Qué es la aleación de tungsteno, níquel y cobre

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

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

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

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Visión General de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
1.1 Definición y Clasificación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
1.1.1 Rango de Composición del Sistema Terciario
1.1.2 Clasificación por Densidad y Asociación con Aplicaciones
1.2 Historia de Desarrollo de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
1.2.1 Origen e Investigaciones Tempranas
1.2.2 Período Impulsado por Aplicaciones Militares
1.2.3 Aplicación a Gran Escala en la Industria Electrónica Moderna

Capítulo 2 Microestructura de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
2.1 Características Microestructurales de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
2.1.1 Distribución de Partículas de Wolframio
2.1.2 Distribución de la Fase de Unión Ni-Cu
2.1.3 Mecanismo de Formación del Cuello de Sinterización
2.2 Microestructura y Características de Interfaz de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
2.2.1 Resistencia de Enlace de la Interfaz entre Wolframio y Fase de Unión
2.2.2 Efectos de Elementos Traza en la Interfaz
2.3 Evolución Microestructural de la Aleación W-Ni-Cu
2.3.1 Ley de Crecimiento de Granos durante la Sinterización
2.3.2 Regulación de la Microestructura por Tratamiento Térmico

Capítulo 3 Propiedades Físicas y Químicas de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
3.1 Propiedades Mecánicas de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
3.1.1 Resistencia a la Tracción a Temperatura Ambiente
3.1.2 Alargamiento
3.1.3 Resistencia a Altas Temperaturas
3.1.4 Tenacidad a Impacto
3.2 Propiedades Térmicas y Eléctricas de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
3.2.1 Conductividad Térmica
3.2.2 Conductividad Eléctrica
3.2.3 Coeficiente de Expansión Térmica
3.2.4 Rendimiento de Dissipación de Calor
3.3 Estabilidad Química de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
3.3.1 Resistencia a la Corrosión
3.3.2 Propiedades Antioxidantes
3.4 Hoja de Datos de Seguridad de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre de CTIA GROUP LTD

Capítulo 4 Pruebas de Rendimiento y Normas de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
4.1 Método de Análisis de Composición de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
4.1.1 Tecnología de Análisis Espectral

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4.1.2 Detección de Elementos de Impureza
4.2 Método de Prueba de Rendimiento de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
4.2.1 Prueba de Densidad y Compacidad
4.2.2 Prueba de Resistencia a la Tracción y Resistencia de Fluencia
4.2.3 Prueba de Ductilidad
4.2.4 Prueba de Tenacidad
4.2.5 Prueba de Rendimiento Térmico
4.2.6 Prueba de Rendimiento Eléctrico
4.2.7 Prueba de Rendimiento Químico
4.3 Sistema de Normas de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
4.3.1 Norma Nacional China para la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
4.3.2 Normas Internacionales para las Aleaciones de Wolframio-Niquel-Cobre
4.3.3 Normas de Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre en Europa, América, Japón, Corea del Sur y Otros Países del Mundo

Capítulo 5 Tecnología de Preparación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
5.1 Pretratamiento de Materias Primas
5.1.1 Esferoidización de Polvo de Wolframio y Control de Tamaño de Partículas
5.1.2 Tratamiento de Superficie de Polvo de Niquel-Cobre
5.2 Proceso de Metalurgia de Polvos
5.2.1 Parámetros del Proceso de Mezcla de Polvos
5.2.2 Tecnología de Prensado
5.2.3 Proceso de Sinterización en Fase Líquida
5.3 Tecnología de Preparación Avanzada
5.3.1 Moldeo por Inyección de Metal
5.3.2 Tecnología de Prensado Isostático en Caliente
5.4 Postprocesado y Procesado
5.4.1 Maquinado de Precisión
5.4.2 Proceso de Tratamiento de Superficie

Capítulo 6 Aplicación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre en el Campo de la Información Electrónica
6.1 Envasado de Chips y Dissipación de Calor
6.1.1 Sustrato de Dissipación de Calor para Dispositivos de Alta Potencia
6.1.2 Disipador de Calor con Contrapeso para Módulo RF 5G
6.2 Equipos de Microondas y Radar
6.2.1 Ensamblaje de Peso de Antena
6.2.2 Componentes de Blindaje de Radar
6.3 Sistemas Microelectromecánicos
6.3.1 Contrapeso de Sensor Inercial
6.3.2 Componentes de Microequilibrio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 7 Aplicación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre en el Campo de la Energía y la Industria

7.1 Campo de los Vehículos de Nueva Energía

7.1.1 Peso de Rotor de Motor

7.1.2 Sustrato de Dissipación de Calor para Paquete de Baterías

7.2 Soluciones de Enfriamiento Industrial

7.2.1 Base de Enfriamiento de Servidor

7.2.2 Sustrato de Envasado para Semiconductores de Potencia

Capítulo 8 Aplicación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre en el Campo de la Defensa Nacional y la Industria Militar

8.1 Equipos de Contramedidas Electrónicas

8.1.1 Ensamblaje de Peso de Contramedidas

8.1.2 Componentes de Seudoobjetivo de Radar

8.2 Sistema de Munición

8.2.1 Contrapeso de Cabeza de Proyectil

8.2.2 Componentes de Equilibrio de Cabeza de Misil

8.3 Blindaje y Equipo de Protección

8.3.1 Refuerzos de Placa de Blindaje Ligero

8.3.2 Forros de Protección de Vehículos Blindados

8.4 Armas Espaciales

8.4.1 Componentes de Tobera de Motor de Cohete

8.4.2 Contrapesos de Control de Actitud de Nave Espacial

Capítulo 9 Aplicación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre en el Campo Médico

