

Enciclopedia de varillas de cobre y tungsteno

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2025 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, filial de propiedad absoluta con personalidad jurídica propia, fundada por CHINATUNGSTEN ONLINE, se dedica a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de tungsteno y molibdeno en la era de la 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 pionera de comercio electrónico del país, especializada en las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Con casi tres décadas de experiencia en los campos del tungsteno y el molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación, los servicios de alta calidad y la reputación global de su empresa matriz, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicación en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

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

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

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



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

Directorio

Capítulo 1 Descripción general de la varilla de cobre y tungsteno

- 1.1 Definición y conceptos básicos de la varilla de cobre y tungsteno
- 1.2 Historia del desarrollo y evolución tecnológica de los materiales compuestos de tungsteno y cobre
- 1.3 El estado y el papel de la varilla de cobre y tungsteno en el sistema material
- 1.4 Estado de la investigación y aplicación de los materiales de cobre y tungsteno en el país y en el extranjero

Capítulo 2 Tipos principales de varillas de cobre y tungsteno

- 2.1 Clasificación según la relación tungsteno-cobre
 - 2.1.1 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 50/50
 - 2.1.2 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 70/30
 - 2.1.3 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 75/25
 - 2.1.4 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 80/20
 - 2.1.5 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 85/15
 - 2.1.6 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 90/10
 - 2.1.7 Varilla de cobre y tungsteno de relación especial
- 2.2 Clasificación por campo de aplicación
 - 2.2.1 Varilla de cobre y tungsteno para aplicaciones eléctricas y electrónicas
 - 2.2.1.1 Interruptores de alto voltaje y contactos de arco
 - 2.2.1.2 Electrodo de descarga y electrodo de bujía
 - 2.2.1.3 Empaquetado de semiconductores y conectores conductores
 - 2.2.2 Varilla de cobre y tungsteno para disipación de calor y gestión térmica
 - 2.2.2.1 Microelectrónica y disipadores de calor de circuitos integrados
 - 2.2.2.2 Sustratos de disipación de calor de dispositivos láser y de alta potencia
 - 2.2.2.3 Componentes de refrigeración aeroespacial
 - 2.2.3 Varilla de cobre y tungsteno para aplicaciones militares y aeroespaciales
 - 2.2.3.1 Armas electromagnéticas y materiales de blindaje protector
 - 2.2.3.2 Electrodo y componentes para armas de alta energía
 - 2.2.3.3 Componentes de la boquilla del cohete y del sistema de propulsión
 - 2.2.4 Varilla de cobre y tungsteno para la industria de maquinaria y moldes
 - 2.2.4.1 Electrodo para mecanizado por descarga eléctrica (EDM)
 - 2.2.4.2 Matrices de estampación y piezas resistentes al desgaste
 - 2.2.5 Varilla de cobre y tungsteno para aplicaciones de investigación médica y científica
 - 2.2.5.1 Electrodo médico y sondas especiales
 - 2.2.5.2 Experimentos de física de altas energías y aplicaciones en la industria nuclear

Capítulo 3 Tecnología de preparación y producción de varillas de cobre y tungsteno

- 3.1 Preparación de la materia prima
 - 3.1.1 Preparación y requisitos de calidad del polvo de tungsteno
 - 3.1.2 Preparación y características del cobre electrolítico

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

- 3.1.3 Efecto del tamaño, la morfología y la pureza del polvo de tungsteno en el proceso
- 3.2 Proceso de formación de preformas a base de tungsteno
 - 3.2.1 Prensado (Prensado Uniaxial, Prensado Isostático)
 - 3.2.2 Densificación por sinterización (al vacío o en atmósfera de hidrógeno)
 - 3.2.3 Control de la porosidad y la conectividad de las preformas
- 3.3 Proceso de infiltración al vacío
 - 3.3.1 Principios básicos de la infiltración al vacío
 - 3.3.2 Estructura y principio de funcionamiento del horno de infiltración
 - 3.3.3 Temperatura de infiltración de cobre, grado de vacío y dinámica de infiltración
 - 3.3.4 Reacción de la interfaz y evolución de la microestructura durante la infiltración
 - 3.3.5 Uniformidad de infiltración y control de calidad
- 3.4 Posprocesamiento y mecanizado
 - 3.4.1 Tratamiento térmico y alivio de tensiones
 - 3.4.2 Mecanizado de precisión y control dimensional
 - 3.4.3 Tecnología de modificación de superficies y recubrimiento
- 3.5 Exploración de nuevos procesos
 - 3.5.1 Preformas de cobre de nanotungsteno y tecnología de infiltración de cobre ultrafino
 - 3.5.2 Combinación de infiltración al vacío y fabricación aditiva
 - 3.5.3 Proceso de optimización de alta uniformidad y baja porosidad

Capítulo 4 Propiedades físicas y químicas de la varilla de cobre y tungsteno

- 4.1 Propiedades físicas básicas de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.1.1 Densidad y gravedad específica de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.1.2 Punto de fusión y estabilidad térmica de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.1.3 Coeficiente de expansión térmica y conductividad térmica de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.1.4 Conductividad y resistividad de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.2 Propiedades mecánicas de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.2.1 Dureza y resistencia de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.2.2 Ductilidad y tenacidad de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.2.3 Resistencia al desgaste y al impacto de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.3 Propiedades químicas de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.3.1 Resistencia a la oxidación y la corrosión de las varillas de cobre y tungsteno
 - 4.3.2 Estabilidad química a alta temperatura de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.3.3 Compatibilidad de la varilla de cobre y tungsteno con otros metales
 - 4.4 Microestructura y características organizativas de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.4.1 Estructura cristalina y composición de fases de la varilla de cobre y tungsteno
 - 4.4.2 Características de distribución de las fases de tungsteno y cobre
 - 4.4.3 Mecanismo de unión de la interfaz y análisis de la microestructura
- Hoja de datos de seguridad de la información (MSDS) de varillas de tungsteno de cobre de fabricación inteligente de tungsteno de China 4.5

Capítulo 5 Principales campos de aplicación de la varilla de cobre y tungsteno

- 5.1 Electricidad y electrónica

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

- 5.2 Industria aeroespacial y de defensa
- 5.3 Industria de maquinaria y moldes
- 5.4 Dispositivos de gestión térmica y disipación de calor
- 5.5 Otras áreas de aplicación

Capítulo 6 Equipos de producción y control de procesos de varillas de cobre y tungsteno

- 6.1 Equipo de preparación y formación de polvo
- 6.2 Equipos de sinterización al vacío y preparación de preformas
- 6.3 Equipo de infiltración por vacío (núcleo)
- 6.4 Equipos de posprocesamiento y mecanizado
- 6.5 Equipos de prueba y control de calidad

Capítulo 7 Métodos de inspección y evaluación de calidad de varillas de cobre y tungsteno

- 7.1 Inspección de la apariencia y las dimensiones de la varilla de cobre y tungsteno
- 7.2 Prueba de propiedades físicas de la varilla de cobre y tungsteno
- 7.3 Prueba de propiedades mecánicas de la varilla de cobre y tungsteno
- 7.4 Prueba de propiedades químicas de la varilla de cobre y tungsteno
- 7.5 Análisis de microestructura y estructura de la varilla de cobre y tungsteno
- 7.6 Comparación de normas y métodos de prueba internacionales comúnmente utilizados

Capítulo 8 Normas y especificaciones para varillas de cobre y tungsteno

- 8.1 Normas nacionales e industriales de China para varillas de cobre y tungsteno
- 8.2 Normas internacionales para varillas de cobre y tungsteno (ISO, ASTM, IEC, etc.)
- 8.3 Normas americanas para varillas de cobre y tungsteno (ASTM, ANSI, SAE)
- 8.4 Normas europeas para varillas de cobre y tungsteno (EN, DIN, BS)
- 8.5 Norma japonesa (JIS) para varillas de cobre y tungsteno
- 8.6 Comparación y análisis de aplicabilidad de los estándares de varillas de cobre y tungsteno

Capítulo 9 Optimización del rendimiento de las varillas de cobre y tungsteno

- 9.1 Efecto de la relación de aleación en las propiedades
 - 9.1.1 Relación tungsteno-cobre y conductividad eléctrica y térmica
 - 9.1.2 Relación tungsteno-cobre y propiedades mecánicas
 - 9.1.3 Relación tungsteno-cobre y coeficiente de expansión térmica
 - 9.1.4 Estrategia de optimización
- 9.2 Tratamiento térmico y mejora del rendimiento
 - 9.2.1 Recocido
 - 9.2.2 Tratamiento de solución y tratamiento del envejecimiento
 - 9.2.3 Prensado isostático en caliente (HIP)
 - 9.2.4 Notas
- 9.3 Relación entre la microestructura y las propiedades
 - 9.3.1 Tamaño y distribución de partículas de tungsteno
 - 9.3.2 Relación entre la microestructura y las propiedades
 - 9.3.3 Estado de enlace de la interfaz

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

- 9.3.4 Tecnología de análisis de microestructura
- 9.4 Optimización de la resistencia al desgaste y a la corrosión
 - 9.4.1 Optimización de la resistencia al desgaste
 - 9.4.2 Optimización de la resistencia a la corrosión
 - 9.4.3 Caso de optimización integral
 - 9.4.4 Notas

Capítulo 10 Guía para la selección y uso de varillas de cobre y tungsteno

- 10.1 Cómo elegir la varilla de cobre y tungsteno adecuada
 - 10.1.1 Aclarar los escenarios de aplicación y los requisitos de rendimiento
 - 10.1.2 Comprender las especificaciones y estándares de la varilla de cobre y tungsteno
 - 10.1.3 Evaluación de la confiabilidad del proveedor
 - 10.1.4 Requisitos personalizados
 - 10.1.5 Equilibrio entre costos y rendimiento
 - 10.1.6 Recomendaciones del proceso de compra
- 10.2 Precauciones de almacenamiento y transporte
 - 10.2.1 Entorno de almacenamiento
 - 10.2.2 Requisitos de embalaje
 - 10.2.3 Precauciones de transporte
 - 10.2.4 Almacenamiento y transporte en escenarios especiales
- 10.3 Mantenimiento y cuidado durante el uso
 - 10.3.1 Mantenimiento durante el procesamiento
 - 10.3.2 Mantenimiento durante el funcionamiento
 - 10.3.3 Almacenamiento y reutilización
 - 10.3.4 Registros de mantenimiento
- 10.4 Problemas comunes y soluciones
 - 10.4.1 Oxidación superficial
 - 10.4.2 Erosión por arco
 - 10.4.3 Procesamiento de grietas
 - 10.4.4 Conductividad disminuida
 - 10.4.5 Desajuste de expansión térmica
 - 10.4.6 Deformación por almacenamiento
 - 10.4.7 Análisis de casos

Capítulo 11 Tendencia del mercado y desarrollo de la varilla de cobre y tungsteno

- 11.1 Descripción general de la cadena industrial global de materiales de tungsteno y cobre
- 11.2 Estructura de la demanda del mercado y análisis de la cuota de mercado de las aplicaciones
- 11.3 Tendencia de desarrollo futuro de la varilla de cobre y tungsteno
 - 11.3.1 Alto rendimiento y nanotecnología
 - 11.3.2 Preparación verde y desarrollo sostenible
 - 11.3.3 Direcciones de aplicación emergentes

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Apéndice

A. Glosario

B. Referencias



Capítulo 1 Descripción general de la varilla de cobre y tungsteno

1.1 Definición y conceptos básicos de la varilla de cobre y tungsteno

La varilla de cobre-tungsteno es un material compuesto metálico compuesto de tungsteno (W) y cobre (Cu), generalmente con tungsteno como matriz y cobre como componente secundario, producido mediante un proceso específico. El contenido de cobre de la varilla de cobre-tungsteno suele estar entre el 10 % y el 50 %, y la proporción específica se determina según los requisitos de la aplicación. Este material combina el alto punto de fusión, la alta dureza, la alta densidad y la resistencia al desgaste del tungsteno con la excelente conductividad eléctrica y térmica del cobre, lo que le confiere propiedades físicas y químicas únicas. Debido a la significativa diferencia en los puntos de fusión del tungsteno y el cobre (el punto de fusión del tungsteno es de aproximadamente 3410 °C y el del cobre de aproximadamente 1083 °C) y a su inmiscibilidad, la varilla de cobre-tungsteno no puede producirse mediante métodos de fundición tradicionales. En su lugar, se suele utilizar la tecnología de pulvimetalurgia, que incluye mezcla, prensado, sinterización e infiltración de cobre.

Las propiedades básicas de la varilla de cobre y tungsteno incluyen:

Alta conductividad eléctrica y térmica: La alta conductividad eléctrica y térmica del cobre le otorga a las varillas de cobre de tungsteno una excelente conductividad eléctrica y térmica, lo que las hace ampliamente utilizadas en los campos eléctricos y electrónicos.

Resistencia a altas temperaturas: El alto punto de fusión y la resistencia a altas temperaturas del tungsteno permiten que las varillas de cobre-tungsteno mantengan su estabilidad estructural en entornos con temperaturas extremadamente altas. Especialmente por encima de 3000 °C, el cobre se licua y se evapora, absorbiendo gran cantidad de calor y reduciendo la temperatura superficial del material. Por lo tanto, las varillas de cobre-tungsteno también se denominan "materiales de exudación de metales".

Bajo coeficiente de expansión térmica: La propiedad de baja expansión térmica del tungsteno hace que la varilla de cobre de tungsteno tenga una buena estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura.

Alta dureza y resistencia al desgaste: La alta dureza y resistencia al desgaste del tungsteno confieren a las varillas de cobre de tungsteno excelentes propiedades mecánicas, lo que las hace adecuadas para la fabricación de piezas y moldes resistentes al desgaste.

Buen rendimiento de ruptura de arco: la varilla de cobre de tungsteno funciona bien en entornos de arco de alto voltaje y es adecuada para su uso como material de contacto eléctrico y electrodo.

Los procesos típicos de fabricación de varillas de cobre y tungsteno incluyen la pulvimetalurgia, el prensado isostático en caliente y la infiltración. La pulvimetalurgia consiste en mezclar polvo de tungsteno y polvo de cobre de alta pureza en una proporción específica, seguido del prensado isostático, la sinterización a alta temperatura y la infiltración de cobre. Este método garantiza la uniformidad de la estructura interna del material, optimizando al mismo tiempo sus propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

1.2 Historia del desarrollo y evolución tecnológica de los materiales compuestos de tungsteno y cobre

El desarrollo de materiales compuestos de tungsteno-cobre comenzó a principios del siglo XX. A medida que la industria demandaba materiales de alto rendimiento, las aleaciones de tungsteno-cobre fueron ganando popularidad. A continuación, se presentan las principales etapas de su desarrollo y evolución tecnológica:

1.2.1 Exploración temprana (principios del siglo XX hasta la década de 1950)

El desarrollo de compuestos de tungsteno-cobre surge de la necesidad de materiales de contacto eléctrico de alto rendimiento. A principios del siglo XX, el rápido desarrollo de las industrias eléctrica y electrónica impuso mayores exigencias a los materiales con alta conductividad y resistencia a altas temperaturas. Dado que un solo metal no podía cumplir simultáneamente estos requisitos, los científicos comenzaron a explorar los compuestos de tungsteno-cobre. Los primeros materiales de tungsteno-cobre se producían principalmente mediante la mezcla mecánica de polvos de tungsteno y cobre, seguida de prensado y sinterización. Sin embargo, debido a las limitaciones del proceso, la uniformidad y la estabilidad del rendimiento del material eran deficientes.

1.2.2 Madurez de la tecnología de la pulvimetalurgia (décadas de 1950 a 1980)

A mediados del siglo XX, los avances en la tecnología de pulvimetalurgia impulsaron el desarrollo de compuestos de tungsteno y cobre. Los investigadores optimizaron la proporción de mezcla de los polvos de tungsteno y cobre, el tamaño de las partículas y el proceso de sinterización, mejorando significativamente la conductividad eléctrica y las propiedades mecánicas del material. La introducción de la infiltración de cobre mejoró aún más la densidad y la uniformidad de los compuestos de tungsteno y cobre. Durante este período, los materiales de tungsteno y cobre comenzaron a utilizarse en contactos eléctricos, electrodos de soldadura por resistencia y componentes aeroespaciales.

1.2.3 Introducción de nuevas tecnologías (décadas de 1980 a 2000)

Con el avance de la ciencia de los materiales, se han introducido nuevos procesos de preparación, como el prensado isostático en caliente, la sinterización por plasma y la sinterización por láser, en la fabricación de compuestos de tungsteno-cobre. Estas tecnologías han mejorado significativamente la densidad y la consistencia del rendimiento de los materiales. Por ejemplo, el prensado isostático en caliente, que consiste en prensar polvo de tungsteno-cobre a alta temperatura y presión, permite producir varillas de tungsteno-cobre de alta densidad, aptas para aplicaciones aeroespaciales y de empaquetado electrónico de alta precisión. Además, la aplicación de la nanotecnología ha reducido aún más el tamaño de partícula de los polvos de tungsteno y cobre, mejorando así su microestructura y propiedades.

1.2.4 Tecnología moderna y aplicaciones diversificadas (década de 2000 hasta la actualidad)

Desde el siglo XXI, la investigación y la aplicación de compuestos de tungsteno-cobre han entrado en una nueva fase. Con el auge de las tecnologías de fabricación avanzadas (como la fabricación aditiva y la micromanofabricación), el rendimiento de las varillas de tungsteno-cobre se ha optimizado aún más y sus áreas de aplicación se han ampliado. Por ejemplo, la introducción de la

tecnología de impresión 3D ha permitido la producción de componentes con formas complejas a partir de compuestos de tungsteno-cobre para satisfacer las necesidades especializadas de las industrias aeroespacial y nuclear. Además, los investigadores han desarrollado sistemas de aleación con diferentes proporciones de tungsteno-cobre para diferentes escenarios de aplicación. Por ejemplo, un alto contenido de tungsteno (70%-90%) se utiliza para aplicaciones que requieren alta dureza y resistencia al desgaste, mientras que un bajo contenido de tungsteno (50%-70%) se utiliza para aplicaciones que requieren mayor conductividad eléctrica.

1.2.5 Tendencias futuras del desarrollo

En el futuro, el desarrollo de materiales compuestos de cobre y tungsteno se centrará en los siguientes aspectos:

Fabricación ecológica: desarrollar procesos de preparación que consuman poca energía y produzcan poca contaminación, como la tecnología de pulverización en frío y la tecnología de metalurgia de polvos ecológicos.

Optimización del rendimiento: mediante el dopaje con elementos de tierras raras u otros oligoelementos, se pueden mejorar aún más las propiedades mecánicas y electrotérmicas de los materiales de cobre y tungsteno.

Aplicación inteligente: Combinado con tecnología de fabricación inteligente, desarrollamos materiales compuestos de tungsteno y cobre con propiedades adaptativas para satisfacer las necesidades de los dispositivos electrónicos y equipos de energía de próxima generación.

1.3 El estado y el papel de la varilla de cobre y tungsteno en el sistema material

En el sistema de materiales moderno, la varilla de cobre-tungsteno, como material compuesto de alto rendimiento, ocupa un lugar destacado. Su combinación única de propiedades la hace indispensable en numerosos campos de alta tecnología. Sus principales funciones incluyen:

1.3.1 Campo Eléctrico y Electrónico

Las varillas de cobre-tungsteno, gracias a su excelente conductividad eléctrica y resistencia al desgaste, se utilizan ampliamente en la fabricación de materiales de contacto eléctrico, electrodos de soldadura por resistencia y materiales de encapsulado electrónico. Por ejemplo, en aparatos de alta tensión, las varillas de cobre-tungsteno sirven como contactos eléctricos, capaces de soportar altas tensiones y arcos eléctricos, garantizando así la estabilidad y durabilidad del equipo. En el campo del encapsulado electrónico, su bajo coeficiente de expansión térmica y su alta conductividad térmica las convierten en un material ideal para sustratos de disipación de calor en dispositivos semiconductores.

1.3.2 Industria aeroespacial y de defensa

La resistencia a altas temperaturas y al desgaste de las varillas de cobre-tungsteno las convierte en importantes aplicaciones en la industria aeroespacial. Por ejemplo, en motores de aeronaves y naves espaciales, se utilizan para fabricar componentes conductores térmicos de alta temperatura y piezas resistentes al desgaste, capaces de mantener un rendimiento estable en entornos extremos. Además, su alta densidad las hace idóneas para la fabricación de núcleos de proyectiles perforantes y

componentes de contrapeso en la industria de defensa.

1.3.3 Mecanizado y fabricación de moldes

La resistencia al desgaste y la conductividad térmica de la varilla de cobre-tungsteno la convierten en un material ideal para la fabricación de herramientas de corte, matrices de estampación y moldes de fundición a presión. Por ejemplo, en moldes de fundición a presión de aleación de aluminio, la varilla de cobre-tungsteno se utiliza como varilla de núcleo y boquilla, lo que puede prolongar significativamente la vida útil del molde y mejorar la calidad del producto.

1.3.4 Industria y energía nuclear

En los reactores de fusión nuclear, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan como disipadores de calor divergentes, capaces de soportar las cargas térmicas y el bombardeo de partículas en entornos de alta temperatura y alta presión. Además, las varillas de cobre-tungsteno se emplean en la fabricación de tubos de calor y componentes de disipación de calor, mejorando la eficiencia y la vida útil de los equipos de energía nuclear y los hornos industriales de alta temperatura.

1.3.5 Otras áreas

Las varillas de cobre-tungsteno también se utilizan ampliamente en materiales de fricción (como pastillas de freno), equipos químicos (como componentes conductores de calor resistentes a la corrosión) y equipos médicos (como componentes de protección contra la radiación). Su versatilidad y alto rendimiento las convierten en un componente indispensable en el sistema de materiales.

1.4 Estado de la investigación y aplicación de los materiales de cobre y tungsteno en el país y en el extranjero

1.4.1 Estado actual de la investigación y aplicación nacional

China es el país con los recursos de tungsteno más ricos del mundo y cuenta con importantes ventajas en la investigación y producción de materiales de tungsteno-cobre. En los últimos años, las instituciones y empresas de investigación nacionales han logrado importantes avances en el campo de los materiales compuestos de tungsteno-cobre:

Avances de la investigación: Universidades e instituciones de investigación nacionales (como la Universidad de Tsinghua, la Universidad Central del Sur y el Instituto de Investigación de Metales de la Academia China de Ciencias) han realizado investigaciones exhaustivas sobre la preparación, la optimización del rendimiento y el análisis microestructural de materiales de tungsteno-cobre. Por ejemplo, el dopaje con tierras raras (como el lantano y el cerio) ha mejorado las propiedades mecánicas y la resistencia a la oxidación de los materiales de tungsteno-cobre. Además, nuevas técnicas de preparación (como la sinterización por plasma y la sinterización por microondas) han mejorado significativamente la densidad y la uniformidad del rendimiento de las varillas de tungsteno-cobre.

Estado de aplicación: A nivel nacional, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan ampliamente en los sectores de la energía eléctrica, la electrónica, la industria aeroespacial y el mecanizado. Por ejemplo, las varillas de cobre-tungsteno de alto rendimiento se utilizan en materiales de contacto

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

eléctrico, electrodos de soldadura por resistencia y sustratos de encapsulado electrónico. También se han desarrollado en China diversos grados de aleación de cobre-tungsteno (como WCu10, WCu20 y WCu30) para satisfacer diversas necesidades de aplicación.

Ventajas industriales: China tiene una cadena industrial de tungsteno completa, desde la extracción de mineral de tungsteno hasta la producción de varillas de cobre de tungsteno, lo que genera una fuerte competitividad industrial.

1.4.2 Estado actual de la investigación y aplicación en el extranjero

Los países extranjeros comenzaron temprano en la investigación y aplicación de materiales de cobre y tungsteno, especialmente en Europa, América y Japón, donde las tecnologías relevantes son relativamente maduras:

Progreso de la investigación: Estados Unidos, Japón y Alemania lideran la preparación y optimización del rendimiento de materiales compuestos de tungsteno-cobre. Por ejemplo, CBMM en Estados Unidos ha desarrollado varillas de tungsteno-cobre de alto rendimiento para su uso en la industria aeroespacial y de defensa. Japón, mediante nanotecnología y procesos de sinterización de precisión, ha producido materiales de tungsteno-cobre de alta densidad, ampliamente utilizados en el encapsulado de semiconductores. Las instituciones de investigación alemanas se centran en la aplicación de materiales de tungsteno-cobre en la fusión nuclear, desarrollando materiales compuestos de tungsteno-cobre adecuados para disipadores de calor de desviadores.

Estado de la aplicación: En el extranjero, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan principalmente en dispositivos electrónicos de alta precisión, componentes aeroespaciales y equipos de la industria nuclear. Por ejemplo, en Estados Unidos, se emplean para fabricar radiadores de satélites y componentes de misiles, mientras que los materiales de cobre-tungsteno japoneses se emplean en encapsulados electrónicos de alta gama y electrodos de soldadura por resistencia. En Europa, se utilizan ampliamente como disipadores de calor en la investigación de la fusión nuclear, como en el proyecto ITER.

Características técnicas: Las empresas extranjeras priorizan la producción de componentes de alta precisión y formas complejas en la preparación de materiales de cobre-tungsteno. Por ejemplo, la aplicación de la tecnología de fabricación aditiva permite a las empresas extranjeras producir componentes de cobre-tungsteno con geometrías complejas. Además, las empresas extranjeras cuentan con ventajas en tecnologías de tratamiento de superficies (como el dorado y el niquelado), que mejoran la resistencia a la corrosión y la conductividad de las varillas de cobre-tungsteno.

1.4.3 Brecha nacional e internacional y perspectivas futuras

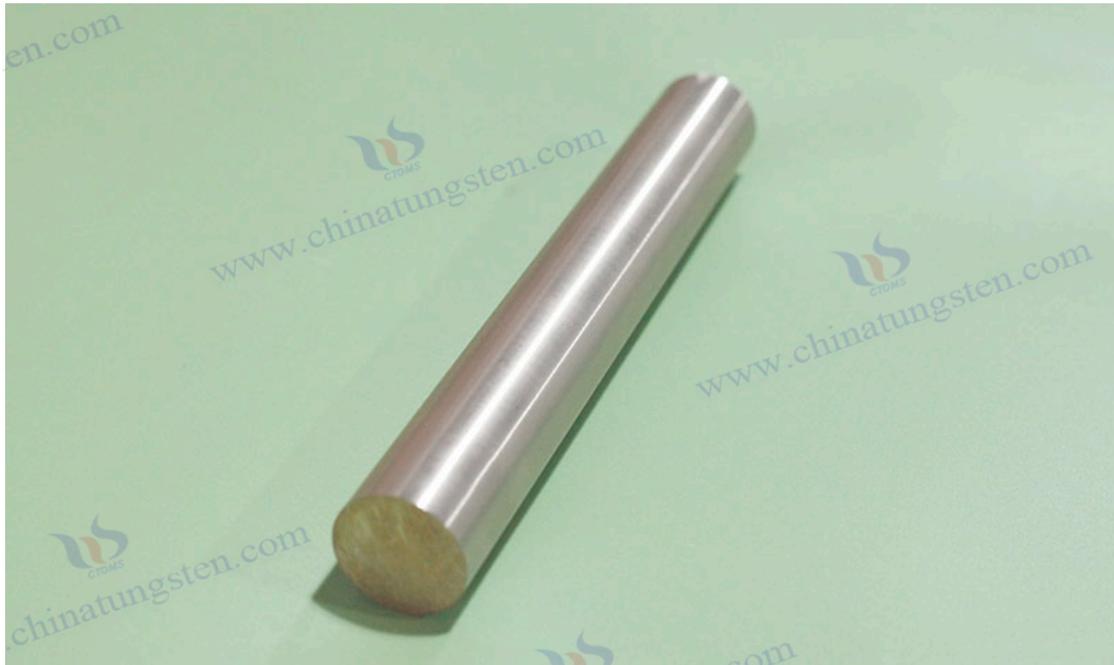
Si bien China es líder en escala de producción y ventajas en recursos de materiales de tungsteno-cobre, aún existe una brecha con respecto a otros países en cuanto a procesos de preparación de alta precisión, fabricación de componentes complejos y aplicaciones de alta gama. Por ejemplo, los países extranjeros están más avanzados en la investigación y el desarrollo de materiales de tungsteno-cobre a nanoescala y tecnología de fabricación aditiva. En el futuro, China necesita

fortalecer la investigación en las siguientes áreas:

Tecnología de fabricación de alta gama: Desarrollar tecnologías de fabricación de componentes de cobre y tungsteno de formas complejas y de alta precisión, como la impresión 3D y la sinterización láser.

