tungsteno, 2022.
- [8] AWS A5.12, Especificación para electrodos de tungsteno y tungsteno dopados con óxido para soldadura por arco, Asociación Americana de Soldadura, 2009.
- [9] JIS Z 3211-2008, Electrodo de tungsteno, Norma industrial japonesa, 2008.
- [10] DIN EN 26848, Tungsteno y productos de aleación de tungsteno, Instituto Europeo de Normalización, 1991.
- [11] YS/T 695-2017, Electrodo de tungsteno, estándar de la industria para metales no ferrosos, 2017.
- [12] ASTM B760-07, Especificación estándar para láminas, láminas y láminas de tungsteno, ASTM International, 2007.
- [13] ISO 24370:2005, Cerámica fina y metales refractarios, Organización Internacional de Normalización, 2005.
- [14] Yih, S. W. H., & Wang, C. T., Tungsteno: Fuentes, Metalurgia, Propiedades y Aplicaciones, Plenum Press, 1979.
- [15] Coolidge, W. D., El desarrollo del tungsteno dúctil, Transacciones del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos, 1910.
- [16] Servicio Geológico de EE. UU., Tungsteno: un metal estratégico, 2018.
- [17] Lassner, E., & Schubert, W. D., Tungsteno: Propiedades, Química, Tecnología del Elemento, Aleaciones y Compuestos Químicos, Springer, 1999.
- [18] Comisión Europea, Materias primas críticas para tecnologías y sectores estratégicos en la UE, 2020.
- [19] ASTM B760-07, Especificación estándar para placas, láminas y láminas de tungsteno, ASTM

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

International, 2007.

[20] AWS A5.12, Especificación para electrodos de tungsteno y tungsteno disperso por óxido para soldadura por arco, Sociedad Americana de Soldadura, 2009.