9.1 Equipos de Radioterapia

9.1.1 Ensamblaje de Blindaje de Radioterapia

9.1.2 Componentes de Colimador de Radiación

9.2 Equipos de Imagenología Diagnóstica

9.2.1 Piezas de Protección de Detector de TC

9.2.2 Contrapesos de Equipos de Resonancia Magnética

9.3 Instrumentos Quirúrgicos

9.3.1 Componentes de Posicionamiento de Navegación Quirúrgica de Alta Precisión

9.3.2 Componentes Guiadores de Dispositivos de Intervención Minimamente Invasiva

9.4 Dispositivos de Asistencia para la Rehabilitación

9.4.1 Componentes de Peso de Articulación Prostética

9.4.2 Piezas de Ajuste de Equilibrio para Equipos de Rehabilitación

Capítulo 10 Comparación entre la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre y Otros Materiales

10.1 Análisis de Materiales Competitivos de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre

10.1.1 Comparación con la Aleación de Wolframio-Niquel-Hierro

10.1.2 Comparación con la Aleación de Cobre-Wolframio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10.2 Investigación y Desarrollo de Tecnologías de Vanguardia para la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
10.2.1 Aleaciones Nanostructuradas
10.2.2 Materiales Gradientes Funcionales
10.3 Tecnología de Manufactura Verde de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
10.3.1 Proceso de Preparación Ambientalmente Amigable
10.3.2 Tecnología de Reciclaje de Residuos

Capítulo 11 Problemas Comunes y Soluciones de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
11.1 Proceso de Preparación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
11.1.1 Soluciones a Defectos de Sinterización
11.1.2 Control de Uniformidad de Composición
11.2 Análisis de Fallos de Aplicación de la Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
11.2.1 Soluciones a Fallos por Ciclos Térmicos
11.2.2 Protección contra la Corrosión Ambiental

Apéndice:
Terminología de Aleación de Wolframio-Niquel-Cobre
Referencias

CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Tungsten Nickel Copper Alloy Introduction

1. Overview of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten nickel copper alloy is an alloy composed of tungsten with added nickel and copper, typically in a nickel-to-copper ratio of 3:2. This alloy is non-ferromagnetic, exhibits relatively good electrical and thermal conductivity, and is commonly used in specialized applications such as gyroscope rotors, components for devices and instruments operating under magnetic fields, electrical contacts for high-voltage switches, and electrodes for certain electrical machining processes.

2. Features of Tungsten Nickel Copper Alloy

High Density: Typically 16.5 – 18.75 g/cm³

High Thermal Conductivity: Approximately 5 times that of mold steel

Compared to tungsten-nickel-iron alloy, since copper does not have the sintering activation effect of nickel and iron on tungsten, tungsten-nickel-copper alloy has a slightly lower sintered density, lower strength and plasticity, and is generally not subjected to heat treatment or deformation processing.

3. Production Methods for Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy is typically produced using powder metallurgy. First, high-purity tungsten, nickel, and copper powders are mixed in specific proportions, often using equipment like a ball mill to achieve uniform mixing. The mixture is then pressed into shape, commonly using cold isostatic pressing technology under a specific pressure to form a green compact. Subsequently, sintering is performed, generally in a hydrogen protective atmosphere, using a two-step sintering process to address collapse and deformation issues caused by liquid-phase sintering, ensuring the product's density.

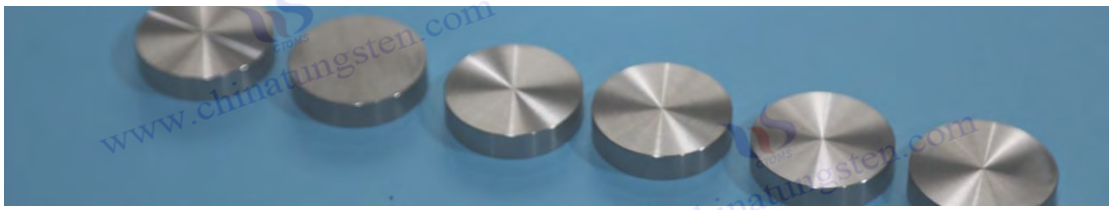
4. Applications of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy, with its high density and excellent thermal and electrical conductivity, has a wide range of applications. In the aerospace sector, it can be utilized to manufacture components such as rocket engine nozzles and gas rudders. In the medical field, due to its strong radiation absorption capability and non-magnetic properties, it is suitable for radiation shielding in magnetic resonance imaging rooms. Additionally, it can serve as a counterweight material for precision instruments.

5. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten-alloy.com



CTIA GROUP LTD tungsten nickel copper alloy

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 1 Descripción general de la aleación de tungsteno, níquel y cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es una aleación de alta densidad con tungsteno como componente principal y níquel y cobre como fase de enlace. Se utiliza ampliamente en las industrias aeroespacial, médica, de instrumentos de precisión y militar gracias a su alta densidad (16,5-18,5 g/cm³), excelentes propiedades mecánicas (resistencia a la tracción de 700-900 MPa, elongación del 5% al 15%), propiedades no magnéticas y buena resistencia a la corrosión. En comparación con la aleación de tungsteno-níquel-hierro, la aleación de tungsteno-níquel-cobre presenta propiedades no magnéticas gracias a la adición de cobre, lo que le confiere un buen rendimiento en entornos sensibles a las interferencias electromagnéticas, manteniendo una alta densidad y maquinabilidad.