Optimización del rendimiento: La conductividad eléctrica, la conductividad térmica y las propiedades mecánicas de los materiales de cobre y tungsteno se mejoran aún más mediante el dopaje y nuevos procesos.

Cooperación internacional: Fortalecer la cooperación con instituciones y empresas de investigación científica internacionales, aprender de tecnologías avanzadas extranjeras y promover la aplicación de materiales de cobre y tungsteno en el mercado global.



Capítulo 2 Principales tipos y clasificaciones de varillas de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, las varillas de cobre-tungsteno se presentan en diversos tipos y clasificaciones, principalmente según la relación tungsteno-cobre y sus áreas de aplicación. El rendimiento de las varillas de cobre-tungsteno varía según la relación tungsteno-cobre. Las varillas con diferentes relaciones están diseñadas para aplicaciones industriales específicas y cumplen con los diversos requisitos de conductividad eléctrica, conductividad térmica, resistencia mecánica y resistencia a altas temperaturas. Además, según sus áreas de aplicación, las varillas de cobre-tungsteno se subdividen en categorías como electricidad y electrónica, disipación de calor y gestión térmica, industria militar y aeroespacial, industria de maquinaria y moldes, e investigación médica y científica. A continuación, se detallará la clasificación de las varillas de cobre-tungsteno y sus aplicaciones específicas en diversos campos.

2.1 Clasificación por relación tungsteno-cobre

El rendimiento de las varillas de cobre-tungsteno está estrechamente relacionado con la proporción

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de tungsteno y cobre. Las varillas con diferentes proporciones presentan diferencias significativas en conductividad eléctrica, conductividad térmica, dureza, resistencia al desgaste y resistencia a altas temperaturas. A continuación, se presenta una clasificación de las proporciones comunes de tungsteno y cobre, junto con sus características y aplicaciones.

2.1.1 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 50/50 (conductividad eléctrica y térmica equilibrada)

Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 50/50 contienen 50 % de tungsteno y 50 % de cobre, lo que representa un equilibrio típico de conductividad eléctrica y térmica. Gracias a su alto contenido de cobre, este tipo de varilla de cobre-tungsteno presenta una excelente conductividad eléctrica (aproximadamente entre el 50 % y el 60 % del cobre puro) y térmica (aproximadamente 200-250 W/ m·K), a la vez que conserva cierta resistencia mecánica y al desgaste. Sus principales características incluyen:

Alta conductividad: adecuado para situaciones que requieren una rápida transmisión de señales eléctricas.

Excelente conductividad térmica: puede disipar el calor de manera eficiente y es adecuado para dispositivos de gestión térmica.

Resistencia mecánica moderada: en comparación con materiales con alto contenido de tungsteno, su dureza y resistencia al desgaste son ligeramente menores, pero su rendimiento de procesamiento es mejor.

Aplicaciones: La varilla de cobre tungsteno W-Cu 50/50 se utiliza ampliamente en materiales de embalaje electrónico, conectores y componentes de contacto eléctrico de baja tensión. Por ejemplo, en sustratos conductores y conectores de circuitos integrados, este material proporciona una transmisión estable de la señal eléctrica y una excelente gestión térmica. También se utiliza para fabricar electrodos de soldadura por resistencia y contactos de arco de baja potencia.

Características de la preparación: Este tipo de varilla de cobre-tungsteno se produce típicamente mediante pulvimetalurgia, utilizando una mezcla de polvo de tungsteno de alta pureza y polvo de cobre, seguida de compactación y sinterización. Algunos procesos pueden incluir una etapa de infiltración de cobre para aumentar la densidad del material. Debido al alto contenido de cobre, la temperatura de sinterización es relativamente baja (aproximadamente 1200-1300 °C), lo que resulta en un bajo costo del proceso.

2.1.2 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 70/30 (comúnmente utilizada para electrodos y contactos)

La varilla de cobre-tungsteno W-Cu 70/30 contiene 70 % de tungsteno y 30 % de cobre, una de las proporciones tungsteno-cobre más utilizadas en los campos eléctrico y electrónico. Este tipo de material logra un buen equilibrio entre conductividad eléctrica, conductividad térmica y resistencia mecánica, lo que lo hace adecuado para su uso como electrodos y materiales de contacto eléctrico. Sus principales características incluyen:

Mayor dureza y resistencia al desgaste: el mayor contenido de tungsteno lo hace más adecuado para

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

soportar el desgaste mecánico.

Conductividad moderada: La conductividad eléctrica es de aproximadamente 30%-40% del cobre puro, lo que lo hace adecuado para aplicaciones eléctricas de voltaje medio y alto.

Buen rendimiento de ruptura de arco: fuerte capacidad anti-ablación en entorno de arco.

Aplicaciones: La varilla de cobre tungsteno W-Cu 70/30 es el material preferido para la fabricación de contactos de interruptores de alta tensión, electrodos de soldadura por resistencia y electrodos de electroerosión (EDM). Por ejemplo, en interruptores automáticos de media y alta tensión, este material puede soportar frecuentes descargas de arco y tensiones mecánicas, lo que prolonga la vida útil del equipo. También se utiliza para electrodos de soldadura por puntos en la industria automotriz y conectores eléctricos en el sector aeronáutico.

Características de la preparación: Este tipo de varilla de cobre-tungsteno se produce generalmente mediante pulvimetalurgia combinada con infiltración de cobre. Debido al alto contenido de tungsteno, el proceso de sinterización requiere temperaturas más altas (aproximadamente 1300-1500 °C) y un control de proceso más estricto para garantizar la uniformidad y la densidad del material.

2.1.3 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 75/25 (combinación de conductividad térmica y resistencia medias)

La varilla de cobre tungsteno W-Cu 75/25 contiene un 75 % de tungsteno y un 25 % de cobre, lo que proporciona un mejor equilibrio entre conductividad térmica y resistencia mecánica. Este tipo de material es adecuado para aplicaciones que requieren alta resistencia y cierta conductividad térmica. Sus principales características incluyen:

Mayor resistencia mecánica: la dureza y la resistencia al desgaste son mejores que las del W-Cu 70/30, adecuado para entornos de alta carga.

Conductividad térmica moderada: La conductividad térmica es de aproximadamente 150-200 W/m·K, lo que es adecuado para aplicaciones de gestión térmica de potencia media.

Bajo coeficiente de expansión térmica: El alto contenido de tungsteno le confiere una buena estabilidad dimensional a altas temperaturas.

Aplicaciones: La varilla de cobre tungsteno W-Cu 75/25 se utiliza ampliamente en la fabricación de sustratos disipadores de calor y materiales de contacto eléctrico para dispositivos electrónicos de media potencia. Por ejemplo, en dispositivos semiconductores de potencia como los módulos IGBT, este material actúa como sustrato disipador de calor, disipando eficazmente el calor a la vez que mantiene la estabilidad estructural. También se utiliza en la fabricación de componentes resistentes al desgaste y contactos eléctricos de media y alta tensión en la industria aeroespacial.

Características de preparación: El proceso de producción de este material es similar al del W-Cu 70/30, pero debido al mayor contenido de tungsteno, la temperatura y la presión de sinterización requieren una mayor optimización. Algunos fabricantes utilizan la tecnología de prensado isostático en caliente (HIP) para mejorar la densidad del material y la consistencia de su rendimiento.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

2.1.4 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 80/20 (para alta resistencia y resistencia a la ablación)

La varilla de cobre tungsteno W-Cu 80/20 contiene 80 % de tungsteno y 20 % de cobre, destacando por su alta resistencia y resistencia a la ablación, ideal para entornos de alta carga y alta temperatura. Sus principales características incluyen:

Extremadamente duro y resistente al desgaste: el alto contenido de tungsteno lo hace extremadamente resistente al desgaste mecánico.

Buena resistencia a la ablación: funciona bien en entornos de plasma o arco de alta temperatura.

Menor conductividad eléctrica y térmica: la conductividad eléctrica es de aproximadamente el 20%-30% del cobre puro y la conductividad térmica es de aproximadamente 120-150 W/ m·K .

Aplicaciones: La varilla de cobre tungsteno W-Cu 80/20 se utiliza principalmente en electrodos de alta resistencia, componentes aeroespaciales de alta temperatura y aplicaciones militares. Por ejemplo, en máquinas de corte por plasma y equipos de electroerosión, este material se utiliza como electrodo, capaz de soportar una intensa erosión por arco. También se utiliza en la fabricación de revestimientos de gargantas de toberas de cohetes y componentes resistentes al desgaste a altas temperaturas.

Características de la preparación: Debido al alto contenido de tungsteno, el proceso de producción requiere temperaturas de sinterización más altas (aproximadamente 1500-1600 °C) y procesos de infiltración de cobre más complejos. Algunos procesos avanzados utilizan tecnología de sinterización por plasma o láser para mejorar la uniformidad de la microestructura del material.

2.1.5 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 85/15 (tipo de alta temperatura y alta resistencia, teniendo en cuenta la conductividad eléctrica)

La varilla de cobre-tungsteno W-Cu 85/15 contiene un 85 % de tungsteno y un 15 % de cobre. Es un material resistente a altas temperaturas y alta resistencia, que conserva cierta conductividad. Sus principales características incluyen:

Resistencia a temperaturas extremadamente altas: capaz de mantener la estabilidad estructural en entornos extremos cercanos a 3000 °C .

Excelente resistencia mecánica: la dureza y la resistencia al desgaste se mejoran aún más, siendo adecuado para condiciones de trabajo extremas.

Menor conductividad: La conductividad eléctrica es de aproximadamente el 15%-25% del cobre puro, adecuado para aplicaciones eléctricas que requieren alta resistencia.

Aplicaciones: Las varillas de cobre tungsteno W-Cu 85/15 se utilizan ampliamente en disipadores de calor de desvío para reactores de fusión nuclear, componentes de motores aeroespaciales y contactos de arco de alta tensión. Por ejemplo, en el proyecto del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER), este material se utiliza como disipador de calor de desvío, capaz de soportar altas cargas térmicas y bombardeo de partículas. También se utiliza en la fabricación de electrodos para láseres y plasmas de alta energía.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Características de la preparación: Este tipo de material es difícil de preparar, y generalmente se utiliza prensado isostático en caliente o sinterización por plasma para garantizar una alta densidad y un rendimiento estable. El proceso de infiltración de cobre requiere un control preciso para evitar la porosidad o un rendimiento desigual en el material.

2.1.6 Varilla de cobre tungsteno W-Cu 90/10 (ultra alta resistencia y resistencia a altas temperaturas)

La varilla de cobre-tungsteno tipo W-Cu 90/10 contiene 90 % de tungsteno y 10 % de cobre. Es la varilla de cobre-tungsteno con mayor resistencia y resistencia a altas temperaturas, ideal para condiciones de trabajo extremas. Sus principales características incluyen:

Dureza y resistencia al desgaste ultra altas: propiedades mecánicas cercanas al tungsteno puro, adecuado para cargas mecánicas extremas.

Resistencia a altas temperaturas extremadamente fuerte: capaz de trabajar durante mucho tiempo en entornos de plasma y temperaturas extremadamente altas.

Conductividad eléctrica y térmica extremadamente baja: la conductividad eléctrica es solo del 10% al 15% del cobre puro y la conductividad térmica es de aproximadamente 80 a 120 W/ m·K .

Aplicaciones: Las varillas de cobre tungsteno W-Cu 90/10 se utilizan principalmente para componentes de alta temperatura en entornos extremos y en la industria militar. Por ejemplo, en sistemas de propulsión de naves espaciales (como toberas de cohetes), este material actúa como revestimiento resistente al desgaste y a altas temperaturas. También se utiliza para fabricar rieles para cañones electromagnéticos y componentes de alta temperatura para dispositivos de fusión nuclear.

Características de la preparación: Debido al altísimo contenido de tungsteno, el proceso de producción requiere temperaturas de sinterización extremadamente altas (aproximadamente 1600-1700 °C) y condiciones de alta presión . El prensado isostático en caliente y la sinterización por plasma son técnicas de preparación comúnmente utilizadas. Algunos procesos también requieren la adición de aditivos traza (como níquel o hierro) para mejorar las propiedades de sinterización.

2.1.7 Varilla de cobre y tungsteno de relación especial (aleación personalizada)

Además de las proporciones estándar mencionadas anteriormente, también se pueden personalizar proporciones especiales de varillas de cobre-tungsteno según los requisitos específicos de la aplicación. Por ejemplo, W-Cu 60/40, W-Cu 65/35 o aleaciones con mayor contenido de cobre se pueden utilizar en aplicaciones que requieren mayor conductividad, mientras que las aleaciones con un contenido de tungsteno ultraalto (como W-Cu 95/5) se utilizan en entornos con resistencia extrema al desgaste y altas temperaturas. El desarrollo de aleaciones personalizadas suele implicar los siguientes aspectos:

Modificación por dopaje: adición de elementos de tierras raras (como lantano, cerio) o metales de transición (como níquel, cobalto) para mejorar propiedades específicas.

Optimización de la microestructura: al controlar el tamaño de partícula del polvo de tungsteno y del

polvo de cobre, se optimizan la uniformidad y la densidad del material.

Procesos especiales: La fabricación aditiva, la sinterización por microondas o la tecnología de pulverización en frío se utilizan para producir varillas de cobre y tungsteno con formas complejas o de alto rendimiento.

Aplicaciones: Las aleaciones personalizadas se utilizan ampliamente en la investigación científica de vanguardia, la industria aeroespacial y en dispositivos electrónicos de alta gama. Por ejemplo, las varillas de tungsteno-cobre con proporciones específicas se utilizan para fabricar dianas para equipos experimentales de física de altas energías y componentes de protección contra la radiación para la industria nuclear.

2.2 Clasificación por campo de aplicación

Según sus diferentes campos de aplicación, las varillas de cobre y tungsteno se dividen en cinco categorías: electricidad y electrónica, disipación de calor y gestión térmica, industria militar y aeroespacial, industria de maquinaria y moldes, e investigación médica y científica. A continuación, se detallarán los usos específicos y los requisitos de rendimiento de los distintos tipos de varillas de cobre y tungsteno.

2.2.1 Varilla de cobre y tungsteno para aplicaciones eléctricas y electrónicas

La varilla de cobre-tungsteno se utiliza ampliamente en los campos eléctrico y electrónico. Su excelente conductividad, capacidad de ruptura de arcos eléctricos y resistencia al desgaste la convierten en la opción preferida para materiales de contacto eléctrico y electrodos.

2.2.1.1 Interruptores de alto voltaje y contactos de arco

Los interruptores y disyuntores de alta tensión requieren materiales que resistan altas tensiones y descargas de arco, manteniendo al mismo tiempo una estabilidad a largo plazo. Las varillas de cobre tungsteno W-Cu 70/30 y W-Cu 75/25 se utilizan ampliamente en contactos de arco debido a su excelente conductividad y resistencia a la ablación. Sus principales ventajas incluyen:

Alto rendimiento de ruptura de arco: puede cortar rápidamente el arco y reducir la quema de contacto.
Resistencia a altas temperaturas: mantiene la integridad estructural bajo altas temperaturas del arco.
Larga vida útil: La alta dureza y la resistencia al desgaste prolongan la vida útil de los contactos.

Ejemplo de aplicación: En sistemas de transmisión de alto voltaje e interruptores automáticos industriales, los contactos de arco de cobre y tungsteno se utilizan en cuadros de distribución que van desde 10 kV a 500 kV y pueden soportar miles de operaciones de conmutación.

2.2.1.2 Electrodo de descarga y electrodo de bujía

por electroerosión (EDM) y las bujías requieren materiales de electrodo con alta resistencia al desgaste y la erosión. Las varillas de cobre tungsteno W-Cu 70/30 y W-Cu 80/20 son materiales de electrodo de uso común. Sus ventajas incluyen:

Mecanizado de alta precisión: La microestructura uniforme de la varilla de cobre de tungsteno

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

garantiza la precisión del mecanizado.

Resistencia a la ablación: permanece estable en entornos de descarga de alta frecuencia.

Buena conductividad eléctrica: asegura la eficiencia y estabilidad del proceso de descarga.

Ejemplos de aplicación: En la industria automotriz, las varillas de cobre y tungsteno se utilizan para fabricar electrodos de bujías de alto rendimiento; en la fabricación de moldes de precisión, los electrodos de cobre y tungsteno se utilizan para el mecanizado por electrochispa de piezas metálicas de formas complejas.

2.2.1.3 Encapsulado de semiconductores y conectores conductores

En el encapsulado de semiconductores, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan como sustratos conductores y conectores para la transmisión de señales eléctricas y la gestión térmica. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 50/50 y W-Cu 75/25 se utilizan ampliamente debido a su alta conductividad y bajo coeficiente de expansión térmica. Entre sus ventajas se incluyen:

Bajo coeficiente de expansión térmica: se adapta a sustratos de silicio y cerámica, reduciendo el estrés térmico.

Alta conductividad térmica: disipa eficazmente el calor y protege los componentes electrónicos sensibles.

Alta confiabilidad: mantiene un rendimiento estable en entornos de alta temperatura y alta humedad.

Caso de aplicación: En dispositivos semiconductores de potencia (como MOSFET e IGBT), las varillas de cobre y tungsteno se utilizan como sustratos conductores y placas base de disipación de calor, y se utilizan ampliamente en vehículos de nueva energía y equipos de automatización industrial.

2.2.2 Varilla de cobre y tungsteno para disipación de calor y gestión térmica

La aplicación de la varilla de cobre y tungsteno en el campo de la gestión térmica se debe a su excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica, lo que es adecuado para las necesidades de disipación de calor de dispositivos electrónicos de alta potencia y equipos aeroespaciales.

2.2.2.1 Microelectrónica y disipadores de calor de circuitos integrados

La microelectrónica y los circuitos integrados requieren materiales de disipación de calor eficientes para evitar el sobrecalentamiento. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 75/25 y W-Cu 80/20 se utilizan ampliamente en la fabricación de disipadores de calor gracias a su alta conductividad térmica y a su expansión térmica compatible con los sustratos de silicio. Entre sus ventajas se incluyen:

Disipación de calor eficiente: la conductividad térmica es tan alta como $150-200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Estabilidad dimensional: El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la integridad estructural en el funcionamiento a largo plazo.

Alta confiabilidad: mantiene un rendimiento estable durante el funcionamiento a alta potencia.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Caso de aplicación: En los módulos de CPU/GPU de computadoras y servidores de alto rendimiento, se utilizan disipadores de calor de cobre y tungsteno para disipar el calor y garantizar el funcionamiento estable del chip bajo alta carga.

2.2.2.2 Sustratos de disipación de calor de dispositivos láser y de alta potencia

Los láseres de alta potencia y los dispositivos de radiofrecuencia requieren un disipador de calor eficiente para mantener su rendimiento. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 70/30 y W-Cu 75/25 son materiales disipadores de calor ideales. Sus ventajas incluyen:

Alta conductividad térmica: disipa rápidamente el calor para evitar el sobrecalentamiento del dispositivo.

Buenas propiedades mecánicas: capaz de soportar la tensión mecánica durante el funcionamiento de dispositivos de alta potencia.

Planitud de la superficie: adecuada para mecanizado de precisión y recubrimiento de superficies.

Ejemplo de aplicación: En sistemas de radar y láseres de comunicación óptica, se utilizan disipadores de calor de cobre y tungsteno para soportar diodos láser de alta potencia y amplificadores de RF.

2.2.2.3 Componentes de refrigeración aeroespacial

Los equipos aeroespaciales requieren una disipación térmica eficiente en entornos extremos. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 80/20 y W-Cu 85/15 se utilizan en componentes de disipación térmica debido a su alta resistencia y a las altas temperaturas. Sus ventajas incluyen:

Resistencia a altas temperaturas: Capacidad de mantener el rendimiento en entornos de alta temperatura.

Alta densidad: proporciona suficiente resistencia mecánica y equilibrio de masa.

Resistencia al choque térmico: permanece estable durante cambios rápidos de temperatura.

Ejemplos de aplicación: En los sistemas de gestión térmica de satélites y motores de aeronaves, se utilizan componentes de disipación de calor de cobre y tungsteno para gestionar el flujo de aire a alta temperatura y la carga térmica de los dispositivos electrónicos.

2.2.3 Varillas de cobre y tungsteno para aplicaciones militares y aeroespaciales

La aplicación de varillas de cobre y tungsteno en los campos militar y aeroespacial se debe a su alta densidad, alta resistencia y resistencia a altas temperaturas, lo que las hace adecuadas para la fabricación de armas de alto rendimiento y componentes aeroespaciales.

2.2.3.1 Armas electromagnéticas y materiales de blindaje protector

Los cañones electromagnéticos y los blindajes de protección requieren materiales de alta densidad y resistencia al desgaste. La varilla de cobre tungsteno W-Cu 90/10 se utiliza para fabricar rieles guía y componentes de blindaje gracias a su alta resistencia y densidad. Sus ventajas incluyen:

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Alta densidad: proporciona suficiente energía cinética y estabilidad de calidad.

Resistencia al desgaste: Mantiene el rendimiento bajo fricción e impacto a alta velocidad.

Resistencia a altas temperaturas: Resiste la alta temperatura instantánea durante el disparo de pistola electromagnética.

Ejemplos de aplicación: En sistemas de cañones electromagnéticos, se utilizan rieles de cobre y tungsteno para soportar la fricción y el impacto del arco de proyectiles de alta velocidad; en materiales de blindaje, se utilizan varillas de cobre y tungsteno para mejorar el rendimiento de protección.

2.2.3.2 Electroodos y componentes para armas de alta energía

Las armas de alta energía, como los láseres y las armas de plasma, requieren materiales de electrodos resistentes a altas temperaturas y a la ablación. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 80/20 y W-Cu 85/15 son opciones ideales, ya que ofrecen ventajas como:

Resistencia a la ablación: mantiene la integridad estructural durante descargas de alta energía.

Alta conductividad: asegura una transmisión eficiente de energía eléctrica.

Larga vida útil: reduce la frecuencia de reemplazo y mejora la confiabilidad del arma.

Ejemplos de aplicación: En armas láser de alta energía, se utilizan electrodos de cobre y tungsteno para soportar la descarga de alta potencia; en armas de plasma, se utilizan componentes de cobre y tungsteno para soportar el impacto de plasma de alta temperatura.

2.2.3.3 Componentes de la boquilla del cohete y del sistema de propulsión

Las toberas de cohetes y los sistemas de propulsión deben operar en entornos de alta temperatura y alta presión. Las varillas de cobre tungsteno W-Cu 85/15 y W-Cu 90/10 se utilizan para fabricar revestimientos de garganta de toberas y componentes de sistemas de propulsión gracias a su alta resistencia a la temperatura y a su alta resistencia. Entre sus ventajas se incluyen:

Resistencia a temperaturas extremadamente altas: soporta las altas temperaturas de las cámaras de combustión de cohetes ($>3000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Resistencia al choque térmico: permanece estable durante cambios rápidos de temperatura.

Alta densidad: proporciona resistencia estructural y equilibrio de masa.

Caso de aplicación: En motores de cohetes sólidos y sistemas de propulsión de cohetes líquidos, se utilizan varillas de cobre y tungsteno para fabricar revestimientos de garganta de boquillas y componentes guía de alta temperatura.

2.2.4 Varillas de cobre y tungsteno para maquinaria y moldes

Las varillas de cobre-tungsteno se utilizan en la industria de maquinaria y moldes debido a su alta dureza, resistencia al desgaste, excelente conductividad térmica y resistencia a la ablación, lo que las convierte en un material ideal para la fabricación de herramientas y moldes de mecanizado de alta precisión. En particular, en campos como el mecanizado por electroerosión (EDM) y las

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

matrices de estampación, las varillas de cobre-tungsteno presentan ventajas únicas que mejoran significativamente la eficiencia del mecanizado y la vida útil del molde.

2.2.4.1 Electrodo para mecanizado por descarga eléctrica (EDM)

El mecanizado por electroerosión (EDM) es una tecnología de mecanizado de precisión que elimina material mediante descargas eléctricas. Se utiliza ampliamente en la fabricación de moldes, el procesamiento de piezas aeroespaciales y la metalurgia de geometrías complejas. Los electrodos de EDM requieren materiales con alta resistencia al desgaste, resistencia a la ablación y buena conductividad eléctrica para garantizar la precisión del mecanizado y la vida útil del electrodo. Las varillas de cobre tungsteno W-Cu 70/30 y W-Cu 80/20 son los materiales preferidos para los electrodos de EDM. Sus principales ventajas incluyen:

Alta resistencia al desgaste: La alta dureza del tungsteno permite que el electrodo resista el desgaste en descargas de alta frecuencia y extienda su vida útil.

Excelente resistencia a la ablación: bajo la alta temperatura instantánea (hasta 6000 °C) generada por la descarga de chispa eléctrica, la varilla de cobre de tungsteno puede mantener su integridad estructural y reducir la pérdida de electrodos.

Buena conductividad: la adición de cobre garantiza que el electrodo tenga suficiente conductividad (la conductividad es de aproximadamente el 20% al 40% del cobre puro), lo que favorece un mecanizado de descarga eficiente.

Alta precisión de procesamiento: La microestructura uniforme y el bajo coeficiente de expansión térmica de la varilla de cobre de tungsteno garantizan que el electrodo mantenga la estabilidad dimensional durante el procesamiento, lo que ayuda a lograr un procesamiento de alta precisión.

Fácil de procesar: en comparación con el tungsteno puro, la varilla de cobre de tungsteno tiene una mejor maquinabilidad, lo que es conveniente para preparar electrodos con formas complejas.

Ejemplos de aplicación: En la fabricación de moldes de precisión, las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 70/30 se utilizan ampliamente para procesar moldes de acero complejos, como moldes para piezas de automóviles y moldes para carcasas de dispositivos electrónicos. En el sector aeroespacial, los electrodos de cobre-tungsteno se utilizan para procesar componentes de aleaciones de titanio y de alta temperatura, garantizando una alta precisión y calidad superficial. Además, en el procesamiento de micropiezas, los electrodos de cobre-tungsteno pueden alcanzar una precisión de procesamiento micrométrica, cumpliendo con los requisitos de fabricación de sistemas microelectromecánicos (MEMS) e instrumentos de precisión.

Características de fabricación: Los electrodos de tungsteno-cobre para electroerosión se producen generalmente mediante pulvimetalurgia, mezclando polvos de tungsteno y cobre de alta pureza antes de compactarlos y sinterizarlos. Para mejorar la densidad del electrodo y la uniformidad del rendimiento, algunos procesos incorporan infiltración de cobre o prensado isostático en caliente (HIP). La superficie del electrodo suele requerir mecanizado de precisión (como rectificado o pulido) para cumplir con los requisitos de mecanizado de alta precisión.

Tendencias de desarrollo: A medida que la tecnología EDM avanza hacia el micro y

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

nanomecanizado, el proceso de fabricación de electrodos de tungsteno-cobre se optimiza continuamente. Por ejemplo, el uso de polvos de tungsteno y cobre de tamaño nanométrico puede mejorar aún más la uniformidad microestructural de los electrodos y reducir los defectos menores durante la descarga. Además, se utilizan técnicas de modificación de superficies (como el niquelado o el dorado) para mejorar la resistencia a la oxidación y la conductividad eléctrica de los electrodos, prolongando así su vida útil.

2.2.4.2 Matrices de estampación y piezas resistentes al desgaste

En la fabricación de matrices de estampación y piezas resistentes al desgaste, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan ampliamente debido a su alta dureza, resistencia al desgaste y excelente conductividad térmica. Las matrices de estampación y las piezas resistentes al desgaste suelen trabajar en entornos de alta carga, impactos frecuentes y altas temperaturas. Las varillas de cobre-tungsteno cumplen eficazmente estos estrictos requisitos. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 75/25 y W-Cu 80/20 se utilizan comúnmente en este campo. Sus principales ventajas incluyen:

Alta dureza y resistencia al desgaste: La alta dureza del tungsteno (cercana a la dureza de Mohs del tungsteno puro en el nivel 9) permite que la varilla de cobre de tungsteno resista el desgaste mecánico durante el proceso de estampado y extienda la vida útil del molde.

Excelente conductividad térmica: La adición de cobre hace que la varilla de cobre de tungsteno tenga una conductividad térmica más alta (aproximadamente $150-200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que puede disipar el calor rápidamente y evitar que el molde se deforme o falle debido al sobrecalentamiento.

Bajo coeficiente de expansión térmica: Las características de baja expansión térmica del tungsteno (aproximadamente $4,5-5,5 \times 10^{-6} / \text{K}$) garantizan la estabilidad dimensional del molde a altas temperaturas y son adecuadas para estampación de alta precisión.

Resistencia a la fatiga: Las varillas de cobre y tungsteno pueden mantener la integridad estructural bajo impactos frecuentes, lo que reduce el riesgo de grietas y fallas por fatiga.

Ejemplos de aplicación: En la industria automotriz, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan para fabricar matrices de estampación destinadas a producir paneles de carrocería, componentes de motor y piezas de transmisión. En las matrices de fundición a presión de aleaciones de aluminio y magnesio, las varillas de cobre-tungsteno sirven como varillas de núcleo y boquillas, capaces de resistir el impacto y la corrosión del metal fundido a alta temperatura. Además, en la producción de estampación de hardware de precisión y conectores electrónicos, las matrices de cobre-tungsteno son las preferidas por su alta resistencia al desgaste y larga vida útil.

Características de fabricación: Las varillas de cobre tungsteno para matrices de estampación se producen generalmente mediante pulvimetalurgia combinada con un proceso de infiltración de cobre para garantizar una alta densidad del material y un rendimiento uniforme. Para cumplir con los complejos requisitos de forma del molde, algunos procesos utilizan mecanizado CNC o tecnología de corte por láser para ajustar las varillas de cobre tungsteno. Además, los tratamientos de endurecimiento superficial (como la carburación o la nitruración) pueden mejorar aún más la resistencia al desgaste y la corrosión del molde.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Tendencias de desarrollo: En el futuro, las varillas de cobre-tungsteno para matrices de estampación evolucionarán hacia un mayor rendimiento y formas más complejas. Por ejemplo, la aplicación de la tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D) permite el diseño de complejos canales de refrigeración internos en matrices de cobre-tungsteno, mejorando así la eficiencia de disipación térmica. Además, el dopaje con oligoelementos (como níquel o tierras raras) puede optimizar aún más la resistencia a la fatiga y al desgaste de las varillas de cobre-tungsteno, cumpliendo así con los requisitos de estampación de alta resistencia.

2.2.5 Varillas de cobre y tungsteno para aplicaciones de investigación médica y científica

Las varillas de cobre-tungsteno se utilizan en la investigación médica y científica gracias a su alta densidad, resistencia a altas temperaturas y biocompatibilidad. Son especialmente adecuadas para la fabricación de electrodos médicos, sondas especializadas y componentes para experimentos de física de altas energías. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 80/20 y W-Cu 85/15 se utilizan comúnmente en este campo, satisfaciendo las exigencias de alta precisión y entornos extremos.

2.2.5.1 Electrodo médico y sondas especiales

En el campo médico, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan para fabricar electrodos y sondas de alta precisión, ampliamente utilizados en estimulación nerviosa, ablación por radiofrecuencia y dispositivos quirúrgicos mínimamente invasivos. Estas aplicaciones requieren materiales con alta conductividad, resistencia a la corrosión y biocompatibilidad. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 70/30 y W-Cu 80/20 son ampliamente utilizadas debido a su excelente rendimiento. Sus principales ventajas incluyen:

Alta conductividad: garantiza una transmisión precisa de señales eléctricas, adecuado para la estimulación nerviosa y la monitorización electrofisiológica.

Resistencia a la corrosión: permanece estable en entornos fisiológicos (como sangre o fluido tisular) y reduce la degradación del material.

Alta dureza y resistencia al desgaste: admite el uso a largo plazo de la sonda en operaciones de alta precisión.

Biocompatibilidad: después de un tratamiento de superficie adecuado (como enchapado en oro o plata), la varilla de cobre y tungsteno puede cumplir con los requisitos de biocompatibilidad de los dispositivos médicos.

Ejemplos de aplicación: En dispositivos de neuroestimulación, los electrodos de tungsteno-cobre se utilizan en la estimulación cerebral profunda (ECP) para tratar la enfermedad de Parkinson y la epilepsia, administrando pulsos eléctricos con precisión. En procedimientos de ablación por radiofrecuencia, las sondas de tungsteno-cobre se utilizan para tratar lesiones cardíacas o tumores, manteniendo la estabilidad a altas temperaturas y campos eléctricos de alta frecuencia. Además, en cirugía mínimamente invasiva, las varillas de tungsteno-cobre se procesan en sondas miniatura para exámenes endoscópicos y toma de muestras de tejido.

Características de la preparación: Las varillas de cobre y tungsteno para uso médico se producen generalmente con polvos de tungsteno y cobre de alta pureza mediante pulvimetalurgia y prensado

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

isostático en caliente para garantizar una alta densidad y una estructura no porosa. El tratamiento superficial (como la galvanoplastia o la pasivación química) es fundamental para mejorar la biocompatibilidad y la resistencia a la corrosión del material. Además, se utilizan tecnologías de micromanofabricación para fabricar microelectrodos y sondas que satisfacen las necesidades de los dispositivos médicos de alta precisión.

Tendencias de desarrollo: Con el avance de las tecnologías médicas mínimamente invasivas, los electrodos y sondas de tungsteno-cobre se irán reduciendo y mejorando la precisión. Por ejemplo, el desarrollo de compuestos de tungsteno-cobre a escala nanométrica puede mejorar aún más la conductividad y las propiedades mecánicas de los electrodos. Además, en combinación con tecnologías de materiales inteligentes, las futuras sondas de tungsteno-cobre podrían incorporar funciones de sensor para la monitorización en tiempo real de señales fisiológicas.

2.2.5.2 Experimentos de física de altas energías y aplicaciones en la industria nuclear

Las varillas de cobre-tungsteno se utilizan ampliamente en experimentos de física de altas energías y en la industria nuclear debido a su alta densidad, resistencia a altas temperaturas y a la radiación. Las varillas de cobre-tungsteno W-Cu 85/15 y W-Cu 90/10 son los materiales preferidos en este campo, capaces de soportar las altas temperaturas, las altas presiones y el bombardeo de partículas característico de entornos extremos. Sus principales ventajas incluyen:

Alta densidad: La alta densidad del tungsteno (aproximadamente $19,25 \text{ g/cm}^3$) permite que las varillas de cobre y tungsteno protejan eficazmente la radiación de alta energía, lo que las hace adecuadas para su uso en componentes de reactores nucleares y aceleradores de partículas.

Resistencia a altas temperaturas: mantiene un rendimiento estable a temperaturas extremadamente altas ($>3000 \text{ }^\circ\text{C}$) generadas por fusión nuclear o colisiones de partículas de alta energía.

Resistencia a la radiación: Las varillas de cobre y tungsteno pueden resistir daños causados por la irradiación de neutrones y rayos gamma, lo que prolonga la vida útil de los componentes.

Excelente conductividad térmica: disipa rápidamente el calor para evitar que los componentes fallen debido a las altas temperaturas.

Ejemplos de aplicación: En el proyecto del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER), se utilizan varillas de cobre-tungsteno W-Cu 85/15 como disipadores de calor divertores, capaces de soportar altas cargas térmicas y bombardeo de plasma. En aceleradores de partículas como el Gran Colisionador de Hadrones del CERN, se emplean varillas de cobre-tungsteno para fabricar blancos y componentes de blindaje radiológico, protegiendo los equipos de partículas de alta energía. Además, en la industria nuclear, se utilizan como conductores térmicos de alta temperatura y materiales de blindaje radiológico para mejorar la seguridad y la eficiencia de los reactores.

Características de la preparación: La producción de varillas de cobre-tungsteno para la industria nuclear requiere una pureza y densidad de material extremadamente altas. Se suelen utilizar técnicas de prensado isostático en caliente o sinterización por plasma para eliminar microporos y defectos en el material. Para mejorar la resistencia a la radiación, algunos procesos implican el dopaje con

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

tierras raras (como el lantano o el cerio) para optimizar la microestructura del material. Además, se utilizan recubrimientos superficiales (como recubrimientos de molibdeno o cerámicos) para mejorar la resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas del material.

Tendencias de desarrollo: En el futuro, las varillas de cobre-tungsteno para la industria nuclear evolucionarán hacia estructuras más complejas y de mayor rendimiento. Por ejemplo, la aplicación de la tecnología de fabricación aditiva permite la fabricación de varillas de cobre-tungsteno en disipadores de calor y componentes de blindaje con geometrías complejas, satisfaciendo así las necesidades de los reactores de fusión nuclear de nueva generación. Además, las nuevas tecnologías de dopaje y modificación de superficies mejorarán aún más la resistencia a la radiación y a las altas temperaturas de las varillas de cobre-tungsteno, impulsando su aplicación en experimentos de física de altas energías y en la industria nuclear.



Capítulo 3 Tecnología de preparación y producción de varillas de cobre y tungsteno

La varilla de cobre-tungsteno, un material compuesto que combina la alta resistencia y la resistencia a altas temperaturas del tungsteno con la excelente conductividad eléctrica y térmica del cobre, desempeña un papel irremplazable en dispositivos electrónicos, contactos eléctricos, componentes de gestión térmica y la industria aeroespacial. Su proceso de preparación es un proceso complejo en la ciencia de los materiales, que combina técnicas tradicionales de pulvimetalurgia con innovadores avances tecnológicos. Desde la meticulosa selección de la materia prima hasta el mecanizado de precisión del producto final, cada paso requiere un diseño meticuloso para garantizar la uniformidad, densidad y un rendimiento estable del material. La clave reside en crear un esqueleto poroso de tungsteno e infiltrar con precisión el cobre fundido para lograr una composición perfecta de las dos fases. Los procesos tradicionales se basan en el prensado, la sinterización y la infiltración al vacío, mientras que las tecnologías emergentes incorporan nanomateriales, fabricación aditiva y control inteligente para satisfacer demandas de rendimiento aún mayores. Este capítulo proporcionará una

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

descripción narrativa detallada, profundizando en cada paso, desde la preparación de la materia prima hasta la exploración de nuevos procesos. Centrándose en los principios del proceso, los detalles operativos, los desafíos y las estrategias de optimización, evita la sobrecarga con datos técnicos y, en cambio, utiliza un lenguaje vívido para mostrar la complejidad y el encanto del proceso de preparación.

3.1 Preparación de la materia prima

La preparación de las materias primas es el punto de partida para la producción de varillas de cobre-tungsteno, similar a la preparación de los instrumentos para una sinfonía sofisticada. El polvo de tungsteno y el cobre electrolítico, como materias primas principales, se someten a un riguroso proceso de selección y procesamiento para garantizar su perfecta integración en los procesos posteriores y formar un material compuesto de alto rendimiento. El control de la pureza, el tamaño de las partículas y la morfología no solo influye en los resultados del conformado y la sinterización, sino que también determina las propiedades térmicas, eléctricas y mecánicas del producto final.

3.1.1 Preparación y requisitos de calidad del polvo de tungsteno

La preparación de [polvo de tungsteno](#) es como transformar mineral de tungsteno duro en un material fino y artístico. Se suele utilizar la reducción con hidrógeno. Esta es una técnica industrial consolidada. A partir de mineral de tungsteno (como la wolframita o la scheelita), se purifica químicamente para producir tungstato, que posteriormente se tuestan para formar [trióxido de tungsteno](#). El proceso de reducción posterior se lleva a cabo en un horno de alta temperatura, donde el hidrógeno, como un artesano paciente, elimina gradualmente los óxidos, dando como resultado polvo de tungsteno puro. Otros métodos, como la electrólisis o la aleación mecánica, pueden producir partículas más finas, pero son más costosos y adecuados para aplicaciones especializadas.

Los requisitos de calidad del polvo de tungsteno son excepcionalmente exigentes: requiere una pureza extremadamente alta para minimizar las impurezas, una forma de partícula uniforme para facilitar el empaquetamiento y la unión, y un contenido de oxígeno estrictamente controlado para evitar la formación de óxido indeseable a altas temperaturas. El polvo de tungsteno de alta calidad actúa como una semilla cuidadosamente seleccionada, sentando las bases para los procesos posteriores. La adición de activadores traza puede mejorar la fusión del polvo durante la sinterización, pero se recomienda precaución para no comprometer la conductividad térmica del material. El polvo de tungsteno debe almacenarse en un ambiente seco y sellado para evitar que la humedad y el oxígeno afecten su actividad.

3.1.2 Preparación y características del cobre electrolítico

La producción de cobre electrolítico es un proceso de refinación electroquímica. El cobre crudo se descompone en un electrolito y los iones de cobre, guiados por un campo eléctrico, se depositan en el cátodo, formando láminas o polvo de cobre puro. Este proceso, al igual que la refinación del oro, requiere un control preciso para eliminar impurezas y garantizar que el cobre cumpla con los estándares de calidad líderes de la industria.

El cobre electrolítico, con su excelente conductividad eléctrica y térmica, actúa como lubricante en

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

las varillas de cobre-tungsteno. Su bajo punto de fusión le permite fluir fácilmente durante la infiltración, rellenando los poros del esqueleto de tungsteno; su excelente plasticidad garantiza la tenacidad del material compuesto. El cobre se presenta en diversas formas, desde polvo fino hasta bloques sólidos, para adaptarse a los diferentes requisitos del proceso. Dentro de la varilla de cobre-tungsteno, el cobre no solo conduce la corriente y el calor, sino que también conecta las partículas de tungsteno, formando una red resistente. Sin embargo, el cobre es sensible al oxígeno y requiere un cuidado extremo durante su almacenamiento y manipulación para evitar la oxidación que podría afectar su rendimiento.

3.1.3 Efecto del tamaño, la morfología y la pureza del polvo de tungsteno en el proceso

El tamaño y la forma de las partículas del polvo de tungsteno actúan como herramientas de escultor, moldeando directamente la estructura del material. Las partículas finas se combinan con mayor firmeza, lo que mejora la resistencia del esqueleto, pero pueden cerrar los poros prematuramente y dificultar la penetración del cobre. Las partículas más grandes fomentan una red de poros abiertos, pero requieren más energía para fusionarse. Elegir el tamaño de partícula adecuado es como mezclar los colores de un cuadro: encontrar el equilibrio entre resistencia y permeabilidad.

La morfología de las partículas también es crucial: los polvos con forma casi esférica se compactan con mayor densidad, lo que promueve una estructura uniforme; las partículas irregulares aumentan los puntos de contacto, lo que puede mejorar las propiedades mecánicas, pero también puede provocar defectos localizados. La pureza es fundamental para un material, ya que determina la estabilidad interfacial y la fiabilidad del rendimiento. Los polvos de alta pureza minimizan las reacciones químicas no deseadas, garantizando un proceso de compuestos fluido; los polvos de baja pureza pueden causar fragilidad y comprometer la durabilidad. Mediante un cribado y procesamiento minuciosos, estos factores se pueden optimizar, allanando el camino para el procesamiento posterior.

3.2 Proceso de formación de preformas a base de tungsteno

La formación de la preforma de tungsteno es la etapa de construcción de la base del proceso de fabricación. El objetivo es crear un esqueleto poroso de tungsteno que proporcione canales ideales para la infiltración de cobre. Este proceso combina técnicas de prensado y sinterización, como si se tratara de tallar una ciudad microscópica a partir del polvo de tungsteno sólido. La porosidad y la resistencia requieren un equilibrio preciso para evitar una estructura demasiado densa o demasiado suelta.

3.2.1 Prensado (Prensado Uniaxial, Prensado Isostático)

El prensado uniaxial es un proceso simple y directo, similar a compactar arena suelta para formar ladrillos con un molde. El polvo de tungsteno se carga en un molde de acero y se comprime hasta obtener una forma preliminar mediante una fuerza uniaxial. Una pequeña cantidad de aglutinante, como si se añadiera adhesivo a la arcilla, facilita la formación del polvo. Este método es económico y adecuado para la producción a pequeña escala, pero puede resultar en una densidad desigual, con centros sueltos y bordes densos.

El prensado isostático, similar a la aplicación de una presión uniforme sobre el polvo, aplica una presión uniforme a través de un medio líquido o gaseoso. Ya sea en frío o en caliente, combinado con alta temperatura, mejora significativamente la uniformidad de la preforma y es especialmente adecuado para varillas de cobre-tungsteno grandes o complejas. Tras el prensado, el cuerpo verde debe secarse cuidadosamente para eliminar el aglutinante y prepararlo para la sinterización posterior.

3.2.2 Densificación por sinterización (al vacío o en atmósfera de hidrógeno)

El proceso de sinterización es similar a la soldadura de partículas sueltas en una estructura sólida. El cuerpo verde prensado se coloca en un horno de alta temperatura y se calienta al vacío o con hidrógeno. El vacío actúa como una cámara estéril, evitando la oxidación y facilitando la expulsión de gases. El hidrógeno actúa como un limpiador, reduciendo los óxidos superficiales y reforzando la unión entre las partículas.

Durante este proceso, las partículas se conectan gradualmente mediante difusión y crecimiento del cuello, lo que provoca que el cuerpo verde se contraiga y se vuelva más denso. Añadir trazas de activadores puede reducir la temperatura requerida, pero se recomienda precaución para no comprometer la pureza del material. La sinterización es una danza química lenta que requiere un equilibrio preciso de temperatura y tiempo para garantizar un esqueleto resistente y mantener una porosidad suficiente.

3.2.3 Control de la porosidad y conectividad de las preformas

La porosidad y la conectividad son el "sistema de respiración" de la preforma, lo que influye directamente en la infiltración del cobre fundido. Una porosidad excesiva puede debilitar la estructura, mientras que una porosidad insuficiente puede dificultar la penetración. Esto requiere un control minucioso mediante la proporción de polvo y las condiciones del proceso. Añadir agentes formadores de poros temporales es como incrustar partículas solubles en tierra, que luego se eliminan tras la sinterización para crear canales.

Comprobar la conectividad de los poros es como inspeccionar la red de tráfico de una ciudad para garantizar que no haya callejones sin salida. Una preforma optimizada presenta una distribución uniforme de poros, lo que facilita la infiltración del material fundido, manteniendo al mismo tiempo una resistencia mecánica adecuada.

3.3 Proceso de infiltración al vacío

La infiltración al vacío es el paso clave en la preparación de varillas de tungsteno-cobre. Es como inyectar cobre líquido en las microscópicas vetas del esqueleto de tungsteno, formando un material compuesto denso. Este proceso no solo representa un desafío técnico, sino también una sinfonía de física y química. Al vacío, el cobre fundido permea los poros del esqueleto de tungsteno mediante fuerzas capilares, llenando cada espacio y formando finalmente una estructura compuesta uniforme. La clave del éxito reside en controlar la temperatura, el nivel de vacío y la dinámica de infiltración, evitando al mismo tiempo la volatilización del cobre, los defectos interfaciales y la distribución desigual. A continuación, se describirá en detalle la complejidad y sofisticación de este proceso, desde los principios, el equipo y las operaciones específicas.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

3.3.1 Principios básicos de la infiltración al vacío

La esencia de la infiltración al vacío reside en utilizar la capilaridad y el vacío para permitir que el cobre fundido fluya naturalmente hacia la red porosa del esqueleto de tungsteno. Imagine una gota de agua absorbida por una esponja: el cobre fundido se convierte en un líquido fluido a altas temperaturas y, gracias a la presión negativa del vacío, penetra en la estructura del tungsteno a través de diminutos canales porosos. El tungsteno y el cobre no reaccionan químicamente, sino que se unen mediante humectación física. La magnitud del ángulo de humectación determina si el cobre puede fluir espontáneamente, y el entorno de vacío elimina la resistencia del gas, permitiendo que el cobre llene cada rincón con mayor fluidez.

Este proceso revitaliza el esqueleto de tungsteno. El cobre no solo rellena los poros, sino que, al enfriarse, forma una red conductora y termoconductora, formando un compuesto resistente y eficiente con el esqueleto de tungsteno. La clave reside en asegurar una buena humectación y evitar la volatilización del cobre debido a temperaturas excesivas o una penetración incompleta debido a una porosidad irregular.

3.3.2 Estructura y principio de funcionamiento del horno de infiltración

El horno de infiltración es el corazón de la infiltración al vacío, y su diseño es tan sofisticado como un quirófano de precisión. El cuerpo del horno consta de una cámara de vacío, un sistema de calentamiento, una bomba de vacío y un sistema de refrigeración. La cámara de vacío suele estar hecha de materiales resistentes a altas temperaturas, como acero inoxidable o cuarzo, y en su interior se coloca un crisol de grafito para contener la preforma de tungsteno y el bloque de cobre. El sistema de calentamiento puede ser por resistencia o por inducción y, como un chef de precisión, controla la temperatura por encima del punto de fusión del cobre. La bomba de vacío actúa como un ventilador, extrayendo aire para crear un ambiente de alto vacío y reducir la interferencia de gases. El sistema de refrigeración reduce gradualmente la temperatura una vez finalizada la infiltración para evitar grietas causadas por la tensión térmica.

Durante la operación, se coloca una preforma de tungsteno en un crisol, con un bloque de cobre encima o a un lado. Primero se vacía el horno para eliminar el aire y la humedad, y luego se eleva lentamente la temperatura para fundir el cobre. Las fuerzas capilares y el vacío en el crisol permiten que el cobre fundido penetre en la preforma, llenando los poros antes de enfriarse y solidificarse. Todo el proceso es similar a un moldeo por infusión microscópico, que requiere una ejecución precisa y exacta de cada paso.

3.3.3 Temperatura de infiltración de cobre, grado de vacío y dinámica de infiltración

La temperatura de infiltración del cobre debe ser superior a su punto de fusión, pero no demasiado alta para evitar su evaporación o el crecimiento de granos indeseados en la estructura de tungsteno. Elegir la temperatura correcta es como ajustar el calor en la cocina: debe ser la adecuada. El grado de vacío determina la fluidez del proceso de infiltración: un entorno de alto vacío es como una pista despejada que permite que el cobre líquido fluya sin obstáculos; un vacío insuficiente permite que el gas residual forme burbujas, lo que afecta la densidad del material.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

La dinámica de infiltración es fundamental en este proceso. El caudal de la solución de cobre depende del tamaño de los poros, la humectabilidad y el efecto de la temperatura en su viscosidad. Los poros más pequeños proporcionan mayores fuerzas capilares, pero pueden aumentar la resistencia al flujo; los poros más grandes tienen el efecto contrario. Optimizar estos factores requiere experimentación y simulación para encontrar la combinación ideal de temperatura, vacío y tiempo para una infiltración rápida y uniforme.

3.3.4 Reacción de la interfaz y evolución de la microestructura durante la infiltración

Durante el proceso de infiltración, la interfaz entre el cobre fundido y las partículas de tungsteno actúa como la superficie de contacto de dos bailarines, lo que requiere un movimiento coordinado. El tungsteno y el cobre son inmiscibles, y en la interfaz se produce humectación física, en lugar de una reacción química. Cuando el cobre fundido entra en contacto con las partículas de tungsteno, se forma una fina zona de difusión que refuerza la unión entre ambos. Añadir pequeñas cantidades de elementos como el cromo o el circonio puede mejorar la humectación y reducir la formación de huecos o microfisuras en la interfaz.

La microestructura evoluciona desde un esqueleto poroso de tungsteno hasta un complejo denso relleno de cobre. El cobre líquido penetra primero en los poros más grandes y luego llena gradualmente los canales más pequeños, formando finalmente una red tridimensional. Este proceso es como una ciudad que se llena gradualmente de calles y edificios a partir de una estructura vacía. Al enfriarse, la fase de cobre se solidifica, formando un todo cohesivo con el esqueleto de tungsteno. La observación microscópica revela una microestructura ideal sin grietas visibles ni zonas sin rellenar, y la fase de cobre se distribuye uniformemente, lo que mejora el rendimiento del material.

3.3.5 Uniformidad de infiltración y control de calidad

La uniformidad es el objetivo final del proceso de infiltración. Cualquier infiltración incompleta localizada o acumulación de cobre reducirá el rendimiento del material. La uniformidad depende de la uniformidad de la porosidad del esqueleto de tungsteno y de la estabilidad de las condiciones de infiltración. La porosidad de la preforma debe diseñarse de forma científica y racional para evitar áreas excesivamente densas que bloqueen la solución de cobre o áreas excesivamente porosas que resulten en una resistencia insuficiente.

El control de calidad es como un examen físico exhaustivo del producto terminado. La medición de la densidad permite determinar la integridad del relleno, el examen microscópico permite verificar la uniformidad de la microestructura, y las pruebas no destructivas, como el ultrasonido o los rayos X, pueden revelar defectos ocultos. Si se detecta una infiltración irregular, se puede corregir mediante una infiltración en varios pasos o ajustando el perfil de temperatura. El objetivo final es garantizar que el material esté libre de burbujas o grietas y que su rendimiento cumpla con los requisitos de diseño.

3.4 Posprocesamiento y mecanizado

El posprocesamiento y el mecanizado son los procesos de pulido de la varilla de cobre tungsteno, desde su estado bruto hasta un producto final finamente elaborado. Estos pasos no solo eliminan los

problemas residuales durante la preparación, sino que también confieren al material dimensiones precisas y propiedades superficiales optimizadas.

3.4.1 Tratamiento térmico y alivio de tensiones

El tratamiento térmico consiste en una relajación profunda del material, eliminando las tensiones internas acumuladas durante la infiltración y el enfriamiento. Las varillas de cobre-tungsteno se calientan en una atmósfera protectora, como hidrógeno o vacío, aumentando gradualmente la temperatura y manteniéndola, lo que permite que la estructura cristalina se realinee y mejore su tenacidad. El proceso de enfriamiento es lento, permitiendo que el material "respire" y evitando la generación de nuevas tensiones. Este paso puede mejorar significativamente la fiabilidad y la vida útil del material.

3.4.2 Mecanizado de precisión y control dimensional

El mecanizado de precisión es clave para dar a la varilla de cobre tungsteno su forma final. Mediante tornos, fresadoras o rectificadoras de alta precisión, junto con herramientas de diamante, el material se esculpe cuidadosamente según las dimensiones diseñadas. El proceso de mecanizado se asemeja al trabajo de un escultor, requiriendo velocidades de corte y avances controlados para evitar el sobrecalentamiento o daños en la superficie. La precisión dimensional se garantiza mediante medición láser y medición tridimensional de coordenadas, lo que garantiza tolerancias micrométricas para satisfacer las exigencias de las aplicaciones de alta precisión.

3.4.3 Tecnología de modificación de superficies y recubrimiento

La modificación de superficies es como aplicar una capa protectora a un material. El pulido o el grabado químico crean una superficie lisa como un espejo, reduciendo la fricción y el desgaste. Las tecnologías de recubrimiento mejoran aún más el rendimiento. Por ejemplo, la aplicación de una capa de níquel u oro mediante galvanoplastia o deposición física de vapor (PVD) mejora la resistencia a la corrosión y la conductividad eléctrica. El espesor del recubrimiento debe controlarse cuidadosamente para brindar protección sin afectar la conductividad térmica del material.

3.5 Exploración de nuevos procesos

Con el avance de la ciencia de los materiales, nuevos procesos han revitalizado la preparación de varillas de cobre-tungsteno. Estas tecnologías son como exploradoras, explorando vías de preparación más eficientes y precisas para satisfacer las necesidades de futuras aplicaciones complejas.