1.1 Definición y clasificación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es una aleación de tungsteno de alta densidad preparada mediante pulvimetalurgia. Está compuesta principalmente por tungsteno (generalmente en una proporción del 85 % al 97 % en masa), con níquel y cobre como fases aglutinantes, lo que le confiere alta densidad, alta resistencia y buenas propiedades de procesamiento. Sus principales características son la no magneticidad, la excelente conductividad térmica (120-150 W/ m· K) y el bajo coeficiente de expansión térmica (4,5-6,0 × 10^{-6}/°C), lo que le confiere un buen rendimiento en escenarios que requieren contrapesos de alta densidad o blindaje contra la radiación. Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se pueden clasificar en diferentes tipos según el contenido de tungsteno, la relación níquel-cobre y los requisitos de rendimiento, y suelen clasificarse por densidad o campo de aplicación. A continuación, se analizará en detalle el rango de composición de su sistema ternario y la correlación entre la clasificación por densidad y la aplicación.

1.1.1 Rango de composición del sistema ternario

La aleación de tungsteno-níquel-cobre se compone principalmente de tungsteno (W), níquel (Ni) y cobre (Cu). La proporción de los tres afecta directamente la densidad, las propiedades mecánicas y las características de aplicación de la aleación. El tungsteno, como elemento de alta densidad (19,25 g/cm³), es el componente principal de la aleación, y normalmente representa entre el 85% y el 97% de la fracción de masa. El níquel y el cobre, como fases de enlace, rellenan los huecos entre las partículas de tungsteno, mejoran la tenacidad y las propiedades de procesamiento de la aleación y reducen la dureza (dureza Vickers 250-350 HV), lo que la hace más fácil de procesar que el tungsteno puro (dureza >400 HV). El rango típico de composición de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es: 85%-97% de tungsteno, 2%-10% de níquel y 1%-8% de cobre. La proporción específica se ajusta según los requisitos de la aplicación.

En la producción real, el contenido de tungsteno determina la densidad y la resistencia de la aleación. Por ejemplo, la aleación 90W-7Ni-3Cu (90 % tungsteno, 7 % níquel, 3 % cobre) es una fórmula común con una densidad de aproximadamente 17,0 g/cm³ y una resistencia a la tracción de aproximadamente 750-850 MPa, ideal para contrapesos aeroespaciales. Aumentando el contenido de tungsteno a 95W-3,5Ni-1,5Cu, se puede alcanzar una densidad de 18,0 g/cm³ y una resistencia de 800-900 MPa, ideal para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la protección contra la radiación médica. La función del níquel es mejorar la tenacidad y la resistencia a la corrosión, y su resistencia a la oxidación (formando una capa protectora de NiO) permite que la aleación tenga un buen rendimiento en ambientes húmedos o con exposición a sustancias químicas. La adición de cobre no solo mejora la tenacidad, sino que también hace que la aleación sea no magnética (el cobre es un material paramagnético), lo que la hace superior a las aleaciones de tungsteno, níquel y hierro en entornos electromagnéticamente sensibles (como los equipos de resonancia magnética). La conductividad térmica del cobre (aproximadamente 400 W/ m· K) también mejora la conductividad térmica de la aleación, lo que le otorga una ventaja en entornos donde se requiere una rápida disipación del calor (como los bloques de equilibrio de las máquinas de fotolitografía).

La selección de la proporción de la composición debe equilibrar el rendimiento y el costo. Cuanto mayor sea el contenido de tungsteno, mayor será la densidad y la resistencia, pero la dificultad de procesamiento aumenta y la escasez de recursos de tungsteno eleva el costo. La proporción de níquel y cobre debe controlarse con precisión. Un contenido demasiado alto de níquel puede aumentar el riesgo de sensibilización (las aplicaciones médicas deben pasar las pruebas de biocompatibilidad ISO 10993), y un contenido demasiado alto de cobre puede reducir la resistencia. En la producción, la aleación se prepara mediante pulvimetalurgia. El níquel y el cobre forman una fase líquida durante el proceso de sinterización, que promueve la unión de las partículas de tungsteno y la densidad puede alcanzar más del 99,5%. El control de calidad utiliza espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) o espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) para analizar la composición y garantizar la precisión del tungsteno ±0,5%, el níquel ±0,2% y el cobre ±0,2%. El análisis de microestructura (SEM-EDS) verifica además la distribución uniforme de las partículas de tungsteno y la integridad de la fase de unión para evitar poros o inclusiones que afecten el rendimiento. Ajustar el rango de composición (por ejemplo, aumentar el níquel al 8 % para mejorar la tenacidad) puede satisfacer requisitos específicos de la aplicación, como contrapesos de instrumentos de precisión o piezas de blindaje militar.

1.1.2 Clasificación de densidad y asociación de aplicaciones

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es fundamental para su clasificación y aplicación. Generalmente se divide en diferentes grados según el contenido de tungsteno, con un rango de densidad de 16,5 g/cm³ a 18,5 g/cm³, según los diferentes escenarios de aplicación. La clasificación por densidad afecta directamente el efecto de ponderación, el rendimiento de apantallamiento y las propiedades mecánicas de la aleación, y está estrechamente relacionada con las necesidades específicas de los sectores aeroespacial, médico, de instrumentos de precisión y militar. Normas internacionales como ASTM B777 e ISO 20886 clasifican las aleaciones de tungsteno en múltiples grados según su densidad. Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre generalmente se dividen en Clase 1 (16,5-17,0 g/cm³), Clase 2 (17,0-17,5 g/cm³), Clase 3 (17,5-18,0 g/cm³) y Clase 4 (18,0-18,5 g/cm³), y cada grado corresponde a un rendimiento y aplicaciones específicos.