3.5.1 Preformas de cobre de nanotungsteno y tecnología de infiltración de cobre ultrafino

El uso de polvo de tungsteno a escala nanométrica eleva la precisión de fabricación a nivel molecular. Los polvos ultrafinos, producidos mediante métodos especializados, permiten la creación de preformas con mayor densidad. La tecnología de infiltración de cobre ultrafino utiliza nanopulvos de cobre para lograr la infiltración a temperaturas más bajas, lo que reduce el consumo de energía y mejora la uniformidad del material. Este enfoque, similar a pintar la estructura de un material con una brocha más fina, mejora significativamente el rendimiento.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

3.5.2 Combinación de infiltración al vacío y fabricación aditiva

La fabricación aditiva (impresión 3D) ha abierto nuevas posibilidades para la fabricación de varillas de cobre-tungsteno. Mediante la impresión láser o por haz de electrones de un esqueleto de tungsteno, combinada con la infiltración al vacío, se pueden crear geometrías complejas. Este método, al igual que el esculpido digital del material, supera las limitaciones de los procesos tradicionales y es adecuado para la producción a medida.

3.5.3 Proceso de optimización de alta uniformidad y baja porosidad

Los nuevos procesos optimizados combinan la infiltración asistida por alta presión, la sinterización por microondas o tecnologías de control inteligente para lograr la máxima uniformidad y baja porosidad. Los sistemas inteligentes actúan como conductores, ajustando los parámetros del proceso en tiempo real para garantizar un rendimiento óptimo en cada etapa. Estas tecnologías elevan el rendimiento de las varillas de cobre-tungsteno a un nuevo nivel, satisfaciendo las aplicaciones más exigentes.



Capítulo 4 Propiedades físicas y químicas de la varilla de cobre y tungsteno

Como material compuesto único, las varillas de cobre-tungsteno obtienen sus propiedades físicas y químicas de la combinación perfecta entre la alta resistencia al calor y al desgaste del tungsteno y la excelente conductividad eléctrica y térmica del cobre. Este material, que evoca la armoniosa unión de la naturaleza entre la roca dura y la suave corriente, no solo desempeña un papel clave en el encapsulado electrónico, los contactos eléctricos y los disipadores de calor, sino que también demuestra una notable adaptabilidad en equipos aeroespaciales y eléctricos de alta tensión. Estas propiedades no se suman, sino que forman una ventaja integral gracias al ingenioso diseño de su microestructura, que permite que las varillas de cobre-tungsteno mantengan la estabilidad y un alto rendimiento en condiciones extremas. Este capítulo comenzará con las propiedades físicas básicas y profundizará gradualmente en las propiedades mecánicas, químicas y microestructurales.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Mediante una descripción y un análisis detallados, se revelarán los mecanismos subyacentes, los factores que influyen y las aplicaciones prácticas de estas propiedades, ayudando al lector a comprender plenamente cómo las varillas de cobre-tungsteno se han convertido en un aliado fiable en la industria moderna.

4.1 Propiedades físicas básicas de la varilla de cobre y tungsteno

Las propiedades físicas fundamentales de las varillas de cobre-tungsteno constituyen la base de sus aplicaciones. Estas propiedades, al igual que la estructura inherente del material, determinan su rendimiento en condiciones de temperatura, campos eléctricos y entornos térmicos. La adición de tungsteno proporciona mayor estabilidad y densidad, mientras que el cobre proporciona una excelente conductividad. Ambos se complementan para formar un sistema equilibrado y eficiente. Estas propiedades físicas suelen ser la consideración principal al diseñar y utilizar varillas de cobre-tungsteno, ya que influyen directamente en la durabilidad y compatibilidad del material.

4.1.1 Densidad y gravedad específica de la varilla de cobre y tungsteno

La densidad de las varillas de cobre-tungsteno es una de sus propiedades físicas más fundamentales y cruciales, ya que refleja la compacidad y la distribución del peso de los componentes internos del material. A medida que aumenta el contenido de tungsteno, la densidad también lo hace, lo que las convierte en excelentes para aplicaciones que requieren gran masa, como componentes de contrapeso en instrumentos de precisión o materiales de protección contra la radiación. Esta densidad permite que el material soporte mayor peso en un espacio limitado, evitando problemas de diseño que requieren un volumen excesivo. También mejora la estabilidad del material, evitando que se desplace por vibración o movimiento a alta velocidad. En la práctica, las varillas de cobre-tungsteno de alta densidad se utilizan a menudo en sistemas de contrapeso en aviación, proporcionando un equilibrio inercial fiable sin sacrificar otras propiedades del material. La gravedad específica, como medida de la densidad relativa al agua, acentúa aún más esta percepción de peso y es especialmente útil para calcular el consumo de material o evaluar los costes de envío. En general, la densidad y la gravedad específica optimizadas convierten a las varillas de cobre-tungsteno en la opción ideal para aplicaciones sensibles al peso que requieren un alto rendimiento. Al ajustar la relación tungsteno-cobre, se pueden adaptar de forma flexible para satisfacer diversos requisitos, evitando las dificultades de procesamiento asociadas con una densidad excesivamente alta o la resistencia insuficiente asociada con una densidad demasiado baja.

4.1.2 Punto de fusión y estabilidad térmica de la varilla de cobre y tungsteno

Las características del punto de fusión de las varillas de cobre-tungsteno heredan la extrema resistencia térmica del tungsteno, lo que permite que el material mantenga su integridad en entornos de alta temperatura, como una fortaleza que resiste la prueba del fuego. El alto punto de fusión del tungsteno eleva significativamente el límite superior de la resistencia térmica general del material. Incluso a temperaturas cercanas al punto de fusión del cobre, la varilla de cobre-tungsteno no se ablanda ni se deforma fácilmente. Esta estabilidad térmica es especialmente destacada en aplicaciones de descarga de arco o soldadura a alta temperatura, donde puede soportar choques térmicos transitorios y evitar el colapso de la estructura interna del material, prolongando así su vida útil. Bajo exposición prolongada a altas temperaturas, la estabilidad térmica de las varillas de cobre-

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

tungsteno también se refleja en la durabilidad de su estructura de fases, sin transformación cristalina significativa ni descomposición térmica. Esto las hace adecuadas para aplicaciones que implican altas temperaturas sostenidas, como componentes de motores de aeronaves o disipadores de calor electrónicos. A través de sofisticados procesos compuestos, esta estabilidad se puede mejorar aún más, permitiendo que la varilla de cobre y tungsteno funcione con facilidad en entornos térmicos extremos, como un guerrero que no teme al fuego, protegiendo el funcionamiento normal del equipo.

4.1.3 Coeficiente de expansión térmica y conductividad térmica de la varilla de cobre y tungsteno

El coeficiente de expansión térmica (CTE) es un regulador clave de la capacidad de las varillas de cobre-tungsteno para soportar fluctuaciones de temperatura. La baja expansión del tungsteno define el rendimiento general del material, permitiéndole mantener una relativa estabilidad dimensional durante los ciclos térmicos, previniendo la concentración de tensiones y la formación de grietas causadas por la expansión diferencial. Esta característica, similar a la flexibilidad de un puente durante los cambios estacionales, es especialmente adecuada para aplicaciones que involucran cerámica, vidrio o materiales semiconductores. Por ejemplo, en el encapsulado de microelectrónica, las varillas de cobre-tungsteno se adaptan perfectamente al chip, previniendo fallos causados por tensión térmica. La conductividad térmica, debida principalmente a la excelente capacidad de transferencia de calor del cobre, permite que las varillas de cobre-tungsteno actúen como eficientes tubos de calor, disipando rápidamente el calor de la fuente de calor al entorno circundante, evitando así el sobrecalentamiento localizado. En dispositivos láser de alta potencia o semiconductores de potencia, esta conductividad térmica garantiza temperaturas de funcionamiento estables y reduce el riesgo de fallo térmico. El efecto sinérgico del CTE y la conductividad térmica hace que las varillas de cobre-tungsteno sean únicas en el campo de la gestión térmica. No solo resisten las fluctuaciones de temperatura, sino que también regulan activamente el flujo de calor, logrando una transferencia de energía eficiente y un equilibrio de disipación de calor.

4.1.4 Conductividad y resistividad de la varilla de cobre y tungsteno

La conductividad eléctrica es la principal ventaja de las varillas de cobre-tungsteno en aplicaciones eléctricas. La red continua de fases de cobre actúa como una autopista eficiente, proporcionando una ruta conductora fluida para la corriente eléctrica. Si bien la adición de tungsteno aumenta ligeramente la resistividad, mejora significativamente la resistencia al arco eléctrico y la estabilidad general del material. Este diseño equilibrado hace que las varillas de cobre-tungsteno sean excelentes para contactos eléctricos de alta tensión o aparamenta, permitiendo el paso fluido de altas corrientes a la vez que resisten los daños causados por la erosión del arco eléctrico. En aplicaciones prácticas, las propiedades eléctricas de las varillas de cobre-tungsteno las convierten en un material de electrodo predilecto, capaz de manejar señales de alta frecuencia o alta potencia sin generar calor excesivo ni degradar la señal. La variación flexible de la resistividad en función del contenido de tungsteno permite aplicaciones personalizadas, como la reducción del contenido de tungsteno en conductores que requieren baja resistencia o su aumento en contactos eléctricos resistentes al desgaste para prolongar su vida útil. En general, la conductividad y la resistividad optimizadas hacen que las varillas de cobre-tungsteno sean muy adecuadas para el campo eléctrico, equilibrando la eficiencia de conducción con la fiabilidad a largo plazo.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

4.2 Propiedades mecánicas de la varilla de cobre y tungsteno

Las propiedades mecánicas de las varillas de cobre-tungsteno garantizan su fiabilidad en entornos de tensión mecánica. Estas propiedades combinan la rigidez del tungsteno con la flexibilidad del cobre, creando una varilla de tungsteno que, como un guerrero, resiste el desgaste, el impacto y la deformación. Estas características permiten que el material brille en aplicaciones dinámicas, soportando no solo cargas estáticas, sino también constantes exigencias mecánicas.

4.2.1 Dureza y resistencia de la varilla de cobre y tungsteno

La dureza es una manifestación destacada de las propiedades mecánicas de las varillas de cobre-tungsteno. La distribución uniforme de las partículas de tungsteno actúa como una estructura robusta, mejorando la resistencia del material a la presión externa y haciéndolo menos susceptible al rayado o la deformación en entornos de alta presión o fricción. Esta característica de dureza es particularmente útil en moldes y herramientas de corte, ya que mantiene los bordes afilados y prolonga su vida útil. La resistencia se refleja en su rendimiento bajo tensión, compresión y flexión. La adición de tungsteno aumenta significativamente la resistencia a la tracción del material, permitiendo que la varilla de cobre-tungsteno mantenga la integridad estructural bajo carga y evite fracturas repentinas. En edificios o componentes mecánicos, esta resistencia actúa como soporte de vigas y columnas, garantizando la seguridad y la fiabilidad. Mediante procesos de fabricación avanzados, estas propiedades pueden mejorarse aún más, permitiendo que las varillas de cobre-tungsteno se adapten a entornos industriales aún más exigentes, como una fortaleza indestructible.

4.2.2 Ductilidad y tenacidad de la varilla de cobre y tungsteno

La ductilidad proviene de la naturaleza flexible de la fase de cobre, que permite que la varilla de cobre-tungsteno se deforme ligeramente bajo tensión sin romperse inmediatamente, lo que contrasta marcadamente con la fragilidad del tungsteno puro, lo que facilita su procesamiento y conformación. Durante el estiramiento o la flexión, esta ductilidad actúa como un amortiguador elástico para el material, absorbiendo parte de la energía y previniendo fallas catastróficas. La tenacidad refleja la capacidad del material para absorber la energía del impacto. En un entorno de vibración o colisión, la varilla de cobre-tungsteno puede amortiguar las fuerzas externas y mantener la integridad general. Esta propiedad desempeña un papel clave en piezas de automóviles o equipos vibratorios, permitiendo que el material permanezca duradero bajo tensión repetida y evite daños causados por la acumulación de fatiga. Al optimizar la interfaz de cobre-tungsteno, se pueden mejorar aún más la ductilidad y la tenacidad, permitiendo que la varilla de cobre-tungsteno tenga un buen rendimiento en aplicaciones dinámicas.

4.2.3 Resistencia al desgaste y al impacto de la varilla de cobre y tungsteno

La resistencia al desgaste actúa como capa protectora para las varillas de cobre-tungsteno en entornos de fricción. La fase dura del tungsteno, al igual que el diamante, resiste la erosión causada por partículas de desgaste, lo que prolonga significativamente la vida útil del material. En maquinaria de alta velocidad o entornos sometidos a un desgaste intenso, esta resistencia al desgaste garantiza una superficie lisa y duradera, y previene la degradación del rendimiento. La resistencia al impacto se logra mediante el mecanismo de dispersión de energía de la estructura compuesta, donde las fuerzas de impacto se absorben uniformemente en la interfaz tungsteno-cobre, evitando

daños localizados. Esta propiedad actúa como un amortiguador, protegiendo el material de colisiones o caídas. La combinación de resistencia al desgaste y al impacto convierte a las varillas de cobre-tungsteno en una opción fiable para equipos militares o herramientas industriales pesadas, capaces de soportar rigurosas pruebas sin perder su funcionalidad.

4.3 Propiedades químicas de la varilla de cobre y tungsteno

Las propiedades químicas de las varillas de cobre-tungsteno determinan su rendimiento en entornos químicos corrosivos o de alta temperatura. Estas propiedades actúan como el "sistema inmunitario" del material, resistiendo la corrosión externa y garantizando estabilidad y seguridad a largo plazo.

4.3.1 Resistencia a la oxidación y corrosión de la varilla de cobre y tungsteno

La resistencia a la oxidación es particularmente importante en aire a alta temperatura. La capa de óxido estable del tungsteno actúa como una película protectora, retardando la oxidación de la fase de cobre y manteniendo la integridad del material en ambientes abrasadores. Esta capacidad antioxidante hace que las varillas de cobre-tungsteno sean adecuadas para hornos o sistemas de escape, previniendo una degradación rápida. La resistencia a la corrosión destaca en ambientes ácidos, alcalinos o húmedos. Las varillas de cobre-tungsteno resisten la erosión de una amplia gama de medios químicos, como un guardián imperturbable ante los elementos. En tuberías químicas o equipos marinos, esta característica prolonga la vida útil y reduce los requisitos de mantenimiento. El tratamiento superficial puede mejorar aún más estas propiedades, permitiendo que el material resista condiciones químicas severas.

4.3.2 Estabilidad química a alta temperatura de la varilla de cobre y tungsteno

La estabilidad química a altas temperaturas permite que las varillas de cobre-tungsteno permanezcan inertes en gases calientes o medios fundidos. La inercia química del tungsteno previene reacciones indeseadas o la descomposición. Esta estabilidad actúa como una fuerza estabilizadora en un horno, garantizando un funcionamiento fiable en reactores o sensores de alta temperatura y previniendo fallos causados por cambios de fase. En metalurgia y energía, esta propiedad facilita el funcionamiento sostenido a altas temperaturas y mantiene la estructura y función del material.

4.3.3 Compatibilidad de la varilla de cobre y tungsteno con otros metales

La compatibilidad con otros metales es otra gran ventaja de las varillas de cobre-tungsteno. Pueden formar fácilmente una interfaz estable con aluminio, acero o níquel, evitando la separación o corrosión interfacial. Esta compatibilidad actúa como un puente, conectando materiales diferentes y desempeña un papel importante en estructuras compuestas como los conectores electrónicos, garantizando la estabilidad de todo el sistema. Durante la soldadura o la aleación, esta característica simplifica el proceso y mejora la eficiencia.

4.4 Microestructura y características organizativas de la varilla de cobre y tungsteno

La microestructura es el "modelo interno" del rendimiento de las varillas de cobre-tungsteno. Revela la distribución, la unión y la evolución de la fase de cobre-tungsteno. Estas características, al igual que el ADN del material, determinan el rendimiento de las propiedades macroscópicas.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

4.4.1 Estructura cristalina y composición de fases de la varilla de cobre y tungsteno

La estructura cristalina se compone principalmente de la red cúbica centrada en el cuerpo del tungsteno y la red cúbica centrada en las caras del cobre, cada una de las cuales existe independientemente para formar un sistema de pseudoaleación. Esta estructura permite que el material posea tanto la rigidez del tungsteno como la flexibilidad del cobre, asemejando dos estructuras arquitectónicas armoniosas al microscopio. La composición de las fases se asemeja a un rompecabezas preciso, donde la fase de tungsteno proporciona una estructura sólida y la fase de cobre rellena los huecos, asegurando el equilibrio general.

4.4.2 Características de distribución de las fases de tungsteno y cobre

La fase de tungsteno se distribuye uniformemente dentro de la matriz de cobre, como estrellas salpicando el cielo nocturno, evitando agrupaciones localizadas e irregularidades. Esta distribución garantiza un rendimiento constante, mientras que la fase de cobre forma una red continua que mejora la trayectoria conductora. Esta uniformidad se logra mediante el control del proceso durante la fabricación, lo que da como resultado un material con una armonía perfecta a escala microscópica.

4.4.3 Mecanismo de unión de la interfaz y análisis de la microestructura

El mecanismo de unión interfacial se basa principalmente en el enclavamiento mecánico y la difusión microscópica, lo que resulta en una conexión firme entre las aleaciones de tungsteno y cobre, sin capas de compuestos que interfieran significativamente. El análisis microestructural revela una interfaz lisa y resistente con una estructura uniforme, similar al engrane de engranajes de precisión, lo que garantiza una transferencia eficiente de energía y tensión. La microscopía electrónica revela esta estructura, revelando la fuente de la resistencia inherente del material.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Capítulo 5 Principales campos de aplicación de la varilla de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, la varilla de cobre-tungsteno combina la alta resistencia y resistencia a altas temperaturas del tungsteno con la excelente conductividad eléctrica y térmica del cobre, lo que la hace ampliamente utilizada en diversos campos de alta tecnología. Sus propiedades físicas y químicas únicas le permiten mantener la estabilidad y la fiabilidad en entornos operativos exigentes, cumpliendo con los exigentes requisitos de industrias como la eléctrica y electrónica, la aeroespacial y de defensa, la fabricación de maquinaria y la gestión térmica. Este capítulo explorará en detalle las aplicaciones de la varilla de cobre-tungsteno en la eléctrica y electrónica, la aeroespacial y de defensa, la maquinaria y los moldes, la gestión térmica y otros campos emergentes, centrándose en sus funciones, ventajas, desafíos y requisitos técnicos. Mediante descripciones profesionales y detalladas, se aclarará su importante posición en la industria moderna.

5.1 Electricidad y electrónica

Las varillas de cobre-tungsteno tienen importantes aplicaciones en los campos eléctrico y electrónico, principalmente debido a su alta conductividad eléctrica, excelente resistencia a la erosión por arco eléctrico y buena estabilidad térmica. Estas propiedades las convierten en la opción ideal para contactos eléctricos de alta tensión, componentes de interruptores y electrodos, y se utilizan ampliamente en la transmisión y distribución de energía, así como en el encapsulado microelectrónico.

En equipos eléctricos de alta tensión, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan a menudo como materiales de contacto eléctrico. La fase de cobre proporciona una ruta de corriente de baja resistencia, lo que garantiza una transmisión eficiente de la corriente, mientras que su alto punto de fusión y dureza resisten eficazmente la ablación por alta temperatura y el desgaste mecánico causado por la formación de arcos eléctricos. En interruptores automáticos y cuadros de distribución de alta tensión, los contactos de varilla de cobre-tungsteno pueden soportar frecuentes operaciones de conmutación y mantener un rendimiento estable a largo plazo. Por ejemplo, en sistemas de distribución eléctrica, los contactos de varilla de cobre-tungsteno facilitan la apertura y el cierre rápidos, lo que reduce la pérdida de energía y los daños superficiales causados por la formación de arcos eléctricos, prolongando así la vida útil del equipo. Además, sus propiedades antiadherentes garantizan que los contactos no se suelden bajo descargas eléctricas de alta corriente, lo que mejora la seguridad del sistema.

En el campo de la electrónica, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan ampliamente como electrodos y conectores en encapsulados microelectrónicos. Su coeficiente de expansión térmica es muy similar al de los materiales semiconductores (como el silicio y el arseniuro de galio), lo que reduce eficazmente la concentración de tensiones y la formación de grietas causadas por la expansión diferencial durante los ciclos térmicos. Esta propiedad es especialmente importante en el encapsulado de circuitos integrados de alta potencia y amplificadores de potencia. Como material de sustrato o electrodo, las varillas de cobre-tungsteno garantizan una conexión fiable entre el chip y el sustrato, a la vez que permiten una transmisión eficiente de la señal gracias a la alta conductividad eléctrica de la fase de cobre. Además, su excelente conductividad térmica facilita una

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

rápida disipación del calor, evitando fallos del chip por sobrecalentamiento, lo que las hace adecuadas para dispositivos electrónicos de alto rendimiento como sistemas de radar y módulos de comunicación.

Las varillas de cobre-tungsteno también son destacadas por su uso en electrodos para electroerosión (EDM). Su alta dureza y resistencia al desgaste garantizan que los electrodos mantengan su precisión de forma durante el mecanizado, mientras que su excelente conductividad eléctrica favorece un rendimiento de descarga estable. Estas características las hacen excelentes para la fabricación de moldes de precisión y el mecanizado de piezas complejas, permitiendo el mecanizado de materiales de alta dureza como aleaciones de titanio y carburo cementado.

5.2 Industria aeroespacial y de defensa

Las varillas de cobre-tungsteno se utilizan en las industrias aeroespacial y de defensa debido a su alta densidad, resistencia a altas temperaturas y resistencia al impacto, lo que les permite mantener la integridad estructural y la fiabilidad funcional en entornos extremos. Estas propiedades las convierten en un material ideal para componentes de motores de cohetes, buscadores de misiles y materiales de penetración de blindaje.

En el sector aeroespacial, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan a menudo para fabricar revestimientos de garganta y componentes de protección térmica para toberas de motores de cohetes. Su alto punto de fusión y estabilidad térmica pueden soportar la erosión de gases a alta temperatura y alta presión en la cámara de combustión, evitando la fusión o ablación del material. La alta conductividad térmica de la fase de cobre disipa rápidamente el calor de las zonas de alta temperatura, evitando el sobrecalentamiento local y garantizando la estabilidad de la tobera durante el funcionamiento a largo plazo. Además, la alta densidad de las varillas de cobre-tungsteno les confiere ventajas únicas en los sistemas de contrapeso de naves espaciales, utilizados para ajustar el centro de gravedad de la aeronave y garantizar la precisión del lanzamiento y la operación orbital. Por ejemplo, en los sistemas de control de actitud de satélites, los contrapesos de varillas de cobre-tungsteno pueden proporcionar un equilibrio inercial estable y cumplir con los requisitos dinámicos de alta precisión.

En la industria de defensa, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan para fabricar núcleos de proyectiles perforantes y componentes de contacto eléctrico. Su alta densidad y dureza les permiten penetrar materiales de blindaje resistentes, mientras que la tenacidad de la fase de cobre mejora la resistencia al impacto del núcleo y reduce el riesgo de fractura. Además, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan como materiales de electrodos en equipos electrónicos militares, manteniendo la estabilidad bajo condiciones de pulsos de alta potencia y haciéndolas aptas para radares y sistemas de contramedidas electrónicas. La resistencia a la corrosión y la estabilidad a altas temperaturas del material garantizan su fiabilidad en entornos hostiles del campo de batalla, como altas temperaturas, alta humedad y niebla salina.

5.3 Industria de maquinaria y moldes

La aplicación de la varilla de cobre-tungsteno en la industria de maquinaria y moldes se basa

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

principalmente en su alta dureza, resistencia al desgaste y buen rendimiento de procesamiento. Es adecuada para la fabricación de moldes de alta precisión, herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste. Estas características le permiten un buen rendimiento en entornos de alta carga y fricción, prolongando la vida útil de equipos y herramientas.

En la fabricación de moldes, las varillas de cobre tungsteno se utilizan a menudo para crear matrices de electroerosión y estampación. Su alta dureza resiste el desgaste y la deformación durante el mecanizado, garantizando la precisión dimensional y la calidad superficial. La conductividad eléctrica de la fase de cobre facilita una descarga eficiente de la electroerosión, lo que la hace adecuada para el mecanizado de geometrías complejas, como componentes aeroespaciales y dispositivos médicos. Además, la alta conductividad térmica de la varilla facilita una rápida disipación del calor, reduciendo el agrietamiento por fatiga térmica durante el funcionamiento continuo del molde y mejorando la eficiencia de la producción.

En la industria de herramientas de corte, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan como materiales o insertos para herramientas. Su resistencia al desgaste y al impacto les permite cortar materiales de alta dureza, como acero inoxidable y aleaciones de titanio, manteniendo el filo y la vida útil de la herramienta. Además, la tenacidad de la fase de cobre reduce el riesgo de fractura frágil, lo que las hace más competitivas en el corte a alta velocidad y el mecanizado de cargas pesadas. En moldes de inyección y fundición a presión, la resistencia a altas temperaturas y al choque térmico de las varillas de cobre-tungsteno garantiza la estabilidad del molde durante ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento, reduciendo el agrietamiento y la deformación superficial.

5.4 Dispositivos de gestión térmica y disipación de calor

La aplicación de la varilla de cobre-tungsteno en el campo de la gestión térmica y dispositivos de disipación de calor se beneficia de su excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica, lo que la convierte en una opción ideal para dispositivos electrónicos de alta potencia y materiales disipadores de calor. La alta potencia... La densidad de los dispositivos electrónicos modernos impone mayores exigencias al rendimiento de disipación del calor, y la varilla de cobre y tungsteno ha demostrado excelentes capacidades en este campo.

En dispositivos electrónicos de alta potencia, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan a menudo como sustratos y materiales disipadores de calor. Su alta conductividad térmica les permite transferir rápidamente el calor generado por chips o láseres al exterior, evitando así el sobrecalentamiento que podría provocar una degradación del rendimiento o fallos del dispositivo. Por ejemplo, en diodos láser y amplificadores de potencia, los disipadores de calor de varillas de cobre-tungsteno reducen eficazmente las temperaturas de funcionamiento, mejorando la fiabilidad y la vida útil del dispositivo. Su bajo coeficiente de expansión térmica, compatible con materiales semiconductores, reduce la tensión térmica y garantiza la integridad estructural durante el funcionamiento a largo plazo.

En vehículos de nuevas energías y equipos de comunicaciones 5G, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan en la fabricación de sistemas de gestión de baterías y módulos de refrigeración para

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

estaciones base. Su alta conductividad térmica facilita una gestión térmica eficiente, evitando el sobrecalentamiento de la batería o fallos térmicos en los procesadores de señal. Además, su alta resistencia y resistencia a la corrosión permiten un uso prolongado en entornos húmedos o de alta temperatura, satisfaciendo las necesidades de los equipos de exterior. En la fabricación de tubos de calor e intercambiadores de calor, su conductividad térmica y estabilidad mecánica mejoran aún más la eficiencia del sistema, lo que las hace ideales para centros de datos y sistemas de refrigeración industriales.

5.5 Otras áreas de aplicación

Además de los campos principales mencionados, las varillas de cobre-tungsteno también muestran potencial en muchos campos emergentes y especializados. Su versatilidad ha ampliado continuamente su rango de aplicación.

En el campo médico, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan para fabricar componentes de blindaje y colimadores para equipos de radioterapia. Su alta densidad protege eficazmente contra los rayos X y gamma, protegiendo a los pacientes y al personal médico de los daños causados por la radiación, mientras que sus propiedades de procesamiento facilitan la fabricación de formas complejas. Además, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan como electrodos o disipadores de calor en equipos de imagenología médica, mejorando su rendimiento y estabilidad.

En el sector de las energías renovables, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan como componentes de contacto eléctrico en sistemas de generación de energía fotovoltaica y eólica. Su alta conductividad y resistencia al desgaste favorecen una transmisión de corriente eficiente, mientras que su resistencia a la corrosión garantiza una fiabilidad duradera en exteriores. Por ejemplo, en inversores solares, las varillas de cobre-tungsteno sirven como materiales de conexión, capaces de soportar las altas corrientes y las frecuentes conmutaciones.