Los grados de baja densidad (fórmula típica 90W-7Ni-3Cu) son adecuados para aplicaciones que requieren una densidad moderada y una alta tenacidad, como contrapesos aeroespaciales (alerones de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aviones o rotores de helicópteros). Su menor densidad (en comparación con las aleaciones con alto contenido de tungsteno) reduce el coste del material, manteniendo una resistencia a la tracción de 750-850 MPa y una elongación del 10-15 %, lo que las hace adecuadas para piezas sujetas a vibraciones o impactos. Durante el procesamiento, las aleaciones de Clase 1 se forman mediante sinterización en fase líquida y mecanizado (CNC o EDM) para satisfacer los altos requisitos de precisión de la industria aeroespacial.

Los grados de densidad media (fórmula típica 93W-5Ni-2Cu o 95W-3.5Ni-1.5Cu) se utilizan ampliamente en los campos de instrumentos médicos y de precisión. En equipos médicos CT/MRI, se utilizan aleaciones de clase 2/3 para blindar componentes, absorbiendo eficientemente rayos X y rayos gamma (el tungsteno tiene un alto número atómico Z=74) para proteger al personal y al equipo. Sus propiedades no magnéticas garantizan que no interfiera con el campo magnético de MRI, lo cual es mejor que las aleaciones de tungsteno níquel hierro. La resistencia a la tracción de 800-900 MPa y la conductividad térmica (120-140 W/ m· K) lo hacen adecuado para entornos dinámicos o de alta temperatura, como los colimadores de equipos de radioterapia. El procesamiento utiliza prensado isostático en caliente para garantizar una densidad de >99.5%, y los recubrimientos de superficie (como PVD TiN) mejoran la resistencia a la corrosión y al desgaste.

Los grados de alta densidad (fórmula típica 97W-2Ni-1Cu) se utilizan en instrumentos militares y de precisión de alta gama, como núcleos de proyectiles perforantes o bloques de equilibrio para plataformas de fotolitografía. La alta densidad proporciona una energía cinética o efecto de contrapeso extremadamente altos, y su resistencia a la tracción de 850-900 MPa garantiza una resistencia extrema a la tensión. El procesamiento es más complejo y requiere herramientas de CBN o micromaquinado láser. El control de calidad verifica la desviación de la densidad y la porosidad mediante la norma ASTM B777 para garantizar la consistencia del rendimiento.

La optimización de la clasificación de densidad y la asociación de aplicaciones debe considerar el equilibrio entre costo y rendimiento. Los grados de alta densidad son más caros (alto contenido de tungsteno) , pero adecuados para requisitos de alto rendimiento; los grados de baja densidad son más económicos y adecuados para la producción a gran escala. La fabricación aditiva (como SLM) permite lograr la producción personalizada de formas complejas y reducir los costos de procesamiento. En el futuro, el desarrollo de nuevas proporciones de níquel-cobre o la adición de oligoelementos (como el cobalto) pueden optimizar aún más la densidad y la tenacidad, y ampliar el ámbito de aplicación.

1.2 Historia del desarrollo de la aleación de tungsteno, níquel y cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre se utiliza ampliamente en las industrias aeroespacial, militar, médica y electrónica gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas. Su desarrollo ha pasado por múltiples etapas, desde la investigación básica hasta el impulso a la aplicación militar, y posteriormente a su aplicación a gran escala en la industria electrónica moderna. Los avances tecnológicos y la demanda del mercado en cada etapa han impulsado la optimización del rendimiento y la expansión de las aplicaciones de la aleación de tungsteno-níquel-cobre, convirtiéndola en un material

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

indispensable en el campo de la alta tecnología. Esta sección analizará en detalle el origen y las primeras investigaciones de la aleación de tungsteno-níquel-cobre, el período de impulso a la aplicación militar y el proceso de desarrollo de su aplicación a gran escala en la industria electrónica moderna, basándose en tecnología fiable y antecedentes históricos, evitando la interferencia de datos poco fiables.

1.2.1 Origen e investigaciones tempranas

de tungsteno , níquel y cobre se remonta a principios del siglo XX, con el auge de la investigación en aleaciones de alta densidad basadas en tungsteno. El tungsteno se considera una opción ideal para la fabricación de materiales de alto rendimiento debido a su alta densidad (19,25 g/cm³) y su elevado punto de fusión (3422 °C), pero la fragilidad y la dificultad de procesar el tungsteno puro limitan su aplicación. Las primeras investigaciones se centraron en mejorar las propiedades mecánicas y la maquinabilidad del tungsteno mediante la adición de una fase aglutinante. La introducción del níquel y el cobre como fase aglutinante se debe a su capacidad para formar una fase líquida a altas temperaturas, lo que favorece la unión de las partículas de tungsteno, a la vez que reduce la dureza de la aleación y mejora su tenacidad.

Desde la década de 1930 hasta la de 1950, los avances en la tecnología de pulvimetalurgia sentaron las bases para el desarrollo de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Los investigadores descubrieron que, mediante la sinterización en fase líquida, el níquel y el cobre pueden formar una fase de unión uniforme entre las partículas de tungsteno, lo que mejora significativamente la densidad (>99,5 %) y las propiedades mecánicas de la aleación. Los primeros experimentos exploraron principalmente los efectos de las diferentes proporciones de níquel-cobre en las propiedades de la aleación. Por ejemplo, la fórmula 90W-7Ni-3Cu tiene una densidad de aproximadamente 17,0 g/cm³ y una resistencia a la tracción de aproximadamente 750 MPa, lo que la hace adecuada para aplicaciones de contrapeso y blindaje. A diferencia de las aleaciones de tungsteno-níquel-hierro, la adición de cobre confiere a la aleación propiedades no magnéticas, lo que la hace potencialmente apta para entornos sensibles a las interferencias electromagnéticas. La investigación también se centra en la microestructura de la aleación, analizando la distribución de partículas de tungsteno y la estructura de fases mediante microscopía metalográfica y difracción de rayos X (XRD) para optimizar los parámetros del proceso de sinterización. El desarrollo durante este período se concentró principalmente en laboratorios y ensayos a pequeña escala, con aplicaciones limitadas, principalmente para investigación científica básica y experimentos industriales. Por ejemplo, la aleación de tungsteno-níquel-cobre se probó para los componentes de contrapeso de los primeros equipos de aviación debido a su alta densidad y propiedades no magnéticas, superiores a las del plomo o el acero. El proceso de producción se basa en hornos sencillos de prensado y sinterización de polvo, con baja precisión de procesamiento (tolerancia ±0,1 mm), lo que limita la fabricación de piezas con formas complejas. No obstante, las primeras investigaciones sentaron las bases teóricas para la optimización del rendimiento y la posterior aplicación de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, y consolidaron su posición en el campo de las aleaciones de alta densidad.