En la investigación científica, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan a menudo como componentes en dispositivos experimentales de alta temperatura y aceleradores de partículas. Su alta resistencia a la temperatura y al impacto les permite soportar condiciones experimentales extremas, como entornos de plasma de alta temperatura o impactos de partículas de alta energía. Además, su conductividad eléctrica y térmica facilita la transmisión de señales y la gestión del calor en equipos experimentales de precisión.

En los sectores del deporte y el entretenimiento, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan para fabricar equipos deportivos de alta precisión, como pesas para palos de golf. Su alta densidad permite una distribución ideal del peso en un volumen reducido, mejorando el equilibrio y el manejo del equipo. Si bien esta aplicación es de nicho, demuestra el potencial de las varillas de cobre-tungsteno en aplicaciones no industriales.

En resumen, las varillas de cobre-tungsteno, con sus excelentes propiedades integrales, presentan amplias posibilidades de aplicación en los sectores eléctrico y electrónico, aeroespacial y de defensa, maquinaria y moldes, gestión térmica y otros campos emergentes. Su combinación de alta

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

conductividad, resistencia a altas temperaturas y resistencia mecánica les permite soportar entornos operativos complejos y exigentes, lo que contribuye de forma fiable al desarrollo de la industria y la tecnología modernas. Con los avances en la ciencia de los materiales, se prevé una mayor expansión de las áreas de aplicación de las varillas de cobre-tungsteno, aportando soluciones innovadoras a un número aún mayor de industrias.



Capítulo 6 Equipos de producción y control de procesos de varillas de cobre y tungsteno

La producción de varillas de cobre-tungsteno es un proceso complejo de pulvimetalurgia que comprende múltiples etapas clave, como la preparación del polvo, el conformado, la sinterización, la infiltración al vacío, el posprocesamiento y la inspección de calidad. Cada etapa requiere equipos de producción sofisticados y un estricto control del proceso para garantizar la estabilidad y consistencia de las propiedades del material. El diseño y la operación de los equipos de producción determinan directamente la microestructura, las propiedades físicas y la calidad final de las varillas de cobre-tungsteno, mientras que el control del proceso logra una alta eficiencia y una baja tasa de defectos mediante una gestión precisa de los parámetros. Este capítulo detallará los principales equipos involucrados en el proceso de producción de varillas de cobre-tungsteno y sus funciones. En combinación con los puntos clave del control del proceso, analizará la selección de equipos, los requisitos operativos y las estrategias de optimización para brindar orientación técnica para la producción industrial.

6.1 Equipo de preparación y formación de polvo

Los equipos de preparación y conformado de polvo son fundamentales para la producción de varillas de cobre-tungsteno. Se utilizan para preparar polvo de tungsteno de alta pureza y polvo de cobre electrolítico y prensarlos para formar piezas preformadas. Estos equipos deben garantizar la pureza del polvo, la distribución granulométrica y la uniformidad de las piezas formadas, sentando las bases para la sinterización y la infiltración posteriores.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Los equipos de preparación de polvo incluyen principalmente hornos de reducción de hidrógeno y sistemas de refinación electrolítica. El horno de reducción de hidrógeno se utiliza para preparar polvo de tungsteno de alta pureza a partir de tungstato o trióxido de tungsteno. Generalmente, se trata de un horno tubular o rotatorio, equipado con un sistema de control de temperatura preciso y un dispositivo de suministro de hidrógeno. La temperatura en el horno está claramente dividida, y la reducción primaria y la reducción secundaria se llevan a cabo en diferentes zonas de temperatura para garantizar la uniformidad del tamaño de partícula y un bajo contenido de oxígeno. El sistema de refinación electrolítica se utiliza para producir polvo de cobre electrolítico. Incluye una celda electrolítica, una placa catódica y un dispositivo de control de corriente. El sistema de circulación del electrolito garantiza la alta pureza y consistencia del polvo de cobre. Además, el clasificador de flujo de aire y la criba vibratoria controlan la distribución del tamaño de partícula del polvo. Las partículas de diferentes tamaños se separan mediante un flujo de aire de alta velocidad o una criba para garantizar que el tamaño de partícula del polvo de tungsteno y del polvo de cobre cumpla con los requisitos del proceso.

Los equipos de conformado incluyen principalmente prensas uniaxiales e isostáticas. Las prensas uniaxiales, accionadas hidráulica o mecánicamente, comprimen polvo de tungsteno (que puede mezclarse con una pequeña cantidad de polvo de cobre o un aglutinante) para formar un cuerpo verde en un molde de acero. Están equipadas con sensores de presión y sistemas de control automatizados para una aplicación precisa de la presión y el control del tiempo de retención. Las prensas isostáticas, por otro lado, aplican una presión uniforme a través de un medio líquido o gaseoso y son adecuadas para formar cuerpos verdes grandes o de formas complejas. Equipadas con una bomba de alta presión y moldes flexibles, mejoran significativamente la uniformidad de la densidad del cuerpo verde. Durante el proceso de conformado, el diseño del molde y el sistema de desmoldeo son cruciales. Se requieren materiales resistentes al desgaste y dispositivos de lubricación para evitar defectos superficiales o adherencias.

En cuanto al control de procesos, la preparación del polvo requiere una estricta monitorización de la atmósfera reductora, el gradiente de temperatura y la composición del electrolito para garantizar una pureza del polvo superior al 99,95 % y una distribución del tamaño de partícula dentro del rango de 1 a 5 μm . Durante el proceso de conformado, la presión, la adición de aglutinante y la velocidad de desmoldeo deben ajustarse con precisión para evitar grietas en el cuerpo verde o gradientes de densidad. El mantenimiento y la limpieza de los equipos también son cruciales para prevenir la contaminación por impurezas o el desgaste del equipo que podrían afectar la calidad del polvo.

6.2 Equipos de sinterización al vacío y preparación de preformas

Los equipos de sinterización al vacío y preparación de preformas se utilizan para transformar el cuerpo verde prensado en un esqueleto de tungsteno poroso con la porosidad y resistencia adecuadas, lo que proporciona la base estructural para la posterior infiltración al vacío. Estos equipos deben contar con un control de temperatura y una gestión atmosférica de alta precisión para garantizar la estabilidad del proceso de sinterización y la uniformidad del esqueleto.

El horno de sinterización al vacío es el equipo principal, que generalmente utiliza calentamiento por

resistencia o inducción y está equipado con un sistema de control de temperatura multizona y un sistema de bombeo de vacío. El cuerpo del horno está construido de materiales resistentes a altas temperaturas (como acero inoxidable o cuarzo) y está equipado con elementos de calentamiento de grafito o molibdeno, lo que permite la sinterización a alta temperatura a temperaturas de 1200-1600 °C. El sistema de bombeo de vacío, que consta de una bomba mecánica y una bomba de difusión, mantiene un nivel de vacío por debajo de 10^{-3} Pa dentro del horno, lo que evita la oxidación y facilita la descarga de gases. Algunos hornos de sinterización admiten la sinterización en atmósfera de hidrógeno y están equipados con un sistema de suministro de hidrógeno y tratamiento de gases de escape para reducir los óxidos superficiales y mejorar la eficiencia de la unión de partículas. El diseño de calentamiento multizona garantiza un campo de temperatura uniforme, minimizando la deformación del cuerpo verde y la sobrecombustión localizada.

La preparación de la preforma también puede incluir equipos auxiliares como un horno de desaglomerado y un sistema de tratamiento de poros. El horno de desaglomerado elimina los aglutinantes (como el alcohol polivinílico) del cuerpo verde prensado. Mediante el calentamiento a bajas temperaturas (400-600 °C) en atmósfera protectora, descompone la materia orgánica para evitar la presencia de carburos residuales que podrían afectar la calidad de la preforma. El sistema de tratamiento de poros permite añadir y eliminar poros temporales (como el bicarbonato de amonio) y controlar la porosidad mediante una dosificación precisa y un tratamiento térmico.

En el control de procesos, la temperatura de sinterización, el tiempo de mantenimiento y la velocidad de calentamiento son parámetros clave. La temperatura debe aumentarse gradualmente para evitar el agrietamiento por tensión térmica en el cuerpo verde; el tiempo de mantenimiento se controla entre 2 y 4 horas para asegurar una fuerte conexión entre las partículas. La monitorización en tiempo real del nivel de vacío o del flujo de hidrógeno previene la oxidación y la introducción de impurezas. La porosidad se controla optimizando la proporción de tamaño de partícula del polvo y los parámetros de sinterización, buscando una porosidad conectada del 20 al 40 % para facilitar la posterior infiltración de cobre.

6.3 Equipo de infiltración por vacío

El equipo de infiltración al vacío es fundamental en la producción de varillas de cobre y tungsteno, ya que se encarga de infiltrar el cobre fundido en el esqueleto poroso de tungsteno para formar un material compuesto denso. Este equipo debe ofrecer un alto rendimiento de vacío, un control preciso de la temperatura y un entorno operativo estable para garantizar un llenado uniforme de cobre y evitar defectos.

Un horno de infiltración al vacío generalmente consta de una cámara de vacío, un sistema de calentamiento, una bomba de vacío y un sistema de enfriamiento. La cámara de vacío está construida con materiales resistentes a altas temperaturas y contiene un crisol de grafito para alojar la preforma de tungsteno y el bloque de cobre. El sistema de calentamiento suele utilizar calentamiento por inducción de frecuencia media, capaz de elevar rápidamente la temperatura a 1100-1300 °C, lo que garantiza la fusión completa y la fluidez adecuada del cobre fundido. La bomba de vacío, que incluye bombas Roots y moleculares, mantiene una presión de vacío inferior a 10^{-3} Pa, eliminando

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

la resistencia del gas y promoviendo la infiltración espontánea del cobre. El sistema de enfriamiento utiliza agua o aire para controlar la velocidad de enfriamiento y prevenir el agrietamiento causado por la tensión térmica. Algunos equipos avanzados están equipados con un sistema de asistencia de gas de alta presión, que utiliza gases inertes (como el argón) para aplicar presión adicional y aumentar la profundidad de penetración.

El proceso de operación del horno de infiltración consta de cuatro etapas: precalentamiento, fusión, infiltración y enfriamiento. La etapa de precalentamiento calienta la preforma de tungsteno a 1000-1100 °C para eliminar los gases adsorbidos en la superficie. La etapa de fusión calienta el bloque de cobre por encima de su punto de fusión, permitiendo que el cobre fundido penetre en el esqueleto por capilaridad y presión de vacío. La etapa de mantenimiento asegura que el cobre fundido llene completamente los poros. La etapa de enfriamiento utiliza un enfriamiento programado para evitar defectos estructurales. El equipo debe estar equipado con sensores de temperatura de alta precisión y sistemas de monitoreo de vacío para proporcionar información en tiempo real sobre los parámetros del proceso.

En el control de procesos, la temperatura de infiltración del cobre, el nivel de vacío y el tiempo de mantenimiento son cruciales. La temperatura debe ser superior al punto de fusión del cobre, pero inferior a la temperatura de recristalización del tungsteno para evitar la volatilización del cobre o el engrosamiento del grano esquelético. El nivel de vacío debe mantenerse constante para evitar la formación de burbujas o reacciones de oxidación. La dinámica de infiltración se ve influenciada por el tamaño de poro y la mojabilidad, y debe optimizarse mediante el diseño de preformas y la adición de agentes humectantes (como trazas de cromo). En cuanto al mantenimiento de los equipos, la inspección regular de los crisoles y elementos calefactores es crucial para evitar la contaminación del material o la disminución de la eficiencia térmica.

6.4 Equipos de posprocesamiento y mecanizado

Los equipos de posprocesamiento y mecanizado se utilizan para eliminar la tensión residual durante el proceso de preparación, ajustar las propiedades del material y lograr un conformado dimensional preciso. Estos equipos deben ser de alta precisión y resistencia al desgaste para soportar la alta dureza y las propiedades compuestas de las varillas de cobre-tungsteno.

Los equipos de posprocesamiento incluyen principalmente hornos de tratamiento térmico y hornos de recocido. Los hornos de tratamiento térmico utilizan una atmósfera de hidrógeno o vacío, manteniendo temperaturas entre 800 °C y 1000 °C durante 1 a 3 horas para eliminar las tensiones residuales generadas durante la infiltración y el enfriamiento, mejorando así la tenacidad del material. Los hornos de recocido utilizan calentamiento multietapa y enfriamiento lento para optimizar la estructura cristalina y reducir los defectos internos. El equipo está equipado con un sistema preciso de control de temperatura y un dispositivo de circulación de atmósfera para garantizar la uniformidad y la seguridad durante el proceso de tratamiento térmico.

Los equipos de mecanizado incluyen tornos CNC, fresadoras, rectificadoras y máquinas de electroerosión (EDM). Los tornos CNC y las fresadoras se utilizan para el desbaste y el acabado,

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

equipados con herramientas de diamante o carburo para adaptarse a la alta dureza de las varillas de cobre-tungsteno. Las velocidades de corte y los avances deben controlarse estrictamente para evitar el sobrecalentamiento o el daño superficial. Las rectificadoras se utilizan para lograr un alto acabado superficial ($Ra < 0,2 \mu m$) y procesar formas complejas mediante un sistema de enlace multieje. Las máquinas de electroerosión son adecuadas para el procesamiento de moldes de precisión y elementos diminutos, aprovechando la conductividad inherente de las varillas de cobre-tungsteno para un mecanizado por descarga eficiente. Durante el proceso de mecanizado, el sistema de circulación de refrigerante y el dispositivo de monitorización del desgaste de la herramienta son clave para garantizar la precisión del mecanizado y la vida útil del equipo.

Durante el control de procesos, el tratamiento térmico requiere optimizar el perfil de temperatura y el tiempo de mantenimiento para evitar el sobrecalentamiento, que puede provocar la precipitación del cobre y la pérdida de resistencia. El mecanizado requiere programación CNC y medición en línea para mantener tolerancias dimensionales de 0,01 mm. La selección de herramientas y la adecuación de los parámetros de corte son cruciales para evitar microfisuras y rugosidad superficial.

6.5 Equipos de prueba y control de calidad

Se utilizan equipos de prueba y control de calidad para evaluar el rendimiento y la consistencia de las varillas de cobre-tungsteno y garantizar que los productos cumplan con los requisitos de diseño. Estos equipos abarcan análisis físicos, químicos y microestructurales durante todo el proceso de producción.

Se utilizan equipos de medición de densidad, como un densitómetro de Arquímedes y un escáner de rayos X, para evaluar la densidad y la porosidad del material, garantizando así la ausencia de áreas sin rellenar tras la infiltración. Un comprobador de conductividad térmica utiliza un método de destello láser o un método de flujo de calor para medir la conductividad térmica de las varillas de cobre-tungsteno, verificando así su capacidad de gestión térmica. Un comprobador de conductividad eléctrica mide la resistividad mediante un método de sonda de cuatro puntos para garantizar que el material cumpla con los requisitos de la aplicación eléctrica. Se utilizan equipos de ensayo de propiedades mecánicas, como una máquina de ensayo universal y un durómetro, para ensayos de tracción, compresión, flexión y dureza, respectivamente, para evaluar la resistencia y la resistencia al desgaste del material.

Los equipos de análisis microestructural incluyen microscopios electrónicos de barrido (MEB), difractómetros de rayos X (DRX) y espectroscopia de energía dispersiva (EDS). Los MEB se utilizan para observar la distribución de las fases de tungsteno y cobre, así como la unión interfacial, detectando grietas o zonas sin penetración. Los DRX analizan la estructura cristalina y la composición de las fases para garantizar la ausencia de impurezas. Los EDS examinan la distribución elemental para verificar la pureza y uniformidad del material. Los equipos de ensayos no destructivos, como los detectores de defectos ultrasónicos y los escáneres de rayos X, se utilizan para detectar defectos internos como burbujas o inclusiones, garantizando así la calidad del producto.

En el control de procesos, las pruebas deben abarcar todo el proceso, desde las materias primas hasta

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

los productos semiacabados y terminados. Se utilizan analizadores de tamaño de partículas y análisis químicos para garantizar la calidad durante la etapa de polvo. La monitorización en línea de la temperatura y el vacío durante las etapas de sinterización e infiltración controla la estabilidad del proceso. Las pruebas multidimensionales verifican la consistencia del rendimiento durante la etapa de producto terminado. Un sistema de gestión de datos registra y analiza los resultados de las pruebas, lo que permite que los métodos de control estadístico de procesos (CEP) optimicen los parámetros de producción y reduzcan la tasa de defectos.



Capítulo 7 Métodos de inspección y evaluación de calidad de varillas de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, la inspección y evaluación de calidad de las varillas de cobre-tungsteno son cruciales para garantizar su estabilidad y fiabilidad en aplicaciones como la eléctrica, la electrónica, la aeroespacial y la gestión térmica. La inspección de calidad abarca no solo un examen preliminar de la apariencia y las dimensiones, sino también una evaluación exhaustiva de las propiedades físicas, mecánicas, químicas y microestructurales. Estos métodos de inspección, que utilizan equipos sofisticados y procesos estandarizados, verifican plenamente que las varillas de cobre-tungsteno cumplan con los requisitos de diseño, identifican posibles defectos y sientan las bases para la optimización del proceso. Este capítulo explica sistemáticamente los métodos de inspección y evaluación de calidad para las varillas de cobre-tungsteno, detallando los principios técnicos, los procedimientos operativos, los requisitos de los equipos y los puntos críticos de control de cada paso de la inspección. También se realizan comparaciones con las normas internacionales de uso común, lo que proporciona una guía profesional para la producción y la aplicación.

7.1 Inspección de la apariencia y las dimensiones de la varilla de cobre y tungsteno

La inspección de apariencia y dimensiones son los primeros pasos en el control de calidad de las varillas de cobre-tungsteno. Su objetivo es garantizar que la calidad superficial y la precisión geométrica del material cumplan con las especificaciones de diseño y sentar las bases para las

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

pruebas de rendimiento posteriores. La inspección de apariencia se centra en la integridad superficial del material, buscando defectos como grietas, poros, inclusiones, depósitos de cobre o quemaduras. Estos defectos pueden deberse a un prensado desigual, defectos de sinterización o una infiltración insuficiente durante el proceso de preparación. La inspección suele realizarse visualmente con una lupa o un microscopio de baja potencia. El operador debe observar la superficie de la varilla bajo una fuente de luz brillante y uniforme para asegurarse de que no haya defectos visibles a simple vista. En el caso de varillas de cobre-tungsteno con formas complejas, se pueden utilizar endoscopios industriales para inspeccionar las superficies internas o las zonas de difícil acceso.

La inspección dimensional garantiza que los parámetros geométricos de la varilla de cobre-tungsteno (como diámetro, longitud y redondez) cumplan con los requisitos de tolerancia, generalmente utilizando herramientas de medición de alta precisión. Los micrómetros y calibradores vernier se utilizan para medir dimensiones básicas con una precisión de hasta 0,01 mm. Para requisitos de mayor precisión, una máquina de medición por coordenadas (MMC) utiliza una sonda de contacto multipunto para escanear el perfil tridimensional de la varilla y verificar si la tolerancia está dentro de los 0,005 mm. Los escáneres láser adquieren rápidamente datos del perfil de la superficie mediante un método sin contacto, lo que los hace adecuados para la inspección rápida en la producción a gran escala. La inspección dimensional también debe tener en cuenta las deformaciones menores que pueden ocurrir después del tratamiento térmico o el mecanizado, por lo que se requieren múltiples mediciones en diferentes etapas de la producción.

Durante el control de procesos, la inspección visual requiere un sistema estandarizado de clasificación de defectos. Por ejemplo, se deben establecer criterios según el tamaño y el tipo de defecto (p. ej., una longitud de grieta $<0,1$ mm es aceptable). La inspección dimensional requiere equipos de medición calibrados para garantizar la repetibilidad y la precisión, además de registrar la temperatura ambiente para corregir los efectos de la expansión térmica. La identificación temprana de defectos puede atribuirse a pasos específicos del proceso de fabricación, como una presión de prensado insuficiente o una temperatura de infiltración excesiva, lo que proporciona datos que respaldan la optimización del proceso.

7.2 Prueba de propiedades físicas de la varilla de cobre y tungsteno

Las pruebas de propiedades físicas evalúan la densidad, la conductividad térmica, la conductividad eléctrica y la expansión térmica de las varillas de cobre-tungsteno, las cuales influyen directamente en su rendimiento en aplicaciones eléctricas y de gestión térmica. Las pruebas de densidad utilizan el principio de Arquímedes, empleando una balanza electrónica de alta precisión para medir la masa de la varilla en aire y líquido. La densidad calculada se compara con los valores teóricos para evaluar la integridad de la infiltración y la porosidad. La densidad de una varilla típica de cobre-tungsteno oscila entre 11,8 y 17,0 g/cm³, dependiendo del contenido de tungsteno (50-90 % en peso). Las desviaciones de densidad pueden indicar zonas sin relleno o una distribución irregular del cobre.

Las pruebas de conductividad térmica utilizan un método de destello láser, con un equipo compuesto por un medidor de conductividad térmica láser y un dispositivo de calentamiento de muestras. La

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

muestra de varilla se calienta mediante un pulso láser y un detector infrarrojo mide la variación de la temperatura de la parte posterior a lo largo del tiempo para calcular la conductividad térmica. La conductividad térmica de las varillas de cobre-tungsteno suele oscilar entre 180 y 250 W/ m·K , dependiendo del contenido de cobre y la uniformidad microestructural. Las pruebas de conductividad eléctrica utilizan un método de sonda de cuatro puntos, que mide la resistividad mediante una fuente de corriente constante y un voltímetro, que luego se convierte en conductividad eléctrica (normalmente 30-50 % IACS). Una alta conductividad eléctrica es fundamental para aplicaciones de contacto eléctrico, mientras que la conductividad térmica determina el rendimiento del disipador de calor.

La prueba del coeficiente de expansión térmica se realiza con un analizador termomecánico (TMA). La muestra se calienta a una temperatura controlada (20-1000 °C) y se mide su expansión lineal. El coeficiente de expansión térmica de las varillas de cobre-tungsteno suele estar entre 6 y $10 \times 10^{-6} / K$, lo que se ajusta bien a los materiales semiconductores y es adecuado para el encapsulado electrónico. La prueba requiere una velocidad de calentamiento controlada (5-10 °C/min) para evitar que la tensión térmica afecte los resultados.

Durante el control de procesos, las pruebas de propiedades físicas deben garantizar una preparación consistente de las muestras, como la planitud de la superficie y la estandarización dimensional. El entorno de prueba debe tener humedad y temperatura controladas para evitar interferencias externas. Los resultados se analizan mediante métodos estadísticos (como la media y la desviación estándar) para evaluar la consistencia del lote. Los valores atípicos pueden indicar defectos del proceso, como una porosidad excesiva o una distribución desigual de la fase de cobre.

7.3 Prueba de propiedades mecánicas de la varilla de cobre y tungsteno

Las pruebas mecánicas evalúan la dureza, la resistencia, la tenacidad y la resistencia al desgaste de las varillas de cobre-tungsteno, garantizando así su fiabilidad en entornos sometidos a esfuerzos mecánicos. Las pruebas de dureza utilizan un durómetro Vickers o Brinell, que aplica una carga específica a la superficie de la varilla y mide el tamaño de la indentación. La dureza de las varillas de cobre-tungsteno aumenta con el contenido de tungsteno, generalmente entre 100 y 250 HV, lo que las hace adecuadas para aplicaciones resistentes al desgaste, como moldes y electrodos.

Las pruebas de resistencia incluyen ensayos de tracción, compresión y flexión, que se realizan utilizando una máquina de ensayos universal. Las pruebas de tracción miden la resistencia a la tracción y la elongación. La resistencia a la tracción de las varillas de cobre-tungsteno suele estar entre 500 y 800 MPa, y la elongación es baja (1-5%), lo que refleja su ductilidad limitada. Las pruebas de compresión evalúan la resistencia a la compresión y son adecuadas para contrapesos o componentes de alta presión, generalmente en el rango de 800 a 1200 MPa. La prueba de flexión de tres puntos mide la resistencia a la flexión y la tenacidad a la fractura, lo que refleja el rendimiento del material bajo cargas dinámicas. La prueba requiere el uso de muestras estándar (como las muestras de tracción especificadas en ASTM E8) y el control de la velocidad de carga para garantizar resultados precisos.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Las pruebas de resistencia al desgaste utilizan un tribómetro para medir la pérdida de masa o la profundidad de la huella de desgaste deslizando una muestra contra un abrasivo estándar (como óxido de aluminio) bajo una carga específica. Las pruebas de resistencia al impacto se realizan mediante una prueba de caída de peso o un probador de impacto Charpy para evaluar la capacidad del material para absorber la energía del impacto. La resistencia al desgaste y al impacto de las varillas de cobre-tungsteno se debe a la dureza del tungsteno y la tenacidad del cobre, lo que las hace adecuadas para entornos de corte a alta velocidad o con vibración.

Durante el control de procesos, las pruebas mecánicas deben garantizar que la superficie de la muestra esté libre de defectos, y el equipo de prueba debe calibrarse periódicamente. Los resultados de las pruebas deben combinarse con el análisis microestructural para evaluar si la degradación del rendimiento se debe a una mala adhesión interfacial o a la porosidad. La consistencia de las propiedades mecánicas entre lotes se supervisa mediante el control estadístico de procesos (CEP) para garantizar una calidad constante del producto.

7.4 Prueba de propiedades químicas de la varilla de cobre y tungsteno

Las pruebas de rendimiento químico evalúan la resistencia a la oxidación, la resistencia a la corrosión y la estabilidad química a alta temperatura de las varillas de cobre-tungsteno, garantizando así su fiabilidad en entornos químicos agresivos. Las pruebas de resistencia a la oxidación se realizan con un analizador termogravimétrico (TGA). La muestra se calienta en aire u oxígeno (200-1000 °C) y se mide la variación de masa para evaluar la velocidad de oxidación. Las varillas de cobre-tungsteno presentan una excelente resistencia a la oxidación gracias a su capa estable de óxido de tungsteno, que suprime la tendencia a la oxidación de la fase de cobre a altas temperaturas.

Las pruebas de resistencia a la corrosión utilizan pruebas de inmersión o electroquímicas. Las pruebas de inmersión someten las muestras a un entorno ácido (p. ej., ácido sulfúrico), alcalino (p. ej., hidróxido de sodio) o de niebla salina para observar el grado de corrosión superficial y la pérdida de masa. Las pruebas electroquímicas emplean polarización potenciocinética para medir el potencial de corrosión y la densidad de corriente de corrosión, evaluando así la estabilidad del material en el medio corrosivo. Las varillas de cobre-tungsteno presentan una excelente resistencia a la corrosión en diversos entornos químicos, lo que las hace aptas para aplicaciones marinas o químicas.

Las pruebas de estabilidad química a alta temperatura se realizan en un horno de alta temperatura. La muestra se expone a un gas específico (como nitrógeno, hidrógeno o dióxido de carbono) para detectar si se produce un cambio de fase o una reacción química. La inercia a alta temperatura de las varillas de cobre-tungsteno las hace estables en reactores o sensores de alta temperatura.

Durante el control de procesos, las pruebas de rendimiento químico requieren condiciones ambientales controladas (como temperatura, humedad y pureza del gas) para garantizar resultados reproducibles. Las superficies de las muestras deben estar limpias para evitar la contaminación que podría afectar la prueba. El análisis de resultados debe combinarse con el análisis microestructural para evaluar si las impurezas o los defectos interfaciales contribuyen a la degradación del rendimiento químico.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

7.5 Análisis de microestructura y estructura de la varilla de cobre y tungsteno

El análisis microestructural y estructural revela en profundidad las propiedades microscópicas de las varillas de tungsteno-cobre, evaluando la distribución de las fases de tungsteno-cobre, la unión interfacial y los defectos, lo que proporciona una base para la optimización del rendimiento. La microscopía electrónica de barrido (MEB) es la herramienta principal para observar la distribución y la morfología de las fases de tungsteno-cobre y detectar la presencia de áreas no penetradas, grietas o inclusiones. El MEB, equipado con el modo de electrones retrodispersados (EEB), puede distinguir entre tungsteno (alto número atómico, áreas brillantes) y cobre (áreas oscuras), demostrando claramente la uniformidad de la distribución de fases.

Los difractómetros de rayos X (DRX) se utilizan para analizar la estructura cristalina y la composición de fases, verificando la estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC) del tungsteno y la estructura cúbica centrada en las caras (FCC) del cobre, y detectando la formación de fases de impurezas (como óxidos). La espectroscopia de energía dispersiva (EDS), combinada con la microscopía electrónica de barrido (SEM), analiza la distribución elemental, evalúa la relación tungsteno-cobre y el contenido de impurezas, y garantiza la pureza del material. La difracción de retrodispersión electrónica (EBSD) proporciona información adicional sobre la orientación del grano y las características de la interfaz, revelando el mecanismo de enlace tungsteno-cobre.

Los microscopios estereoscópicos y ópticos se utilizan para la observación a bajo aumento con el fin de evaluar la homogeneidad estructural macroscópica y los defectos superficiales. La tomografía computarizada (TC) de rayos X se utiliza para el examen estructural interno no destructivo con el fin de identificar burbujas ocultas, grietas o áreas heterogéneas. El análisis de porosidad se realiza mediante software de intrusión de mercurio o análisis de imágenes para cuantificar la distribución y la conectividad de los poros.

Para el control de procesos, el análisis microscópico requiere el uso de procedimientos estándar de preparación de muestras (p. ej., pulido y grabado) para evitar artefactos. Los resultados de las pruebas deben combinarse con las propiedades físicas y mecánicas para analizar el impacto de la microestructura en las propiedades macroscópicas. Las estructuras anormales (p. ej., depósitos de cobre o porosidad) pueden atribuirse a defectos en el proceso de infiltración o sinterización, lo que proporciona una base para la optimización.

7.6 Comparación de normas y métodos de prueba internacionales comúnmente utilizados

Las pruebas internacionales de varillas de cobre-tungsteno se rigen por una serie de especificaciones estandarizadas para garantizar la comparabilidad y fiabilidad de los resultados. A continuación, se presenta una comparación de las principales normas internacionales y su ámbito de aplicación:

1. Normas ASTM

- ASTM B702: Esta norma especifica los métodos de ensayo para la composición química, las propiedades físicas y mecánicas de los materiales compuestos de tungsteno y cobre, adecuados para probar contactos eléctricos y disipadores de calor. Incluye especificaciones de densidad, conductividad, dureza y ensayos de tracción, haciendo hincapié en la consistencia de las condiciones

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de preparación y ensayo de las muestras.

- ASTM E8: Norma de prueba de tracción, aplicable a las pruebas de resistencia y ductilidad de varillas de cobre y tungsteno, especifica el tamaño de la muestra y la tasa de carga.
- ASTM E384: Norma de ensayo de dureza Vickers, adecuada para evaluar la dureza de varillas de cobre y tungsteno, con especial énfasis en la selección del penetrador y el control de carga.

2. Normas ISO

- ISO 4499-2: Norma de ensayo de dureza para carburo cementado, parcialmente aplicable a varillas de cobre y tungsteno, especifica el método de medición de la dureza Brinell y Vickers.
- ISO 3369: Norma de ensayo de densidad, que utiliza el principio de Arquímedes, adecuada para la evaluación de la densidad de varillas de cobre y tungsteno.
- ISO 6892-1: Norma de ensayos de tracción para materiales metálicos, aplicable a ensayos de propiedades mecánicas a temperatura elevada y ambiente.

3. Norma Nacional China (GB/T)

- GB/T 3458-2006: Condiciones técnicas para el polvo de tungsteno, que especifica la pureza, el tamaño de partícula y los métodos de detección de impurezas del polvo de tungsteno, lo que afecta indirectamente la calidad de la materia prima de la varilla de cobre de tungsteno.
- GB/T 8320-2017: Norma de material de contacto eléctrico de aleación de tungsteno y cobre, que cubre los requisitos de prueba de conductividad, resistencia al desgaste y resistencia al arco.
- GB/T 26038-2020: Norma de materiales compuestos a base de tungsteno, que especifica métodos de análisis de densidad, conductividad térmica y microestructura.

4. Otras normas

- JIS H 0502 (Japón): una norma para probar la resistencia al desgaste de materiales metálicos, aplicable a la evaluación del desempeño de fricción y desgaste de varillas de cobre de tungsteno.
- DIN EN 623-4 (Europa): Norma de ensayo de conductividad eléctrica para materiales electrónicos, aplicable a la medición de resistividad de varillas de cobre y tungsteno.

Comparación de métodos:

Las normas ASTM se centran más en las pruebas para aplicaciones de gestión eléctrica y térmica, haciendo hincapié en la conductividad eléctrica y térmica. Las normas ISO son más generales y aplicables a una variedad de materiales compuestos metálicos. Las normas de China, adaptadas a las condiciones nacionales, incluyen disposiciones detalladas para las materias primas y las aplicaciones de contacto. Para las pruebas de densidad, el método de Arquímedes (ASTM, ISO) es simple y eficiente, pero la tomografía computarizada de rayos X (GB/T) es más adecuada para detectar la porosidad interna. Para las pruebas mecánicas, ASTM E8 e ISO 6892-1 son similares en los métodos de prueba de tracción, pero ISO enfatiza las pruebas de alta temperatura. Para el análisis microscópico, SEM y XRD son métodos internacionales fundamentales, pero EBSD se utiliza más ampliamente dentro de ASTM y es adecuado para el análisis de interfaz.

Durante el control de procesos, se deben seleccionar las normas adecuadas según el escenario de aplicación. Por ejemplo, se prefiere la norma GB/T 8320 para contactos eléctricos, mientras que la

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

ASTM B702 se recomienda para materiales de disipadores de calor. La calibración de los equipos de prueba y la capacitación de los operadores son fundamentales para garantizar la implementación consistente de las normas. La comparación de múltiples normas puede optimizar los procesos de prueba y aumentar la aceptación internacional de los resultados.



Capítulo 8 Normas y especificaciones para varillas de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, los requisitos de rendimiento y calidad de la varilla de cobre-tungsteno están sujetos a estrictas normas y regulaciones a nivel mundial. Estas normas abarcan la composición química, las propiedades físicas y mecánicas, los procesos de fabricación y los métodos de prueba del material, garantizando la fiabilidad y consistencia del producto en aplicaciones como la eléctrica, la electrónica, la aeroespacial y la gestión térmica. Si bien los sistemas de normas de los diferentes países y regiones varían en función del contexto industrial y los requisitos de la aplicación, todos tienen como objetivo proporcionar una guía técnica unificada para la producción, las pruebas y la aplicación de la varilla de cobre-tungsteno. Este capítulo explica sistemáticamente las normas relevantes para la varilla de cobre-tungsteno en China, a nivel internacional, en Estados Unidos, Europa y Japón, analizando sus requisitos, ámbito de aplicación y diferencias, y evaluando comparativamente su aplicabilidad.

8.1 Normas nacionales e industriales de China para varillas de cobre y tungsteno

Las normas nacionales e industriales de China proporcionan especificaciones técnicas detalladas para la producción y aplicación de varillas de cobre-tungsteno, combinando las características de la industria nacional y abarcando materias primas, procesos de fabricación, pruebas de rendimiento y control de calidad. Las principales normas relevantes son las siguientes:

GB/T 3458-2006 Requisitos Técnicos para el Polvo de Tungsteno: Esta norma especifica la composición química, la distribución del tamaño de partícula, la densidad aparente y el contenido

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de impurezas del polvo de tungsteno. Se aplica al control de la materia prima en la producción de varillas de cobre-tungsteno. La norma exige una pureza mínima del 99,95 %, un contenido de oxígeno inferior al 0,05 % en peso y un rango de tamaño de partícula de 1 a 5 μm , lo que garantiza que el polvo sea apto para los procesos de prensado y sinterización. También especifica métodos de prueba como el análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) para impurezas y el análisis del tamaño de partícula por láser.

GB/T 8320-2017 Material de Contacto Eléctrico de Aleación de Tungsteno-Cobre: Esta norma está formulada específicamente para varillas de tungsteno-cobre utilizadas como materiales de contacto eléctrico y cubre los requisitos de composición química, conductividad, resistencia al desgaste y resistencia al arco eléctrico. La norma estipula un rango de contenido de tungsteno del 50-90 % en peso, una conductividad de al menos el 30 % IACS y un rango de dureza de 100-250 HV. Los métodos de prueba incluyen la medición de resistividad con sonda de cuatro puntos, la prueba de dureza Vickers y la prueba de erosión por arco eléctrico. Es aplicable a contactos de interruptores y disyuntores de alta tensión.

GB/T 26038-2020 Requisitos técnicos para materiales compuestos a base de tungsteno: Esta norma se aplica a materiales compuestos a base de tungsteno, incluidas las varillas de tungsteno-cobre, y especifica requisitos de rendimiento como densidad (11,8-17,0 g/cm^3), conductividad térmica (180-250 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) y coeficiente de expansión térmica ($6-10\times 10^{-6}/\text{K}$). La norma también incluye requisitos para el análisis microestructural, haciendo hincapié en la distribución uniforme de la fase tungsteno-cobre y la ausencia de porosidad significativa. Los métodos de prueba incluyen pruebas de densidad de Arquímedes, pruebas de conductividad térmica por flash láser y observación por microscopía electrónica de barrido (SEM).

YS/T 649-2016 Norma de aleación de tungsteno-cobre para la industria de metales no ferrosos: Esta norma industrial especifica la composición química y la maquinabilidad de las varillas de tungsteno-cobre, especificando los parámetros de rendimiento para diferentes relaciones tungsteno-cobre (p. ej., W70Cu30 y W80Cu20). Es adecuada para aplicaciones de electrodos y disipadores de calor. La norma exige una rugosidad superficial $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ y una tolerancia dimensional de $\pm 0,01 \text{ mm}$. También especifica los métodos de análisis químico y de ensayo mecánico.

La norma china se centra en la practicidad y la operatividad de la producción, considerando las ventajas de los recursos nacionales de tungsteno, y priorizando la pureza de la materia prima y el rendimiento eléctrico. Es adecuada para contactos eléctricos y gestión térmica. Los estrictos requisitos de control de procesos y los detallados métodos de prueba ofrecen una guía clara para la producción a gran escala.

8.2 Normas internacionales para varillas de cobre y tungsteno (ISO, ASTM, IEC, etc.)

Las normas internacionales proporcionan especificaciones unificadas para el comercio y la aplicación global de las varillas de cobre y tungsteno. Son formuladas principalmente por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), etc., y abarcan las propiedades de los materiales y los métodos de ensayo.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

ISO 4499-2:2020 Ensayo de dureza de carburo cementado: Si bien se centra principalmente en el carburo cementado, esta norma también se aplica parcialmente al ensayo de dureza de varillas de tungsteno-cobre. Especifica los métodos de medición de dureza Vickers y Brinell, requiere un rango de carga de prueba de 5-100 kgf y garantiza la precisión de las dimensiones de la indentación. La norma hace hincapié en la calibración de equipos y la preparación de la superficie de la muestra, lo que la hace idónea para evaluar la resistencia al desgaste de las varillas de tungsteno-cobre.

ISO 3369:2006 Densidad de Materiales Metálicos: Esta norma especifica el método de Arquímedes para la medición de la densidad y es aplicable a la evaluación de la densidad de varillas de tungsteno-cobre. Requiere que el líquido de prueba (p. ej., agua desionizada) sea de alta pureza y esté a una temperatura controlada de $20 \pm 0,5$ °C para garantizar la precisión de la medición. Esta norma es adecuada para verificar la integridad del proceso de infiltración.

ISO 6892-1:2019, Ensayos de Tracción de Materiales Metálicos: Esta norma especifica los métodos de ensayo de tracción a temperatura ambiente y elevada, aplicables a los ensayos de resistencia a la tracción y elongación de varillas de cobre-tungsteno. Las muestras deben cumplir las dimensiones estándar (p. ej., muestras cilíndricas con un diámetro de 6-12 mm) y una velocidad de carga de 0,5-2 mm/min. Esta norma es adecuada para evaluar el comportamiento de los materiales sometidos a tensión mecánica.

IEC 60468:1974 Métodos de ensayo para materiales de contacto eléctrico: Esta norma aborda la conductividad eléctrica y la resistencia al arco de los materiales de contacto eléctrico y es aplicable a las varillas de cobre-tungsteno utilizadas en aparatos. Especifica las pruebas de resistividad (método de sonda de cuatro puntas) y las pruebas de erosión por arco, que requieren una conductividad eléctrica mínima del 30 % IACS. La resistencia al arco se verifica mediante pruebas cíclicas.

Las normas internacionales son universales y priorizan la compatibilidad entre diversos países. Sus métodos de prueba son científicos y rigurosos, lo que las hace idóneas para productos de exportación y aplicaciones de alta gama. Las normas ISO se centran en las pruebas generales de las propiedades de los materiales, mientras que las normas IEC se centran en el rendimiento eléctrico, garantizando así la fiabilidad de las varillas de cobre-tungsteno en equipos eléctricos globales.

8.3 Normas americanas para varillas de cobre y tungsteno (ASTM, ANSI, SAE)

Las normas estadounidenses son conocidas por su rigor y su orientación a la aplicación. Son formuladas principalmente por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), el Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI), etc., y se utilizan ampliamente en el mercado norteamericano y el sector aeroespacial.

ASTM B702-93 (2019) Material compuesto de tungsteno-cobre: Esta norma está formulada específicamente para materiales compuestos de tungsteno-cobre y abarca los requisitos de composición química, propiedades físicas y mecánicas. Especifica un contenido de tungsteno del 50-90 % en peso, una densidad de 11,8-17,0 g/cm³, una conductividad eléctrica del 30-50 % IACS

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

y una conductividad térmica de 180-250 W/ m·K . Los métodos de prueba incluyen la prueba de densidad de Arquímedes, la prueba de resistividad con sonda de cuatro puntos y la prueba de conductividad térmica por destello láser. Es aplicable a contactos eléctricos y materiales disipadores de calor.

ASTM E8/E8M-21 Ensayos de Tracción de Materiales Metálicos: Esta norma especifica la preparación de muestras, las condiciones de ensayo y los métodos de procesamiento de datos para ensayos de tracción. Es aplicable a ensayos de resistencia a la tracción (500-800 MPa) y elongación de varillas de cobre-tungsteno. La superficie de la muestra debe estar libre de defectos, la temperatura de ensayo debe controlarse a 23 ± 2 °C y la velocidad de carga debe ser de 0,015-0,05 mm/s.

ASTM E384-17 Prueba de dureza Vickers: Esta norma se aplica a la prueba de dureza de varillas de cobre-tungsteno. Especifica un rango de carga de 0,1 a 100 kgf y una precisión de medición de indentación de $\pm 0,5$ μm . La superficie de prueba debe pulirse a $R_a < 0,1$ μm para garantizar resultados precisos.

-ANSI C63.2-2016 Pruebas de compatibilidad electromagnética: aunque está dirigida principalmente a equipos electromagnéticos, esta norma se aplica parcialmente a las pruebas de conductividad de varillas de cobre de tungsteno como materiales de electrodos, haciendo hincapié en la baja resistividad y la resistencia al arco, y es adecuada para equipos de radar y comunicación.

Las normas estadounidenses se centran en los requisitos de prueba para aplicaciones de gestión eléctrica y térmica, con métodos de prueba detallados y una rigurosa calibración de equipos, ideales para mercados de alta precisión y alta gama. Las normas ASTM se utilizan ampliamente en las industrias aeroespacial y electrónica, garantizando que las varillas de cobre y tungsteno cumplan con los exigentes requisitos de rendimiento.

8.4 Normas europeas para varillas de cobre y tungsteno (EN, DIN, BS)

Las normas europeas están formuladas por el Comité Europeo de Normalización (EN), la Institución de Normas Industriales Alemanas (DIN) y la Institución de Normas Británica (BS), centrándose en el rendimiento del material y los requisitos de protección ambiental, y son adecuadas para la producción y aplicación de varillas de cobre de tungsteno en el mercado de la UE.

EN 623-4:2004 Ensayo de conductividad eléctrica para materiales electrónicos: Esta norma especifica el método de ensayo de resistividad para materiales compuestos metálicos, aplicable a aplicaciones donde se utilizan varillas de tungsteno-cobre como electrodos y contactos. El ensayo requiere el uso de un método de sonda de cuatro puntas, una conductividad mínima del 30 % IACS y una temperatura ambiente de 20-25 °C.

DIN EN ISO 6507-1:2018 Prueba de dureza Vickers: Similar a la norma ASTM E384, esta norma se aplica a las pruebas de dureza de varillas de tungsteno-cobre. Especifica un rango de carga de 0,2 a 100 kgf , requiere una alta planitud superficial y una precisión de medición de indentación de $\pm 0,5$

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

µm . Esta norma enfatiza la repetibilidad de las pruebas y es adecuada para la evaluación de la resistencia al desgaste.

EN ISO 6892-1:2019 Ensayos de tracción de materiales metálicos: Esta norma, en consonancia con las normas ISO, especifica los métodos de ensayo para la resistencia a la tracción y el alargamiento de varillas de cobre-tungsteno. Es adecuada para evaluar las propiedades mecánicas. Se requiere una alta precisión en el procesamiento de las muestras, y la calibración de la máquina de ensayo debe cumplir con la norma ISO 7500-1.

-BS EN 1011-1:2009 Compatibilidad de materiales de soldadura: esta parte estándar se aplica a la prueba de rendimiento de soldadura de varillas de cobre y tungsteno y otros metales, especifica los métodos de prueba para la resistencia de unión de la interfaz y la resistencia a la corrosión, y es adecuada para aplicaciones de estructuras compuestas.

Las normas europeas se centran en la protección y seguridad del medio ambiente, y sus métodos de ensayo son altamente compatibles con las normas internacionales, lo que las hace idóneas para productos de varilla de cobre y tungsteno exportados a la UE. Las normas DIN y EN se utilizan ampliamente en las industrias de maquinaria y electrónica, priorizando la fiabilidad y la consistencia del rendimiento del material.

8.5 Norma japonesa (JIS) para varillas de cobre y tungsteno

Las Normas Industriales Japonesas (JIS) proporcionan especificaciones técnicas para la producción y aplicación de varillas de cobre y tungsteno, combinadas con los requisitos de alta precisión de la fabricación japonesa, adecuadas para las industrias electrónica y de moldes.

JIS H 0502:1986 Ensayo de resistencia al desgaste de materiales metálicos: Esta norma especifica los métodos de ensayo de fricción y desgaste aplicables para evaluar la resistencia al desgaste de varillas de cobre-tungsteno utilizadas como moldes o electrodos. Se utilizan abrasivos estándar (como óxido de aluminio), se aplican cargas de ensayo de 5-50 N y se mide la pérdida de masa o la profundidad de la huella de desgaste.

JIS Z 2241:2011 Ensayo de Tracción de Materiales Metálicos: Esta norma especifica la preparación de muestras y las condiciones de ensayo para ensayos de tracción. Se aplica a los ensayos de resistencia a la tracción y elongación de varillas de cobre-tungsteno. Las dimensiones de la muestra deben cumplir con la norma y la velocidad de carga debe ser de 0,5 a 2 mm/min.

-JIS G 0557:2006 Método de prueba de dureza: Esta norma se aplica a las pruebas de dureza Vickers y Brinell, especifica el proceso de medición de dureza de varillas de cobre y tungsteno, requiere que la superficie de prueba esté pulida y el rango de carga es de 0,1 a 100 kgf .

-JIS C 2520:1999 Aleaciones de cobre para fines eléctricos: aunque se ocupa principalmente de las aleaciones de cobre, esta norma se aplica parcialmente a las pruebas de conductividad de las varillas de cobre de tungsteno, especifica el método de medición de resistividad y requiere que la

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

conductividad cumpla con los requisitos de las aplicaciones de contacto eléctrico.

Las normas JIS se centran en los requisitos de prueba para aplicaciones de fabricación y electrónica de alta precisión. Sus métodos de prueba, sencillos y eficientes, son ideales para las industrias de mecanizado de precisión y electrónica del mercado japonés. Hacen hincapié en la calibración de equipos y las operaciones estandarizadas para garantizar resultados de prueba fiables.

8.6 Comparación y análisis de aplicabilidad de los estándares de varillas de cobre y tungsteno

Las normas de diferentes países y regiones presentan similitudes y diferencias en los requisitos de rendimiento y los métodos de prueba de las varillas de cobre y tungsteno. El análisis comparativo ayuda a seleccionar las especificaciones adecuadas y optimizar la producción y la aplicación.

Puntos en común:

Composición química: Todas las normas exigen una alta pureza y un bajo contenido de impurezas en las varillas de cobre-tungsteno. Por ejemplo, las normas GB/T 3458 y ASTM B702 estipulan que la pureza del tungsteno debe ser $\geq 99,95\%$ y la del cobre $\geq 99,99\%$.

Propiedades físicas: La densidad, la conductividad eléctrica y la conductividad térmica son elementos de prueba fundamentales. Las normas ISO 3369, ASTM B702 y GB/T 26038 utilizan el método de Arquímedes y el método de destello láser, con rangos de prueba similares (densidad 11,8-17,0 g/cm³, conductividad térmica 180-250 W/ m·K).

Propiedades mecánicas: Los ensayos de tracción y dureza son requisitos comunes. Las normas ISO 6892-1, ASTM E8 y JIS Z 2241 presentan una alta consistencia en el diseño de la muestra y la velocidad de carga.

-Métodos de prueba: SEM, XRD y el método de sonda de cuatro puntos son métodos de prueba de microestructura y conductividad aceptados internacionalmente para garantizar la comparabilidad de los resultados.

diferencia:

-Enfoque: El estándar chino (GB/T 8320) enfatiza el rendimiento del contacto eléctrico, ASTM B702 se centra en la gestión térmica y las aplicaciones aeroespaciales, IEC 60468 se centra en el rendimiento eléctrico y JIS H 0502 destaca la resistencia al desgaste.

Condiciones de prueba: Las normas ASTM e ISO tienen requisitos más estrictos para las pruebas a alta temperatura (p. ej., las temperaturas de prueba de tracción pueden alcanzar los 1000 °C), mientras que las normas chinas se centran más en el rendimiento a temperatura ambiente. Las normas JIS tienen requisitos de rugosidad superficial más altos ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$), lo que las hace adecuadas para el mecanizado de precisión.

- Requisitos de protección del medio ambiente: las normas europeas (EN) enfatizan la compatibilidad ambiental y la reciclabilidad de los materiales y estipulan restricciones sobre sustancias peligrosas, mientras que otras normas son menos estrictas.

- Ámbito de aplicación: las normas ASTM e ISO son más adecuadas para el comercio internacional, las normas GB/T son adecuadas para la producción nacional a gran escala y las normas JIS son adecuadas para aplicaciones electrónicas de alta precisión.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Análisis de aplicabilidad:

- Contactos eléctricos: Se recomiendan GB/T 8320 o IEC 60468, centrándose en la conductividad y la resistencia al arco, adecuados para interruptores y disyuntores de alto voltaje.
- Material del disipador de calor: ASTM B702 y GB/T 26038 son más aplicables, enfatizando la coincidencia de la conductividad térmica y el coeficiente de expansión térmica, adecuado para el empaquetado microelectrónico.
- Fabricación de moldes: se prefieren JIS H 0502 y DIN EN ISO 6507-1, centrándose en la resistencia al desgaste y la dureza, adecuados para matrices de estampación y EDM.
- Aeroespacial: ASTM B702 y EN 623-4 son adecuados, enfatizando la resistencia y compatibilidad a altas temperaturas, adecuados para boquillas de cohetes y componentes de contrapeso.
- Comercio internacional: Las normas ISO y ASTM son más universales y facilitan la certificación transfronteriza y el acceso al mercado.

En la práctica, los fabricantes deben seleccionar normas según los mercados objetivo y los escenarios de aplicación, optimizando los procesos mediante la integración de múltiples normas. Por ejemplo, las varillas de cobre-tungsteno exportadas a la UE deben cumplir con los requisitos ambientales de la norma EN, mientras que los contactos eléctricos domésticos priorizan la norma GB/T 8320. Las pruebas multinorma pueden mejorar la competitividad de los productos, pero es fundamental garantizar la consistencia en la calibración y las condiciones de prueba de los equipos para garantizar resultados comparables.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

Capítulo 9 Optimización del rendimiento de las varillas de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan ampliamente en industrias como la electrónica, la aeroespacial y la generación de energía gracias a su excelente conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia y resistencia a altas temperaturas. Sin embargo, las diferentes aplicaciones requieren un rendimiento diferente de las varillas de cobre-tungsteno. Por lo tanto, optimizar la relación de aleación, el proceso de tratamiento térmico, la microestructura y la resistencia al desgaste y la corrosión puede mejorar significativamente su rendimiento en entornos específicos. Este capítulo profundizará en los principios, métodos y efectos prácticos de estas técnicas de optimización.

9.1 Efecto de la relación de aleación en las propiedades

Las varillas de cobre-tungsteno se fabrican con tungsteno (W) y cobre (Cu) mediante pulvimetalurgia. Sus propiedades se ven directamente afectadas por la proporción de tungsteno y cobre. El contenido de tungsteno suele estar entre el 50 % y el 90 %, y el de cobre varía en consecuencia. Las diferentes proporciones tienen un impacto significativo en las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del material.

9.1.1 Relación tungsteno-cobre y conductividad eléctrica y térmica

El cobre es un excelente conductor eléctrico y térmico, mientras que el tungsteno tiene una conductividad eléctrica y térmica pobre. La conductividad eléctrica y térmica de las varillas de cobre-tungsteno aumenta significativamente con el aumento del contenido de cobre. Por ejemplo, una varilla de cobre-tungsteno con un contenido de Cu del 30% (W70Cu30) tiene una conductividad eléctrica de aproximadamente el 45% IACS (Estándar Internacional de Cobre Recocido), mientras que con un contenido de Cu del 10% (W90Cu10), la conductividad cae a aproximadamente el 20% IACS. La conductividad térmica también exhibe una tendencia similar, con W70Cu30 alcanzando aproximadamente 200 W/(m·K) y W90Cu10 cayendo a aproximadamente 150 W/(m·K). Por lo tanto, las varillas de cobre-tungsteno con mayor contenido de cobre se eligen a menudo para aplicaciones que requieren alta conductividad eléctrica y térmica, como encapsulados electrónicos y materiales de electrodos.

9.1.2 Relación tungsteno-cobre y propiedades mecánicas

El tungsteno presenta una alta dureza y densidad (19,25 g/cm³), mientras que el cobre presenta una dureza menor (aproximadamente 50 HB de dureza Brinell). Aumentar el contenido de tungsteno mejora significativamente la dureza, la resistencia a la compresión y la resistencia al desgaste de las varillas de cobre-tungsteno. Por ejemplo, el W80Cu20 puede alcanzar una dureza superior a 200 HB, mientras que el W60Cu40 tiene una dureza de tan solo aproximadamente 120 HB. Sin embargo, aumentar el contenido de cobre mejora la tenacidad y la resistencia al impacto del material. Por lo tanto, se prefiere un alto contenido de tungsteno en aplicaciones que requieren alta dureza y resistencia al desgaste (como materiales para moldes); mientras que se recomienda un aumento adecuado del contenido de cobre para aplicaciones que requieren cierto grado de tenacidad (como contactos eléctricos).

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

9.1.3 Relación tungsteno-cobre y coeficiente de expansión térmica

El tungsteno tiene un bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente $4,5 \times 10^{-6} / K$), mientras que el cobre tiene un coeficiente de expansión térmica más alto (aproximadamente $16,5 \times 10^{-6} / K$). El coeficiente de expansión térmica de la varilla de tungsteno-cobre aumenta con el aumento del contenido de cobre. Por ejemplo, W80Cu20 tiene un coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $8,0 \times 10^{-6} / K$, lo que lo hace adecuado para la combinación con cerámicas o materiales semiconductores (como SiC y AlN) para encapsulado electrónico. Optimizar la relación tungsteno-cobre garantiza la estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura y reduce los fallos causados por la tensión térmica.

9.1.4 Estrategia de optimización

Selección de la relación según la demanda: Elija la relación tungsteno-cobre adecuada según los requisitos de la aplicación. Por ejemplo, para encapsulados electrónicos, se prefiere W70Cu30 o W75Cu25 para equilibrar la conductividad térmica y la expansión térmica; para electrodos de electroerosión, se selecciona W80Cu20 para garantizar una alta dureza y resistencia al desgaste.