1.2.2 Período impulsado por la aplicación militar

Entre las décadas de 1960 y 1990, el desarrollo de aleaciones de tungsteno, níquel y cobre se vio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

impulsado significativamente por la demanda militar. Con la intensificación de la carrera armamentística durante la Guerra Fría, aumentó la demanda de materiales de alto rendimiento para sistemas de armas, especialmente de materiales de alta densidad, no magnéticos y de alta resistencia para municiones y equipos de protección. Las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre se han convertido en una opción ideal para la industria militar gracias a sus excelentes propiedades, especialmente en equipos sensibles a las interferencias electromagnéticas o de alta precisión.

En aplicaciones militares, las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se utilizan ampliamente para fabricar núcleos de proyectiles perforantes y componentes de blindaje. En comparación con las aleaciones de tungsteno-níquel-hierro (que presentan un ferromagnetismo débil), la naturaleza no magnética de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre las hace adecuadas para componentes de radar o sistemas de navegación electromagnética, evitando interferencias. Fórmulas típicas como 93W-5Ni-2Cu (densidad 17,5 g/cm³) se utilizan en los núcleos de proyectiles perforantes de energía cinética (APFSDS), que proporcionan una alta penetración a la vez que mantienen una buena tenacidad para resistir impactos a alta velocidad. La aleación también se utiliza para fabricar piezas de blindaje para misiles o buques, para absorber las ondas de radar o la radiación y proteger los equipos electrónicos. Los avances en los procesos de pulvimetalurgia, especialmente la introducción del prensado isostático en caliente, han mejorado significativamente la densidad y las propiedades mecánicas de la aleación para cumplir con los estándares militares.

La tecnología de producción mejoró significativamente durante este período. Los hornos de sinterización avanzados y el control de atmósfera (argón de alta pureza) redujeron la porosidad y mejoraron la uniformidad microestructural. Las técnicas de mecanizado (como CNC y EDM) lograron una alta precisión, lo que facilitó la fabricación de piezas con formas complejas. El control de calidad utilizó espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) para verificar la composición (tungsteno ± 0,5 %) y la estructura, garantizando así la consistencia del rendimiento. El impulso de la demanda militar impulsó la transición de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre del laboratorio a la producción industrial, con un aumento de la producción y una ligera reducción de los costes. Sin embargo, la escasez de recursos de tungsteno seguía limitando las aplicaciones a gran escala.

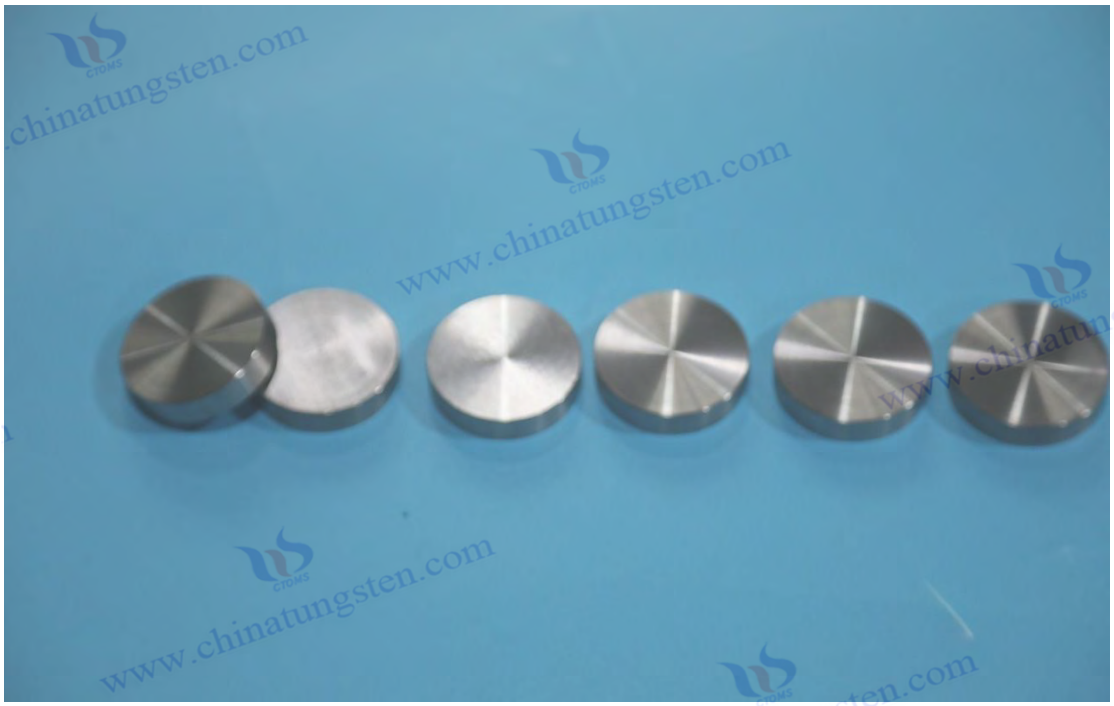
1.2.3 Aplicación a gran escala en la industria electrónica moderna

Al entrar en el siglo XXI, la aplicación a gran escala de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en la industria electrónica se ha convertido en un nuevo motor de su desarrollo. Con el rápido desarrollo de las industrias de semiconductores, instrumentos ópticos y equipos médicos, ha aumentado la demanda de materiales de alta densidad, no magnéticos y con alta conductividad térmica. La aleación de tungsteno-níquel-cobre se ha convertido en un material clave en la industria electrónica debido a su naturaleza no magnética, alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica, especialmente en los campos de las máquinas de litografía, los equipos de imagenología médica y los instrumentos de precisión. En la fabricación de semiconductores, las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se utilizan para bloques de equilibrado y componentes de amortiguación de vibraciones en plataformas litográficas. Por

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ejemplo, en litografía ultravioleta extrema (EUV), los bloques de equilibrado de 95W-3,5Ni-1,5Cu (densidad de 18,0 g/cm³) optimizan la estabilidad dinámica de la plataforma, suprimen las vibraciones subnanométricas y garantizan la precisión del grabado de patrones. Sus propiedades no magnéticas evitan la interferencia con sistemas electromagnéticos de alta precisión, y su conductividad térmica dispersa rápidamente el calor generado por el láser. En el ámbito médico, la aleación se utiliza para blindar componentes de equipos de TC/RM, absorbiendo eficazmente los rayos X y gamma (número atómico del tungsteno Z=74) para proteger al personal y al equipo. Su biocompatibilidad (probada por la norma ISO 10993) la hace adecuada para aplicaciones médicas, y los recubrimientos superficiales (como el PVD TiN) mejoran aún más la resistencia a la corrosión y la seguridad.

En términos de tecnología de producción, la introducción de la fabricación aditiva (SLM) ha mejorado significativamente la capacidad de fabricación de piezas complejas y ha reducido el desperdicio de material. Las tecnologías de fabricación ecológica (como la sinterización por microondas y la recuperación de calor residual) reducen el consumo de energía y cumplen con la norma de protección ambiental ISO 14001. Las tecnologías de reciclaje (como la disolución química y la separación electroquímica) aumentan la tasa de reutilización de las aleaciones de desecho y alivian la presión generada por la escasez de tungsteno. El control de calidad verifica la densidad, la resistencia y la porosidad mediante la norma ASTM B777, en combinación con pruebas de vibración y análisis de espectro para garantizar el rendimiento de los componentes. La gran demanda de la industria electrónica ha impulsado la automatización de la producción y la optimización de la cadena de suministro de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, lo que ha reducido aún más los costos y ha propiciado su uso generalizado en el sector de la alta tecnología.



CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 2 Microestructura de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es una aleación de alta densidad con tungsteno como componente principal (generalmente 85%-97% en masa) y níquel y cobre como fase de enlace. Su microestructura determina directamente sus excelentes propiedades físicas y químicas, como alta densidad (16,5-18,5 g/cm³), resistencia a la tracción (700-900 MPa), elongación (5%-15%), no magnetismo y buena conductividad térmica (120-150 W/ m· K) . La microestructura está compuesta principalmente por partículas de tungsteno y fases de enlace de níquel-cobre, y se forma una estructura uniforme y densa mediante procesos de pulvimetalurgia como la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente. Las partículas de tungsteno proporcionan alta densidad y alta resistencia, mientras que la fase de enlace de níquel-cobre mejora la tenacidad y las propiedades de procesamiento, a la vez que le otorga a la aleación propiedades no magnéticas.

2.1 Características microestructurales de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

Las características microestructurales de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre son la base de sus propiedades, las cuales se manifiestan en la distribución e interacción de las partículas de tungsteno y las fases aglutinantes de níquel-cobre a escala micrométrica. Las partículas de tungsteno (estructura cúbica centrada en el cuerpo, BCC) como fase principal ocupan entre el 80% y el 95% del volumen de la aleación, proporcionando alta densidad y alta dureza (dureza Vickers 250-350 HV). La fase aglutinante de níquel-cobre (estructura cúbica centrada en las caras, FCC) llena los espacios entre las partículas de tungsteno para formar una matriz continua, mejorando la tenacidad y la resistencia a la corrosión. La microestructura se caracteriza mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia de energía dispersiva (EDS) y difracción de rayos X (XRD), mostrando la distribución uniforme de las partículas de tungsteno y la estructura en red de las fases de níquel-cobre. La sinterización en fase líquida permite que el níquel y el cobre formen una matriz líquida a alta temperatura, lo que promueve la reorganización y la unión de las partículas de tungsteno, alcanzando una densidad superior al 99,5 %. El prensado isostático en caliente elimina aún más la microporosidad y garantiza la homogeneidad estructural. Estas características hacen que la aleación tenga un excelente rendimiento en contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y contrapesos de equilibrio en la industria electrónica. La distribución de las partículas de tungsteno y la distribución de la fase aglutinante de níquel-cobre se analizarán en detalle a continuación.