Dopaje con oligoelementos: añadiendo trazas de elementos como plata (Ag) o níquel (Ni), se pueden optimizar aún más la conductividad o las propiedades mecánicas, pero se debe tener cuidado de controlar la cantidad de dopaje para evitar reducir la resistencia a altas temperaturas.

Optimización de la sinergia de procesos: la optimización de las relaciones de aleación debe combinarse con procesos posteriores de sinterización y tratamiento térmico para garantizar la uniformidad y estabilidad de las propiedades del material.

9.2 Tratamiento térmico y mejora del rendimiento

El tratamiento térmico es un método importante para mejorar el rendimiento de las varillas de cobre-tungsteno. Mediante el control de los procesos de calentamiento, aislamiento y enfriamiento, se puede mejorar la microestructura del material, eliminar la tensión interna y optimizar el rendimiento.

9.2.1 Recocido

El recocido, que suele realizarse entre $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ en una atmósfera inerte (como nitrógeno o argón), elimina las tensiones internas inducidas durante el proceso de pulvimetalurgia y mejora la ductilidad del material. Por ejemplo, el recocido de una varilla de cobre tungsteno W80Cu20 a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante dos horas puede aumentar su resistencia a la tracción de 600 MPa a 650 MPa, a la vez que aumenta su ductilidad en aproximadamente un 10 %. El recocido también mejora la uniformidad de la fase de cobre, mejorando así la conductividad eléctrica y térmica.

9.2.2 Tratamiento de solución y tratamiento de envejecimiento

Para las varillas de cobre-tungsteno que contienen trazas de aditivos, se puede combinar un tratamiento de solución (calentamiento rápido por encima de $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ seguido de temple) con un tratamiento de envejecimiento (mantenimiento a una temperatura de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante varias horas). El tratamiento de solución distribuye uniformemente los aditivos (como el níquel) por toda la matriz, mientras que el envejecimiento promueve la formación de fases de precipitación, lo que

aumenta la dureza y la resistencia. Por ejemplo, el W75Cu25 con una adición de níquel del 0,5 % puede lograr un aumento del 15 % en la dureza y una mejora significativa de la resistencia al desgaste tras el tratamiento de envejecimiento de solución.

9.2.3 Prensado isostático en caliente (HIP)

El prensado isostático en caliente (HIP) es un proceso de alta temperatura y alta presión (aproximadamente 1000 °C, 100 MPa) que reduce significativamente la porosidad y aumenta la densidad en las varillas de cobre-tungsteno. Por ejemplo, el tratamiento HIP puede aumentar la densidad del W80Cu20 del 95 % a más del 99 %, a la vez que aumenta la conductividad térmica en aproximadamente un 10 % y la resistencia a la compresión en aproximadamente un 20 %. El HIP es especialmente adecuado para la producción de materiales de encapsulado electrónico de alto rendimiento.

9.2.4 Notas

Control de temperatura: Las temperaturas de tratamiento térmico excesivamente altas pueden provocar la fusión o volatilización de la fase de cobre, lo que reduce las propiedades del material. Se requiere un control preciso de la temperatura y el tiempo de mantenimiento.

Protección de la atmósfera: se requiere una atmósfera inerte o reductora (como hidrógeno) durante el tratamiento térmico para evitar la oxidación.

Costo del proceso: Los procesos de tratamiento térmico avanzado como HIP son relativamente costosos, y el costo y el rendimiento deben sopesarse en función de los requisitos de la aplicación.

9.3 Relación entre la microestructura y las propiedades

El rendimiento de la varilla de cobre y tungsteno está estrechamente relacionado con su microestructura, incluido el tamaño y la distribución de las partículas de tungsteno, la continuidad de la fase de cobre y el estado de unión de la interfaz.

9.3.1 Tamaño y distribución de partículas de tungsteno

El tamaño de las partículas de tungsteno suele oscilar entre 1 y 10 μm . Las partículas más finas aumentan la resistencia y la tenacidad del material, pero también reducen ligeramente su conductividad eléctrica y térmica. El tamaño de las partículas de tungsteno se puede optimizar controlando el tamaño del polvo y las condiciones de sinterización durante el proceso de pulvimetalurgia. Por ejemplo, el W70Cu30 producido con polvo de tungsteno ultrafino de 1 μm puede alcanzar una resistencia a la tracción de 700 MPa, aproximadamente un 15 % superior a la del material producido con polvo de tungsteno de 5 μm .

9.3.2 Relación entre la microestructura y las propiedades

La fase de cobre forma una red continua dentro de la varilla de cobre-tungsteno, lo que afecta directamente su conductividad eléctrica y térmica. La temperatura y la presión de sinterización son factores clave que influyen en la continuidad de la fase de cobre. Por ejemplo, el W75Cu25 sinterizado a 1350 °C presenta una red de fase de cobre más uniforme, lo que aumenta la conductividad eléctrica en aproximadamente un 8 %. Además, la sinterización en fase líquida promueve la penetración del cobre y mejora la unión entre fases, pero debe evitarse la sobrecocción,

que puede provocar la pérdida de la fase de cobre.

9.3.3 Estado de enlace de la interfaz

La calidad de la interfaz tungsteno-cobre es crucial para el rendimiento del material. Los defectos en la interfaz (como poros o grietas) pueden reducir la conductividad térmica y la resistencia mecánica. Optimizar el proceso de sinterización (como la sinterización al vacío o la adición de trazas de surfactantes) puede mejorar la unión interfacial. Por ejemplo, añadir un 0,1 % de Co mejora la humectabilidad en la interfaz tungsteno-cobre, reduce la resistencia interfacial y aumenta la conductividad térmica en aproximadamente un 5 %.

9.3.4 Tecnología de análisis de microestructura

Microscopía electrónica de barrido (SEM): se utiliza para observar la distribución de partículas de tungsteno y la red de fases de cobre.

Difracción de rayos X (DRX): analiza la estructura cristalina y la composición de fases.

Difracción de retrodispersión de electrones (EBSD): estudio de la unión de la interfaz y la orientación del grano.

Mediante estas tecnologías, se puede evaluar con precisión el impacto de la microestructura en el rendimiento, proporcionando una base para la optimización del proceso.

9.4 Optimización de la resistencia al desgaste y a la corrosión

Las varillas de cobre-tungsteno suelen requerir una excelente resistencia al desgaste y a la corrosión en entornos de alta temperatura, alta presión o corrosivos. Optimizar estas propiedades puede prolongar la vida útil del material y mejorar su fiabilidad.

9.4.1 Optimización de la resistencia al desgaste

La alta dureza del tungsteno le confiere una ventaja natural en cuanto a resistencia al desgaste, pero la blandura de la fase de cobre puede provocar un mayor desgaste del material en entornos de alta fricción. Las estrategias de optimización incluyen:

Aumente el contenido de tungsteno: W85Cu15 tiene mejor resistencia al desgaste que W70Cu30 y es adecuado para electrodos EDM.

Fortalecimiento de la superficie: la nitruración iónica o el revestimiento de superficie con láser pueden generar una capa superficial dura (como WC o TiN), que puede aumentar la resistencia al desgaste de 2 a 3 veces.

una pequeña cantidad de carburo de tungsteno (W) u óxido de aluminio (Al_2O_3) a la varilla de cobre de tungsteno puede mejorar significativamente la resistencia al desgaste, pero se debe tener cuidado para evitar reducir la conductividad.

9.4.2 Optimización de la resistencia a la corrosión

Las varillas de cobre-tungsteno pueden fallar en ambientes húmedos o ácidos debido a la corrosión de la fase de cobre. Los métodos de optimización incluyen:

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Recubrimiento de superficie: Se utiliza níquel galvanizado o deposición química de vapor (CVD) para aplicar una capa resistente a la corrosión (como CrN o DLC) para prevenir eficazmente la corrosión electroquímica de la fase de cobre.

Modificación de la aleación: La adición de trazas de plata o cromo puede mejorar la resistencia a la corrosión de la fase de cobre. Por ejemplo, el tiempo de resistencia a la corrosión del W75Cu₂₄Ag₁ en la prueba de niebla salina se prolonga aproximadamente un 30 %.

Optimización de la microestructura: al aumentar la densidad y reducir la porosidad, se puede reducir la vía de penetración de medios corrosivos, mejorando así la resistencia a la corrosión.

9.4.3 Caso de optimización integral

En el sector aeroespacial, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan a menudo en contactos eléctricos de alta temperatura. Mediante la adopción de la relación W80Cu20, el tratamiento HIP y el recubrimiento superficial de CrN, se pueden lograr las siguientes mejoras de rendimiento:

Resistencia al desgaste: el coeficiente de fricción se reduce en un 20% y el desgaste se reduce en un 50%.

Resistencia a la corrosión: en ambientes húmedos y de alta temperatura, la vida útil se extiende al doble.

Conductividad: Se mantiene por encima del 40 % IACS, cumpliendo con los requisitos de rendimiento eléctrico.

9.4.4 Notas

Equilibrio de rendimiento: la optimización de la resistencia al desgaste y a la corrosión puede resultar en una disminución de la conductividad eléctrica, que debe sopesarse en función de las necesidades de la aplicación.

Control de costos: Los procesos de recubrimiento de superficies y aditivos son costosos y es necesario evaluar su viabilidad económica.

Adaptabilidad ambiental: Diferentes entornos corrosivos (como ácidos, alcalinos o de alta temperatura) requieren soluciones de optimización específicas.

Resumir

Al optimizar las proporciones de aleación, los procesos de tratamiento térmico, la microestructura y la resistencia al desgaste y la corrosión, las varillas de cobre-tungsteno pueden satisfacer diversos requisitos de aplicación. Ajustar las proporciones de aleación requiere equilibrar la conductividad eléctrica, la conductividad térmica y las propiedades mecánicas; los procesos de tratamiento térmico pueden mejorar significativamente la densidad y la resistencia; optimizar la microestructura es fundamental para un mejor rendimiento; y mejorar la resistencia al desgaste y la corrosión prolonga la vida útil del material. En aplicaciones prácticas, la solución de optimización óptima debe seleccionarse considerando exhaustivamente los requisitos de rendimiento, los costos del proceso y los factores ambientales.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal



Capítulo 10 Guía para la selección y uso de varillas de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, la varilla de cobre-tungsteno se utiliza ampliamente en industrias como la electrónica, la aeroespacial, la generación de energía y la fabricación de moldes. Su rendimiento afecta directamente la calidad y la vida útil del producto final. Elegir la varilla de cobre-tungsteno adecuada, garantizar su almacenamiento y transporte seguros, su uso y mantenimiento adecuados, y resolver eficazmente los problemas comunes durante su uso son clave para garantizar su máximo rendimiento.

10.1 Cómo elegir la varilla de cobre y tungsteno adecuada

Elegir la varilla de cobre-tungsteno adecuada requiere una consideración exhaustiva del escenario de aplicación, los requisitos de rendimiento, el presupuesto y la fiabilidad del proveedor. A continuación, se detalla cómo realizar la selección desde diversas perspectivas.

10.1.1 Aclarar los escenarios de aplicación y los requisitos de rendimiento

El rendimiento de las varillas de cobre-tungsteno se ve afectado por la relación tungsteno-cobre, el proceso de fabricación y el tratamiento posterior. Los requisitos de rendimiento varían considerablemente según el escenario de aplicación. A continuación, se presentan escenarios de aplicación comunes y las especificaciones recomendadas para las varillas de cobre-tungsteno:

El encapsulado electrónico requiere una alta conductividad eléctrica y térmica, a la vez que cumple con el coeficiente de expansión térmica de los materiales cerámicos o semiconductores. Los materiales recomendados incluyen W70Cu30 o W75Cu25, con una conductividad de aproximadamente el 40-45 % IACS, un coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $7,5-8,5 \times 10^{-6} / K$ y una conductividad térmica de aproximadamente $190-200 W / (m \cdot K)$. Estas especificaciones son adecuadas para módulos de potencia, dispositivos de microondas y disipadores

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de calor de chips.

Electrodo para electroerosión (EDM): Estos electrodos requieren alta dureza, resistencia al desgaste y resistencia a altas temperaturas para soportar la erosión por arco. Se recomiendan W80Cu20 o W85Cu15, que ofrecen una dureza superior a 200 HB y una excelente resistencia al desgaste, lo que los hace adecuados para el mecanizado de moldes complejos.

Contactos eléctricos: Se requiere un equilibrio entre la conductividad eléctrica y la resistencia a la erosión por arco eléctrico, manteniendo al mismo tiempo cierta tenacidad para soportar impactos mecánicos. Se recomienda W75Cu25, ya que ofrece conductividad eléctrica (aproximadamente 40 % IACS) y resistencia a la tracción (aproximadamente 650 MPa).

Componentes aeroespaciales: requieren resistencia a altas temperaturas y un bajo coeficiente de expansión térmica. Se recomienda el W90Cu10, con un coeficiente de expansión térmica de tan solo $6,5 \times 10^{-6} / K$, ideal para boquillas o conectores en entornos de alta temperatura.

Equipos médicos: como objetivos de rayos X, que requieren alta densidad y resistencia al desgaste. Se recomienda W80Cu20, con una densidad aproximada de $15,5 \text{ g/cm}^3$ y una alta resistencia al desgaste.

Al realizar una selección, el usuario deberá especificar los siguientes parámetros:

Requisitos de conductividad eléctrica y térmica: seleccione materiales con mayor contenido de cobre según los requisitos de gestión eléctrica y térmica.

Propiedades mecánicas: Priorizar dureza, resistencia y tenacidad.

Coincidencia de expansión térmica: asegúrese de que el coeficiente de expansión térmica sea similar al de los materiales adyacentes para evitar fallas por tensión térmica.

Tamaño y forma: Confirme si el diámetro, la longitud y la precisión de procesamiento de la barra cumplen con los requisitos de diseño.

10.1.2 Comprender las especificaciones y estándares de las varillas de cobre y tungsteno.

Las varillas de cobre-tungsteno se clasifican generalmente según su contenido de tungsteno (como W70Cu30, W80Cu20). Los diámetros comunes oscilan entre 3 y 100 mm y las longitudes entre 100 y 300 mm. Las especificaciones específicas deben seleccionarse según el catálogo de productos proporcionado por el proveedor. Las normas internacionales (como ASTM B702) y nacionales (como GB/T 8320) establecen requisitos claros para la composición química, la densidad, la conductividad y las propiedades mecánicas de las varillas de cobre-tungsteno. Por ejemplo:

W70Cu30: La densidad es de aproximadamente $13,8\text{-}14,2 \text{ g/cm}^3$, la conductividad es de aproximadamente 40-45% IACS.

W80Cu20: La densidad es de aproximadamente $15,1\text{-}15,5 \text{ g/cm}^3$, la dureza es de aproximadamente 200-220 HB.

Los usuarios deben solicitar informes de pruebas de materiales a los proveedores para garantizar la conformidad del producto. Además, deben prestar atención a los requisitos de tolerancia (p. ej., tolerancia de diámetro $\pm 0,05 \text{ mm}$) para cumplir con los requisitos de mecanizado de precisión.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

10.1.3 Evaluación de la confiabilidad del proveedor

Elegir un proveedor confiable es fundamental para garantizar la calidad de las varillas de cobre y tungsteno. Los principales criterios para evaluar a los proveedores son los siguientes:

Capacidades de producción: Confirme si el proveedor cuenta con equipos avanzados de metalurgia de polvos e instalaciones de tratamiento térmico, como hornos de sinterización al vacío o equipos de prensado isostático en caliente (HIP).

Certificación de calidad: Se da preferencia a los proveedores con ISO 9001 o certificaciones específicas de la industria como AS9100 para la industria aeroespacial.

Capacidad de suministro: evaluar los niveles de inventario y los ciclos de entrega de los proveedores para garantizar que se cumplan los cronogramas del proyecto.

Soporte técnico: Un proveedor de calidad debe brindar asesoramiento en la selección de materiales, procesamiento personalizado y servicio posventa.

Precio y costo-beneficio: Bajo la premisa de asegurar la calidad, compare las cotizaciones de múltiples proveedores y elija aquel con la mejor relación costo-beneficio.

Se recomienda verificar la fiabilidad del proveedor mediante inspecciones in situ, análisis de muestras o la revisión de las opiniones de los clientes. Por ejemplo, puede solicitar al proveedor muestras de W80Cu20 para realizar pruebas de conductividad y dureza.

10.1.4 Requisitos personalizados

Para aplicaciones especiales, pueden requerirse varillas de cobre-tungsteno personalizadas, como diámetros específicos, recubrimientos superficiales o dopaje con oligoelementos. Al personalizarlas, deben especificarse los siguientes requisitos:

Tamaño personalizado: especificaciones no estándar como diámetro 50 mm y longitud 500 mm.

Tratamiento de superficie: como niquelado o pulido para mejorar la resistencia a la corrosión o el acabado de la superficie.

Aditivos: como agregar 0,5 % de Ni para mejorar la resistencia o agregar Ag para mejorar la conductividad.

La personalización suele requerir la negociación de los parámetros del proceso con los proveedores, lo que puede incrementar los costos y los plazos de entrega. Se recomienda que los indicadores de rendimiento y los criterios de aceptación se definan claramente en el contrato.

10.1.5 Equilibrio entre costos y rendimiento

El precio de las varillas de cobre-tungsteno aumenta con el contenido de tungsteno. Por ejemplo, el W90Cu10 puede ser entre un 30 % y un 50 % más caro que el W70Cu30. Además, procesos como el prensado isostático en caliente (HIP) o el recubrimiento de superficies pueden incrementar aún más los costos. Los usuarios deben seleccionar la especificación adecuada según su presupuesto y sus requisitos de rendimiento. Por ejemplo, si el presupuesto es limitado, se puede optar por el W75Cu25 en lugar del W80Cu20 para aplicaciones donde la resistencia al desgaste es menos crítica.

10.1.6 Recomendaciones del proceso de compra

Análisis de demanda: aclarar los escenarios de aplicación y los requisitos de rendimiento, y enumerar los parámetros clave (como conductividad y dureza).

Investigación de mercado: recopile cotizaciones e información de productos de múltiples proveedores y compare especificaciones y calidad.

Prueba de muestra: compre una pequeña cantidad de muestras para realizar pruebas de rendimiento para verificar si cumplen con los requisitos.

Firma de un contrato: aclarar especificaciones, cantidad, plazo de entrega y estándares de calidad.

Aceptación y retroalimentación: después de recibir los productos, se realiza una inspección de calidad, se registran los datos de rendimiento y se comunican las mejoras a los proveedores.

10.2 Precauciones de almacenamiento y transporte

El almacenamiento y el transporte de las varillas de cobre-tungsteno afectan directamente su rendimiento y vida útil. A continuación, se detalla el entorno de almacenamiento, los requisitos de embalaje y las precauciones de transporte.

10.2.1 Entorno de almacenamiento

La fase de cobre en la varilla de cobre de tungsteno se ve fácilmente afectada por ambientes húmedos, oxidativos o corrosivos, por lo que el entorno de almacenamiento debe controlarse estrictamente:

Temperatura y humedad: El entorno de almacenamiento debe mantener una temperatura de 15-25 °C y una humedad relativa inferior al 60 %. Las altas temperaturas y la humedad pueden provocar la oxidación de la fase de cobre, formando óxido de cobre (CuO), que reduce la conductividad.

Seco y resistente a la humedad: Se recomienda colocar un desecante (como gel de sílice) en el área de almacenamiento o usar un embalaje sellado. Para un almacenamiento prolongado, la varilla de cobre y tungsteno puede colocarse en una bolsa sellada al vacío.

Evite la corrosión química: Almacene lejos de sustancias ácidas, alcalinas o salinas para prevenir la corrosión electroquímica de la fase de cobre. Por ejemplo, los almacenes cerca del mar deben prestar especial atención a los efectos de la niebla salina.

Prevención y limpieza del polvo: El entorno de almacenamiento debe estar limpio para evitar que el polvo o las partículas se adhieran a la superficie de la barra y afecten la precisión del procesamiento posterior.

Para las varillas de cobre y tungsteno almacenadas durante mucho tiempo, se recomienda verificar el estado de la superficie cada 6 meses y limpiarlas y volver a embalarlas si es necesario.

10.2.2 Requisitos de embalaje

Las varillas de cobre-tungsteno tienen una alta densidad (13-17 g/cm³) y son frágiles y se dañan fácilmente por colisiones. Se deben tener en cuenta los siguientes puntos al embalarlas:

Materiales de protección: Utilice espuma de plástico, film de burbujas o cajas de madera para evitar que las varillas entren en contacto directo. Se recomienda envolver cada varilla individualmente.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Embalaje antioxidante: agregue un agente a prueba de humedad o un sello al vacío al embalaje para evitar que el cobre se oxide.

Etiquetado claro: el embalaje está claramente marcado con la relación tungsteno-cobre (como W80Cu20), las especificaciones (diámetro, longitud), el número de lote y las precauciones de almacenamiento para una fácil gestión y trazabilidad.

Diseño resistente a la compresión: para el transporte de grandes volúmenes, utilice cajas de madera o marcos de metal resistentes a la compresión para garantizar que las barras no se aplasten al apilarse.

10.2.3 Precauciones de transporte

Durante el transporte, la varilla de cobre de tungsteno debe protegerse de vibraciones, colisiones y cambios ambientales:

Medidas antivibración: utilice almohadillas amortiguadoras o dispositivos de fijación con resortes para garantizar que las barras no se muevan durante el transporte.

Control de temperatura: Evite el transporte en entornos de temperatura extremadamente alta (>50 °C) o baja (<-10 °C) para prevenir el estrés térmico o la fragilidad por frío.

Modo de transporte: El transporte por carretera es adecuado para distancias cortas, mientras que el transporte marítimo o aéreo se recomienda para distancias largas o internacionales. Asegúrese de que el embalaje cumpla con las normas internacionales de transporte (como la ISTA).

Seguro de transporte: para varillas de cobre y tungsteno de alto valor, se recomienda adquirir un seguro de transporte para reducir el riesgo de pérdida.

Proceso de aceptación: Verifique la integridad del embalaje al recibirlo, verifique las especificaciones y la cantidad y comuníquese con el proveedor de manera oportuna si encuentra algún daño u oxidación.

10.2.4 Almacenamiento y transporte en escenarios especiales

Varillas de cobre y tungsteno para uso aeroespacial: Deben almacenarse en un taller libre de polvo, embalsarse con materiales antiestáticos y transportarse en un contenedor con temperatura y humedad constantes.

Varillas de cobre y tungsteno para dispositivos médicos: el almacenamiento y el transporte deben cumplir con las normas de dispositivos médicos (como ISO 13485) para evitar cualquier contaminación.

Transporte en entornos de alta temperatura: si se transporta a zonas tropicales, se requieren medidas adicionales de aislamiento y protección contra la humedad.

A través de la gestión estandarizada del almacenamiento y transporte, se puede extender de manera efectiva la vida útil de las varillas de cobre y tungsteno y se puede garantizar que su rendimiento no se dañe.

10.3 Mantenimiento y cuidado durante el uso

Las varillas de cobre-tungsteno requieren mantenimiento y cuidado regulares durante su uso para conservar su rendimiento y prolongar su vida útil. A continuación, se ofrece una guía detallada de las tres etapas de procesamiento, operación y almacenamiento.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

10.3.1 Mantenimiento durante el procesamiento

Las varillas de cobre tungsteno suelen requerir torneado, fresado, perforación o mecanizado por electroerosión. Durante el procesamiento, es necesario prestar atención a los siguientes aspectos:

Selección de herramientas: Utilice herramientas de carburo o diamante para evitar el desgaste causado por la falta de dureza de las herramientas de acero convencionales. Se recomienda una dureza de herramienta superior a HRC 60.

Uso de refrigerante: Utilice refrigerante a base de agua o aceite durante el mecanizado para reducir las temperaturas de corte y evitar el ablandamiento de la fase de cobre o el desprendimiento de partículas de tungsteno. Mantenga el refrigerante limpio para evitar la introducción de impurezas corrosivas.

Parámetros de procesamiento: Controlar la velocidad de corte (por ejemplo, 100-200 m/min) y la velocidad de avance (por ejemplo, 0,05-0,2 mm/rev) para evitar que una tensión excesiva provoque grietas en la barra.

Protección de la superficie: Limpie inmediatamente el refrigerante y las virutas metálicas que queden en la superficie después del procesamiento para evitar la corrosión química. Se recomienda limpiar con alcohol o detergente neutro.

10.3.2 Mantenimiento durante el funcionamiento

Las varillas de cobre y tungsteno deben inspeccionarse y mantenerse periódicamente en sus escenarios de uso (como electrodos, contactos eléctricos o radiadores):

Inspección de la superficie: Revise periódicamente la superficie de la barra para detectar signos de oxidación, desgaste o erosión por arco. Por ejemplo, si aparecen picaduras de erosión evidentes en la superficie del electrodo de electroerosión, este debe reemplazarse de inmediato.

Limpieza y mantenimiento: Utilice un limpiador ultrasónico o un paño suave para eliminar la suciedad superficial. Evite el uso de detergentes ácidos o alcalinos. La frecuencia de limpieza debe determinarse según el entorno de uso (por ejemplo, una vez al mes).

Monitoreo de temperatura: En entornos de alta temperatura (como contactos eléctricos), controle que la temperatura de operación no exceda el punto de ablandamiento del cobre (aproximadamente 800 °C) para evitar la degradación del rendimiento.

Medidas anticorrosión: En ambientes húmedos o corrosivos, aplique regularmente aceite antioxidante o un recubrimiento temporal (como una capa fina de aceite de silicona) para proteger la fase de cobre.

10.3.3 Almacenamiento y reutilización

Las varillas de cobre de tungsteno no utilizadas o los restos procesados deben almacenarse adecuadamente:

Almacenamiento a corto plazo: Colóquelo en una bolsa sellada a prueba de humedad en un lugar seco y ventilado.

Almacenamiento a largo plazo: utilice envases al vacío o llenos de nitrógeno y controle periódicamente el estado de la superficie.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Reciclaje de materiales residuales: Los materiales residuales procesados se pueden reciclar y utilizar en escenarios de bajos requerimientos (como muestras experimentales), pero es necesario probar su desempeño para ver si cumple con los requisitos.

10.3.4 Registros de mantenimiento

Se recomienda establecer registros de mantenimiento para registrar la hora, el estado y las medidas de tratamiento de cada inspección, limpieza y reemplazo. Por ejemplo:

Fecha: 20 de agosto de 2025

Contenido de la inspección: Inspección de la superficie del electrodo W80Cu20

Estado: Ligeramente ablacionado, conductividad disminuida en un 5%.

Medidas: Limpieza ultrasónica, prevista su sustitución el próximo mes

A través de un mantenimiento y cuidado estandarizados, se puede extender significativamente la vida útil de las varillas de cobre y tungsteno y se puede reducir la tasa de fallas.

10.4 Problemas comunes y soluciones

Las varillas de cobre-tungsteno pueden presentar diversos problemas durante su uso. A continuación, se resumen los problemas más comunes y sus soluciones para ayudar a los usuarios a solucionarlos rápidamente.

10.4.1 Oxidación superficial

de óxido verde o negro (CuO o Cu_2O) en la superficie de la varilla de cobre y tungsteno y la conductividad disminuye.

Causa: El entorno de almacenamiento o uso es húmedo o está expuesto a una atmósfera oxidante de alta temperatura.

Solución:

Limpie la superficie con una solución de ácido acético diluido (5%) o ácido cítrico para eliminar la capa de óxido, luego enjuague con alcohol y seque.

Optimice el entorno de almacenamiento, mantenga la humedad por debajo del 60% y utilice embalajes sellados.

En aplicaciones de alta temperatura, agregue protección con gas inerte (como nitrógeno o argón).

10.4.2 Erosión por arco

Descripción del problema: Aparecen picaduras de ablación en la superficie de los electrodos EDM o de los contactos eléctricos, lo que afecta la precisión del mecanizado o el rendimiento del contacto.

Causa: La energía del arco es demasiado alta o la resistencia al desgaste de la varilla de cobre de tungsteno es insuficiente.