2.1.1 Distribución de partículas de tungsteno

de tungsteno son el núcleo de la microestructura de la aleación de tungsteno-níquel-cobre, que afecta directamente la densidad, la resistencia y la estabilidad térmica de la aleación. Las partículas de tungsteno son generalmente poligonales o casi esféricas, con un rango de tamaño de partícula de 10-50 μm , y el tamaño específico depende del tamaño de partícula del polvo crudo y los parámetros del proceso de sinterización. En una fórmula típica (como 90W-7Ni-3Cu o 95W-3.5Ni-1.5Cu), las partículas de tungsteno representan el 80%-95% de la fracción de volumen, formando una estructura de esqueleto de alta densidad, proporcionando la masa principal (densidad 16.5-18.5 g/cm³) y la dureza (dureza Vickers

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

250-350 HV) de la aleación. A través de la observación SEM, las partículas de tungsteno están distribuidas uniformemente, sin aglomeración o poros obvios, y el contacto entre las partículas es cercano y los límites son claros. Esta distribución uniforme se debe al efecto humectante de la fase líquida de níquel-cobre durante la sinterización en fase líquida, que provoca que las partículas de tungsteno se reorganicen y formen una estructura densa.

de tungsteno se ven afectadas por numerosos factores. En primer lugar, la calidad del polvo crudo es crucial. El polvo de tungsteno de alta pureza (pureza > 99,9 %) se prepara mediante atomización o reducción para garantizar un tamaño de partícula uniforme tras la sinterización. Un tamaño de partícula demasiado grande puede provocar un aumento de las separaciones entre partículas y una reducción de la densidad; si es demasiado pequeño, puede aumentar la contracción de sinterización, lo que resulta en deformaciones o grietas. En segundo lugar, los parámetros del proceso de sinterización influyen significativamente en la distribución de las partículas. Una temperatura de sinterización adecuada permite que la fase líquida de níquel-cobre humedezca completamente las partículas de tungsteno y promueva su reorganización; temperaturas excesivamente altas pueden provocar un crecimiento excesivo de partículas de tungsteno y reducir la tenacidad. El prensado isostático en caliente (HIP) comprime aún más las partículas mediante alta presión y temperatura, elimina los microporos y mejora la resistencia de contacto entre ellas. El análisis de XRD muestra que las partículas de tungsteno mantienen una estructura BCC, no experimentan una disolución sólida significativa con la fase de níquel-cobre y conservan una alta dureza y estabilidad térmica.

tungsteno es crucial para el rendimiento de la aleación. Una distribución uniforme de las partículas garantiza la consistencia de la densidad y proporciona un control estable del centro de gravedad en contrapesos aeroespaciales. La alta densidad mejora la resistencia a la tracción y es adecuada para núcleos de perforación de blindaje militar, que soportan cargas de alto impacto. El análisis SEM-EDS se utiliza para verificar la uniformidad de la distribución de las partículas y garantizar la ausencia de inclusiones o segregaciones. El control de calidad se realiza según la norma ASTM B777, y se utilizan pruebas de densidad y análisis metalográficos para confirmar que la distribución de las partículas cumple con los requisitos.

2.1.2 Distribución de la fase de enlace Ni-Cu

La fase de enlace de níquel-cobre desempeña un papel fundamental en la aleación de tungsteno-níquel-cobre, rellenando los huecos entre las partículas de tungsteno, formando una matriz continua y mejorando significativamente la tenacidad, la maquinabilidad y las propiedades no magnéticas de la aleación. La fase de níquel-cobre presenta una estructura cúbica centrada en las caras (FCC), que suele representar entre el 5 % y el 20 % de la fracción volumétrica. La proporción específica depende de la fórmula de la aleación (por ejemplo, una fracción másica de níquel-cobre del 10 % en 90W-7Ni-3Cu). Mediante observación mediante SEM, la fase de níquel-cobre se distribuye formando una red, envolviendo las partículas de tungsteno para formar una matriz de enlace uniforme. El análisis EDS muestra que el níquel y el cobre forman una solución sólida (aleación de Ni-Cu) en la fase de enlace sin una separación de fases evidente, y la relación atómica de níquel-cobre se acerca a la relación de diseño (por ejemplo, 7:3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

o 3,5:1,5). Esta distribución uniforme se debe a las características de bajo punto de fusión del níquel (punto de fusión 1455 °C) y del cobre (punto de fusión 1085 °C) durante el proceso de sinterización en fase líquida, formando una fase líquida para humedecer las partículas de tungsteno, llenar los espacios y promover la densificación.

Las características de distribución de la fase aglutinante de níquel-cobre influyen significativamente en las propiedades de la aleación. El níquel proporciona una excelente resistencia a la corrosión (formando una capa protectora de NiO), lo que mantiene la aleación estable en entornos húmedos o químicos (como entornos de esterilización de equipos médicos). La adición de cobre mejora la conductividad térmica, lo cual resulta adecuado para bloques de equilibrio o piezas de blindaje que requieren una rápida disipación del calor en la industria electrónica. La principal ventaja de la fase de níquel-cobre es su amagnetismo. Dado que tanto el níquel como el cobre son materiales paramagnéticos, se evitan las interferencias ferromagnéticas, lo que resulta adecuado para aplicaciones sensibles a los campos electromagnéticos, como equipos de resonancia magnética o máquinas de fotolitografía. La tenacidad de la fase de níquel-cobre compensa la fragilidad de las partículas de tungsteno, lo que reduce la propensión a la formación de grietas durante el procesamiento (como el torneado CNC y el fresado) o bajo cargas dinámicas (como entornos de vibración aeroespacial). La optimización del proceso de sinterización es clave para lograr una distribución uniforme. La sinterización en fase líquida requiere el control de la temperatura y la atmósfera (argón de alta pureza) para evitar el flujo excesivo de la fase líquida de níquel-cobre y la segregación. El prensado isostático en caliente (HIP) compacta aún más la fase aglutinante, elimina los microporos y garantiza la continuidad de la matriz.