Solución:

Reducir la energía de descarga de EDM y optimizar el ancho de pulso y la corriente (por ejemplo, ancho de pulso 50-100 μs).

Elija materiales con alto contenido de tungsteno (como W85Cu15) para mejorar la resistencia al desgaste.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Revise periódicamente la superficie del electrodo y repárelo o reemplácelo a tiempo.

10.4.3 Procesamiento de grietas

Descripción del problema: Durante el procesamiento aparecen microgrietas en la varilla de cobre y tungsteno, lo que provoca una disminución de la resistencia.

Causa: Velocidad de corte excesiva, desgaste de la herramienta o defectos internos en el material.

Solución:

Reducir la velocidad de corte (por ejemplo, 80-150 m/min) y utilizar una nueva herramienta.

Verifique la calidad del material y solicite a los proveedores que proporcionen informes de pruebas no destructivas (como pruebas ultrasónicas).

El tratamiento de precalentamiento (200-300 °C) se utiliza para reducir el estrés del procesamiento.

10.4.4 Disminución de la conductividad

Descripción del problema: La conductividad de la varilla de cobre y tungsteno disminuye significativamente después de su uso durante un período de tiempo, lo que afecta el rendimiento eléctrico.

Causas: Oxidación de la fase de cobre, cambios microestructurales o contaminación de la superficie.

Solución:

Para limpiar la suciedad de la superficie, utilice limpieza ultrasónica o toallitas con alcohol.

Verifique el entorno operativo y evite temperaturas altas o atmósferas corrosivas.

Si la conductividad continúa disminuyendo, considere reemplazar la varilla por una nueva o realizar un tratamiento térmico para restaurar el rendimiento.

10.4.5 Desajuste de expansión térmica

Descripción del problema: La varilla de cobre y tungsteno y los materiales adyacentes (como la cerámica) se desprenden o agrietan a altas temperaturas.

Razón: La diferencia en el coeficiente de expansión térmica es demasiado grande.

Solución:

Se vuelve a seleccionar la relación tungsteno-cobre, como W80Cu20 (coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $8,0 \times 10^{-6} / \text{K}$) para que coincida con la cerámica (como AlN, aproximadamente $4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$).

Agregue una capa amortiguadora (como una capa delgada de Ni o Mo) en la interfaz para aliviar la tensión térmica.

Optimice la temperatura de funcionamiento e intente mantenerla por debajo de los 600 °C.

10.4.6 Deformación por almacenamiento

Descripción del problema: La varilla de cobre de tungsteno almacenada durante mucho tiempo está ligeramente doblada o deformada.

Causa: Fuerza desigual durante el almacenamiento o embalaje inadecuado.

Solución:

Verifique los métodos de almacenamiento para asegurarse de que las barras se almacenen horizontalmente para evitar la presión de apilamiento.

Utilice un soporte específico o una caja de madera para distribuir el peso.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Para deformaciones menores, el alivio de tensiones se puede lograr mediante recocido a baja temperatura (aproximadamente 600 °C).

10.4.7 Análisis de casos

Caso 1: Una fábrica de embalajes electrónicos utilizó varillas de cobre tungsteno W70Cu30 y descubrió que su conductividad térmica disminuía a altas temperaturas. La inspección reveló una oxidación superficial severa. Solución: Envasado al vacío para almacenamiento y limpieza ultrasónica antes del uso, lo que restableció la conductividad térmica a más del 95 %.

Caso 2: Los electrodos W80Cu20 de un fabricante de moldes experimentaron un desgaste rápido durante la electroerosión. El análisis reveló una energía de descarga excesiva. Solución: Reducir la corriente a 50 A y el ancho de pulso a 80 μ s duplicó la vida útil del electrodo.

Resumir

La selección y el uso de varillas de cobre-tungsteno es un proceso sistemático que implica múltiples pasos, como el análisis de necesidades, la selección del proveedor, el almacenamiento y el transporte, el mantenimiento y la resolución de problemas. Seleccionar la varilla de cobre-tungsteno adecuada requiere definir los requisitos de rendimiento según el escenario de aplicación y realizar una evaluación exhaustiva basada en las especificaciones y la fiabilidad del proveedor. El almacenamiento y el transporte requieren condiciones ambientales estrictamente controladas para evitar la oxidación y los daños físicos. El procesamiento y el mantenimiento estandarizados durante el uso pueden prolongar la vida útil de la varilla y mantener su rendimiento. La implementación oportuna de medidas específicas para abordar problemas comunes puede reducir eficazmente la tasa de fallos. Gracias a la gestión y el funcionamiento científicos, las varillas de cobre-tungsteno pueden rendir al máximo en diversas situaciones exigentes.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD Tungsten Copper Rod Introduction

1. Overview of Tungsten Copper Rod

Tungsten copper rod is composite materials produced by infiltrating high-purity tungsten powder with copper through a vacuum infiltration process. It possesses a unique microstructure that combines the high strength and high melting point of tungsten with the excellent electrical and thermal conductivity of copper. This results in a high-performance material with outstanding thermal stability, wear resistance, and electrical conductivity.

2. Characteristics of Tungsten Copper Rod

High Thermal Conductivity: The excellent thermal conductivity of copper ensures rapid heat dissipation, making it suitable for high-power devices and laser systems.

High Strength and High-Temperature Resistance: The stable mechanical properties of tungsten allow the material to remain reliable under extreme high-temperature conditions.

Resistance to Arc Erosion: The tungsten-copper composite structure provides exceptional resistance to arc erosion in electrical applications, significantly extending electrode service life.

Low Thermal Expansion Coefficient: Effectively reduces thermal stress and improves structural stability.

Excellent Machinability: Can be precisely fabricated into electrodes, heat sinks, or complex parts to meet diversified application requirements.

3. Performance Parameters of Tungsten Copper Rod

Product Name	Chemical Composition (%)		Physical and Mechanical Properties			
	Impurities ≤	W	Density (g/cm ³)	Hardness (HB)	Resistivity (mΩ·cm)	Tensile Strength (MPa)
W50Cu	0.5	Balance	11.85	115	3.2	—
W60Cu	0.5	Balance	12.75	140	3.7	—
W70Cu	0.5	Balance	13.8	175	4.1	790
W80Cu	0.5	Balance	15.15	220	5	980
W90Cu	0.5	Balance	16.75	260	6.5	1160

4. Advantages of Tungsten Copper Rod

High-Performance Combination: A balanced integration of strength, electrical conductivity, thermal conductivity, and high-temperature resistance.

Customized Solutions: Tungsten-to-copper ratio and dimensions can be tailored to meet specific customer requirements.

Long Service Life and Stability: Significantly reduces maintenance and replacement costs.

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

Capítulo 11 Tendencia del mercado y desarrollo de la varilla de cobre y tungsteno

Como material compuesto de alto rendimiento, las varillas de cobre-tungsteno se utilizan ampliamente en los sectores eléctrico, electrónico, aeroespacial, de gestión térmica y otros, gracias a su excelente conductividad eléctrica y térmica, resistencia a altas temperaturas y resistencia mecánica. Con el avance de la tecnología industrial global y el rápido desarrollo de las industrias emergentes, la demanda de varillas de cobre-tungsteno sigue creciendo, la cadena industrial continúa mejorando y la innovación tecnológica impulsa la optimización del rendimiento y la expansión de sus aplicaciones. Este capítulo analizará en detalle la estructura de la cadena industrial global de materiales de cobre-tungsteno, la distribución y las características de la demanda del mercado, y las principales tendencias de desarrollo futuro, abarcando el alto rendimiento, la fabricación ecológica y las aplicaciones emergentes.

11.1 Descripción general de la cadena industrial global de materiales de tungsteno y cobre

La cadena industrial de materiales de tungsteno y cobre abarca múltiples eslabones, desde la extracción de la materia prima hasta la aplicación del producto final, incluyendo la extracción de recursos, la preparación de materiales, el procesamiento y la fabricación, las pruebas y la certificación, y las aplicaciones para uso final. La fase inicial de la cadena industrial se centra principalmente en la extracción y purificación de minerales de tungsteno y cobre. Los recursos de tungsteno se concentran principalmente en China, Rusia, Australia y Canadá. China representa aproximadamente el 80 % de las reservas mundiales de tungsteno y el 60 % de la producción mundial, lo que la convierte en un proveedor clave de polvo de tungsteno. Los recursos de cobre están ampliamente distribuidos, siendo Chile, Perú y Australia los principales productores. La tecnología de producción de cobre electrolítico está consolidada, lo que garantiza un amplio suministro.

El segmento midstream incluye la preparación y el procesamiento de varillas de cobre-tungsteno. El polvo de tungsteno se extrae del tungstato o trióxido de tungsteno mediante reducción de hidrógeno, mientras que el cobre electrolítico se obtiene mediante refinación electroquímica. El proceso de preparación utiliza tecnología de pulvimetalurgia, que incluye prensado, sinterización e infiltración al vacío. Los equipos principales, como los hornos de sinterización al vacío y los hornos de infiltración, requieren un control de alta precisión para garantizar la calidad del producto. El procesamiento incluye mecanizado de precisión, tratamiento térmico y modificación de superficies para cumplir con los requisitos de tamaño y rendimiento de las diferentes aplicaciones. Las empresas midstream son principalmente fabricantes de materiales especializados .

El segmento downstream abarca las aplicaciones finales de las varillas de cobre-tungsteno, como contactos eléctricos, encapsulados electrónicos, componentes aeroespaciales, disipadores de calor y fabricación de moldes. Los canales de distribución incluyen el suministro directo a fabricantes de equipos (como Siemens y GE) y el acceso a mercados internacionales a través de distribuidores. Las pruebas y la certificación son componentes cruciales de la cadena de suministro, que exigen el cumplimiento de normas internacionales (como ASTM B702 y GB/T 8320) para garantizar la competitividad del producto en el mercado global.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

La cadena industrial está altamente globalizada, con China dominando las materias primas y la fabricación, mientras que Europa, Estados Unidos y Japón poseen ventajas tecnológicas en aplicaciones de alta gama y procesamiento de precisión. La colaboración en la cadena industrial prioriza la estabilidad de la cadena de suministro y la integración tecnológica, siendo las fluctuaciones de los precios de las materias primas y las regulaciones ambientales los principales desafíos.

11.2 Estructura de la demanda del mercado y análisis de la cuota de mercado de las aplicaciones

Impulsada por la industrialización global, el desarrollo de la industria electrónica y las nuevas tecnologías energéticas, la demanda de varillas de cobre-tungsteno se ha diversificado. La estructura de la demanda se puede dividir en las siguientes áreas principales:

- Electricidad y electrónica (aproximadamente el 45 % de la cuota de mercado): Las varillas de cobre-tungsteno dominan el mercado para aplicaciones en interruptores de alta tensión, disyuntores y electrodos de electroerosión. Su alta conductividad eléctrica y resistencia a la erosión por arco las convierten en un material ideal para contactos y electrodos eléctricos, especialmente en equipos de transmisión y distribución de energía. Por ejemplo, las mejoras en las redes eléctricas globales y la implementación de redes inteligentes impulsan la demanda de materiales de contacto de alto rendimiento. Además, la demanda de varillas de cobre-tungsteno utilizadas como disipadores de calor y electrodos en encapsulados microelectrónicos está creciendo rápidamente, especialmente en comunicaciones 5G, semiconductores de potencia y sistemas de radar.

- Aeroespacial y Defensa (aproximadamente el 20% de cuota de mercado): La aplicación de varillas de cobre-tungsteno en toberas de motores de cohetes, componentes de contrapeso y núcleos de proyectiles perforantes está impulsada por las industrias aeroespacial y de defensa. El rápido desarrollo de la industria aeroespacial global, como los programas espaciales comerciales de SpaceX y Blue Origin, ha incrementado la demanda de materiales de alta densidad y alta resistencia al calor. La demanda de electrodos de alto rendimiento y materiales de gestión térmica también está creciendo en el sector de defensa, en particular en equipos de radar y guerra electrónica.

Dispositivos de gestión térmica y disipación de calor (cuota de mercado aproximada del 20 %): Con la creciente popularidad de los dispositivos electrónicos de alta potencia (como láseres y módulos IGBT) y los vehículos de nueva energía, el uso de varillas de cobre-tungsteno como disipadores de calor y sustratos de disipación térmica se ha expandido rápidamente. Su alta conductividad térmica y su compatibilidad con la expansión térmica de los materiales semiconductores las hacen indispensables en centros de datos, sistemas de gestión de baterías de vehículos eléctricos y estaciones base 5G. La demanda global de soluciones eficientes de disipación de calor está impulsando un rápido crecimiento en este sector.

Industria de maquinaria y moldes (aproximadamente el 10 % del mercado): Las varillas de cobre tungsteno se utilizan en matrices de electroerosión, matrices de estampación y herramientas de corte debido a su alta dureza y resistencia al desgaste. La tendencia global hacia la automatización y la

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

fabricación de precisión ha incrementado la demanda de materiales de moldeo de alto rendimiento, especialmente en la fabricación de automóviles y dispositivos médicos.

Otros sectores (aproximadamente el 5 % de cuota de mercado): Estos sectores incluyen aplicaciones emergentes como la protección contra la radiación médica, componentes de contacto eléctrico para inversores fotovoltaicos y pesas para palos de golf. Si bien representan una pequeña proporción, presentan un importante potencial de crecimiento, especialmente en las industrias de nuevas energías y medicina.

En cuanto a la distribución regional de la demanda del mercado, la región Asia-Pacífico (principalmente China) representa más del 50% del mercado mundial, mientras que América del Norte y Europa representan aproximadamente el 20% cada una. El resto se distribuye entre Sudamérica, África y Oriente Medio. Los impulsores del crecimiento de la demanda incluyen la transición energética global, la modernización de la industria electrónica y el aumento de la inversión en el sector aeroespacial. Entre los desafíos se encuentran las fluctuaciones de los precios de las materias primas (por ejemplo, los precios del tungsteno se ven significativamente influenciados por la oferta y la demanda) y la presión de las regulaciones ambientales sobre los costes de producción.

11.3 Tendencia de desarrollo futuro de la varilla de cobre y tungsteno

El desarrollo futuro de las varillas de cobre-tungsteno está impulsado por la innovación tecnológica, la demanda del mercado y los requisitos de desarrollo sostenible. A continuación, se analizan sus tendencias de desarrollo desde tres perspectivas: alto rendimiento, preparación ecológica y aplicaciones emergentes.

11.3.1 Alto rendimiento y nanotecnología

El alto rendimiento es la prioridad en el desarrollo de la tecnología de varillas de cobre y tungsteno, con el objetivo de mejorar la conductividad eléctrica, la conductividad térmica, la resistencia y la resistencia al desgaste del material para satisfacer las necesidades de los dispositivos electrónicos de alta potencia de próxima generación y las aplicaciones en entornos extremos. La nanotecnología es clave para lograr un alto rendimiento. Mediante el uso de polvos de tungsteno y cobre a escala nanométrica, la microestructura del material se mejora significativamente. La mayor superficie específica de las nanopartículas mejora la unión entre ellas, reduce las temperaturas de sinterización y mejora la densidad y la uniformidad de la varilla de cobre y tungsteno. Por ejemplo, el polvo de nanotungsteno (tamaño de partícula <100 nm) puede formar una estructura de esqueleto más fina, lo que aumenta la eficiencia de infiltración de la fase de cobre y, por consiguiente, mejora la conductividad térmica y la resistencia mecánica.

Otra dirección para el alto rendimiento es el desarrollo de materiales funcionalmente graduados (FGM). Al introducir una distribución gradual de las proporciones de tungsteno a cobre en una varilla de tungsteno-cobre, se puede optimizar el rendimiento de áreas específicas. Por ejemplo, un alto contenido de tungsteno en la superficie mejora la resistencia al desgaste, mientras que un alto contenido de cobre en la varilla mejora la conductividad térmica, lo que la hace adecuada para

electrodos y disipadores de calor en condiciones de trabajo complejas. Además, la adición de oligoelementos (como circonio y cromo) mejora la humectabilidad en la interfaz tungsteno-cobre, lo que optimiza aún más el rendimiento del material. Las técnicas avanzadas de preparación, como la sinterización por plasma (SPS) y la sinterización por microondas, han acortado el tiempo de procesamiento y mejorado la uniformidad de la microestructura, impulsando la industrialización de varillas de tungsteno-cobre de alto rendimiento.

11.3.2 Preparación verde y desarrollo sostenible

La fabricación ecológica y el desarrollo sostenible son tendencias a largo plazo en la industria de las varillas de cobre y tungsteno, que responden a las demandas globales de protección ambiental y eficiencia de recursos. Los procesos tradicionales de pulvimetalurgia consumen mucha energía y generan gases y líquidos residuales. La fabricación ecológica reduce el impacto ambiental optimizando procesos y equipos. Por ejemplo, la tecnología de sinterización a baja temperatura reduce las temperaturas de sinterización entre un 20 % y un 30 % mediante la adición de activadores o el uso de nanopulvos, lo que reduce el consumo energético. El sistema de recuperación de gases de cola en el proceso de infiltración al vacío puede capturar vapor de cobre volátil y reducir las emisiones. La tecnología de reciclaje de residuos también cobra cada vez mayor importancia. Mediante la purificación química y el reprocesamiento, las varillas de cobre y tungsteno residuales en producción se pueden convertir de nuevo en polvo de alta pureza, logrando así el reciclaje de recursos.

Otro aspecto clave del desarrollo sostenible es el suministro sostenible de materias primas. Al ser un metal raro, el tungsteno se enfrenta a una escasez de recursos, lo que ha impulsado un mayor enfoque en tecnologías de minería ecológica y la investigación de materiales alternativos (como los compuestos a base de molibdeno). Los fabricantes también deben cumplir con las normativas ambientales internacionales, como la Directiva RoHS de la UE y el Reglamento REACH, que restringen el uso de sustancias peligrosas y garantizan que las varillas de cobre-tungsteno cumplan con las normas ambientales. La introducción de sistemas de producción inteligentes, que optimizan los parámetros del proceso mediante la monitorización en tiempo real y el análisis de datos, mejora aún más la eficiencia energética y la calidad del producto.

11.3.3 Direcciones de aplicación emergentes

Las futuras áreas de aplicación de las varillas de cobre-tungsteno se están expandiendo gracias a los avances tecnológicos, abarcando industrias emergentes como las nuevas energías, la salud y la fabricación aditiva. En el sector de las nuevas energías, la demanda de varillas de cobre-tungsteno está creciendo para componentes de contacto eléctrico en inversores fotovoltaicos y convertidores de turbinas eólicas, donde su alta conductividad y resistencia a la corrosión facilitan una conversión energética eficiente. En los sistemas de gestión de baterías de vehículos eléctricos, las varillas de cobre-tungsteno sirven como sustratos de disipación de calor, gestionando eficazmente el calor de las baterías de alta potencia y prolongando su vida útil.

En el campo médico, las propiedades de protección contra la radiación de las varillas de cobre-tungsteno las hacen prometedoras para su uso en equipos de protección contra rayos X y gamma,

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

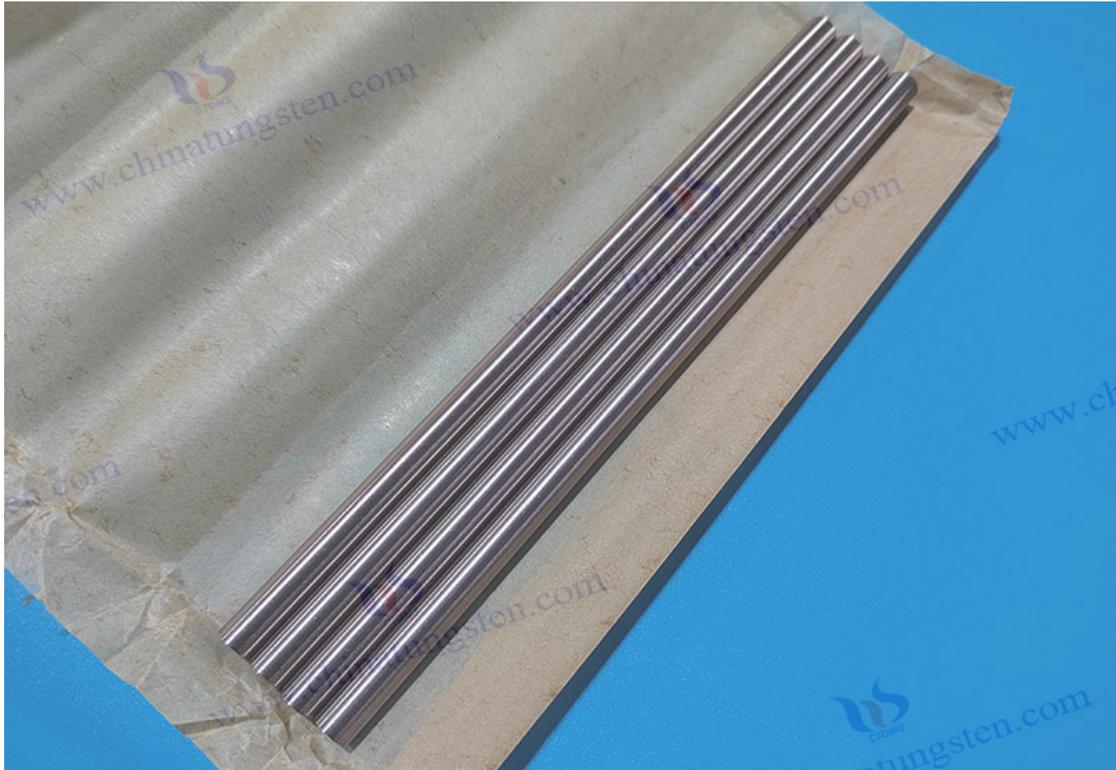
como componentes de blindaje para colimadores de TC y equipos de radioterapia. Su alta densidad y rendimiento de procesamiento facilitan la fabricación de formas complejas, cumpliendo con los requisitos de alta precisión de los equipos médicos.

La fabricación aditiva (impresión 3D) es otra área emergente. Mediante la tecnología de deposición por fusión por láser o haz de electrones para imprimir un esqueleto de tungsteno, combinada con un proceso de infiltración al vacío, es posible producir componentes de tungsteno-cobre con geometrías complejas. Este método supera las limitaciones del procesamiento tradicional y es adecuado para la producción personalizada de lotes pequeños en las industrias aeroespacial y electrónica. Por ejemplo, los disipadores de calor de tungsteno-cobre impresos en 3D pueden implementar diseños de microcanales internos, lo que mejora aún más la eficiencia de disipación térmica.

Además, las posibles aplicaciones de las varillas de cobre-tungsteno en la computación cuántica y los equipos de comunicación 6G son también notables. La computación cuántica requiere materiales de alta conductividad térmica en entornos de temperaturas ultrabajas, y la baja expansión térmica y la alta conductividad térmica de las varillas de cobre-tungsteno las convierten en un candidato prometedor. La alta densidad de potencia de las estaciones base 6G exige mayores exigencias en cuanto a la disipación térmica y los materiales de contacto eléctrico, y el rendimiento integral de las varillas de cobre-tungsteno puede satisfacer estos requisitos.

En resumen, las tendencias de mercado y desarrollo de las varillas de cobre-tungsteno están impulsadas por las mejoras industriales globales y las tecnologías emergentes. La mejora de las cadenas de suministro y la innovación tecnológica están impulsando su adopción generalizada tanto en los sectores tradicionales como en los emergentes. El desarrollo coordinado de la fabricación ecológica de alto rendimiento y las aplicaciones emergentes mejorará aún más la competitividad de las varillas de cobre-tungsteno en el mercado, lo que constituirá un apoyo fundamental para el desarrollo industrial futuro. La industria debe centrarse en el suministro de materias primas, el cumplimiento ambiental y la I+D tecnológica para abordar los desafíos del mercado y aprovechar las oportunidades de crecimiento.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Un apéndice

A. Glosario

Aleación de tungsteno y cobre: Material compuesto de matriz metálica que consta de tungsteno y cobre, con un contenido de cobre que normalmente varía entre el 10% y el 50%.

Proceso de infiltración al vacío: Un proceso para preparar varillas de cobre y tungsteno mediante la infiltración de cobre en un esqueleto de tungsteno en un entorno de vacío.

Efecto de sudoración del metal: A altas temperaturas (por ejemplo, superiores a 3000 °C), el cobre se licúa y se evapora, absorbiendo calor y reduciendo la temperatura de la superficie del material.

Conductividad eléctrica (%IACS): Conductividad estándar internacional para cobre recocido, utilizada para medir la conductividad eléctrica de un material.

Coefficiente de expansión térmica: La tasa de cambio de volumen o longitud de un material cuando cambia su temperatura.

Resistencia a la erosión por arco: Capacidad de un material para resistir daños por ablación bajo la acción de un arco.

Conformado cercano a la red: Tecnología de fabricación que obtiene directamente una forma cercana a la forma final optimizando el proceso y reduciendo el procesamiento posterior.

Electrodo de soldadura por resistencia: Electrodo utilizado para soldadura por resistencia, que debe ser resistente a altas temperaturas y al desgaste.

Electrodo EDM: Electrodo utilizado para EDM, con una alta tasa de erosión eléctrica y una baja tasa de desgaste.

Materiales de embalaje electrónico: Materiales utilizados para el embalaje de dispositivos semiconductores que tienen alta conductividad térmica y bajas propiedades de expansión térmica.

Método de absorción infrarroja por combustión de alta frecuencia: método analítico utilizado para determinar el contenido de carbono en aleaciones de tungsteno y cobre.

Método gravimétrico de cinchonina: método de análisis químico utilizado para determinar el contenido de tungsteno en aleaciones de tungsteno y cobre.

Conductividad térmica: Capacidad de un material para conducir calor, generalmente expresada en W/m·K.

Dureza (HB/HV): La dureza Brinell (HB) o dureza Vickers (HV) se utiliza para medir la resistencia de un material a la deformación.

B. Referencias

- [1] Universidad de Padua, Materiales y Diseño, 2023
- [2] AEM Metal, aleación de cobre y tungsteno
- [3] Chinatungsten, Preparación de varillas de aleación de tungsteno y cobre mediante el método de sinterización e infiltración a baja temperatura, 2024
- [4] Avances de la investigación sobre la preparación y las propiedades de compuestos de tungsteno-cobre de alto rendimiento. Casting Technology, 2023.
- [5] Análisis del desarrollo de aleaciones pesadas a base de tungsteno en mi país. Metales Raros, 2021.
- [6] Estado de la investigación y perspectivas de los materiales disipadores de calor para el divisor de reactores de fusión nuclear. Ciencia de los Materiales, 2022.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

- [7] Chinatungsten Online, Proceso de fabricación de cobre y tungsteno
- [8] Chinatungsten Online, mecanizado de varillas de cobre y tungsteno
- [9] Método de preparación de material de contacto de cobre y tungsteno con metal refractario
- [10] Chinatungsten , Preparación de varillas de aleación de tungsteno y cobre mediante el método de sinterización e infiltración a baja temperatura , 2024
- [11] ScienceDirect, Procesamiento ultrarrápido de nanocompuestos de tungsteno y cobre de alta dureza, 2016
- [12] Springer, Compuesto de cobre reforzado con nanopartículas de tungsteno preparado mediante un método sol -gel y reacción in situ, 2019
- [13] PMC, Formación de carburo de tungsteno in situ en un compuesto de matriz de cobre nanoestructurado mediante aleación mecánica y sinterización, 2022
- [14] ScienceDirect, Fabricación aditiva multimaterial de una estructura bimetálica de aleación de tungsteno y cobre con una capa intermedia de acero inoxidable y mecanismos de unión asociados, 2022
- [15] ScienceDirect, Estudio sobre el efecto de la tecnología de infiltración por fusión al vacío en las propiedades de la interfaz de unión de tungsteno/cobre, 2024
- [16] Fabricación aditiva de metales, Habilitando la revolución de la energía de fusión: Dominando el tungsteno con fabricación aditiva PBF-EB, 2024
- [17] MDPI, Una revisión sobre la fabricación aditiva de compuestos W-Cu, 2025
- [18] Confer, PREPARACIÓN DE COMPUESTOS W-CU POR INFILTRACIÓN DE ESQUELETOS W – REVISIÓN, 2021