La distribución de las fases de níquel-cobre también presenta algunos desafíos. Un contenido excesivo de níquel puede aumentar el riesgo de sensibilización y requiere pruebas de biocompatibilidad ISO 10993 en aplicaciones médicas. Un contenido excesivo de cobre puede reducir la resistencia, ya que la resistencia de la solución sólida de Ni-Cu es menor que la de las partículas de tungsteno. Durante el procesamiento, la ductilidad de la fase de níquel-cobre puede causar adherencias o rebabas superficiales, por lo que es necesario optimizar los parámetros de corte (como el corte a baja velocidad y las herramientas de CBN). El control de calidad analiza la distribución y la composición de la fase de níquel-cobre mediante SEM-EDS y XRD para verificar la homogeneidad de la solución sólida. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN o DLC) puede mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste, y prolongar la vida útil de los componentes. En el futuro, la tecnología de fabricación aditiva puede lograr una distribución personalizada de las fases de níquel-cobre mediante el control preciso de las proporciones de polvo y los parámetros de impresión (como la potencia del láser), optimizando aún más el rendimiento de la aleación en piezas de blindaje médico o contrapesos electrónicos.

2.1.3 Mecanismo de formación del cuello de sinterización

La formación del cuello de sinterización es el mecanismo clave para la densificación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre durante la sinterización en fase líquida, lo que afecta directamente la microestructura, las propiedades mecánicas y la densidad (>99,5 %) de la aleación. La aleación de tungsteno-níquel-cobre se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia, siendo la sinterización en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

fase líquida el paso principal. En este proceso, el níquel (punto de fusión 1455 °C) y el cobre (punto de fusión 1085 °C) forman una matriz líquida a alta temperatura, humedecen las partículas de tungsteno (punto de fusión 3422 °C, que permanecen sólidas), promueven la unión entre ellas y forman el cuello de sinterización. El cuello de sinterización es el área de conexión formada por el puente de fase líquida entre las partículas de tungsteno, lo que mejora la integridad estructural y la resistencia de la aleación.

Al comienzo de la sinterización, se mezclan polvo de tungsteno (tamaño de partícula de 10-50 μm), polvo de níquel y polvo de cobre, y se prensan para formar una pieza en bruto. El punto de contacto inicial es puntual y la separación entre las partículas es amplia. Cuando la temperatura alcanza un cierto nivel, el níquel y el cobre se funden para formar una fase líquida de Ni-Cu. Gracias a su baja tensión superficial y a su buena humectabilidad con el tungsteno (ángulo de contacto <30°), la fase líquida llena rápidamente la separación entre las partículas de tungsteno y humedece la superficie de la partícula por capilaridad. La humectación de la fase líquida promueve la reorganización de las partículas, lo que provoca que estas se muevan y se acerquen para formar una estructura de apilamiento más compacta. A medida que aumenta el tiempo de retención, la fase líquida actúa sobre las partículas de tungsteno mediante mecanismos de difusión y reprecipitación de la solución. Una pequeña cantidad de átomos de tungsteno se disuelve en la fase líquida y reprecipita en el punto de contacto de las partículas para formar un cuello de sinterización. El crecimiento del cuello de sinterización mejora la fuerza de unión entre las partículas y mejora significativamente la densidad de la aleación.

En la etapa posterior de la sinterización, la fase líquida continúa llenando los poros restantes y elimina los poros diminutos por difusión y transferencia de masa. El prensado isostático en caliente compacta aún más la estructura y elimina los poros residuales, y la densidad puede alcanzar el 99,5 %. La observación SEM muestra que el cuello de sinterización es una estructura en forma de arco o puente, que conecta partículas de tungsteno adyacentes para formar una red de esqueleto tridimensional. El análisis XRD confirma que las partículas de tungsteno mantienen una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC) sin una solución sólida significativa, y la solución sólida de Ni-Cu en la fase líquida es una estructura cúbica centrada en la cara (FCC). La formación del cuello de sinterización se ve afectada por los parámetros del proceso: una temperatura demasiado alta puede causar un flujo excesivo de la fase líquida, lo que resulta en la segregación de níquel-cobre o un crecimiento excesivo de partículas de tungsteno, lo que reduce la tenacidad; una temperatura demasiado baja dará como resultado una fase líquida insuficiente, un cuello de sinterización incompleto y una densidad reducida. La relación níquel-cobre (normalmente 7:3 o 3,5:1,5) también afecta la cantidad de fase líquida. Un alto contenido de níquel aumenta la fluidez de la fase líquida y promueve el crecimiento del cuello de sinterización, pero puede reducir la resistencia. Un alto contenido de cobre reduce el punto de fusión de la fase líquida, lo cual favorece la sinterización, pero puede causar segregación.

La formación de cuellos de sinterización es crucial para el rendimiento. Los cuellos de sinterización ajustados mejoran la unión entre partículas, la resistencia a la tracción (700-900 MPa) y la tenacidad, lo que los hace adecuados para contrapesos aeroespaciales o núcleos de perforación de blindaje militar que soportan altas tensiones. La distribución uniforme de los cuellos de sinterización garantiza la consistencia de la densidad y proporciona una absorción de radiación estable en piezas de blindaje médico. El control

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de calidad analiza la morfología y la composición de los cuellos de sinterización mediante microscopía metalográfica y SEM-EDS para verificar la porosidad y la distribución de la fase líquida. En el futuro, el uso de polvo de tungsteno a nanoescala o tecnología de sinterización rápida (como la sinterización por plasma de chispa, SPS) puede optimizar la formación de los cuellos de sinterización, acortar el tiempo de sinterización, mejorar la eficiencia y mantener el rendimiento.

2.2 Microestructura y características de la interfaz de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre, especialmente la fuerza de unión interfacial entre las partículas de tungsteno y la fase de unión de níquel-cobre, desempeña un papel decisivo en sus propiedades mecánicas, estabilidad térmica y durabilidad. Esta fuerza determina la fiabilidad de la aleación bajo cargas dinámicas (como vibraciones o impactos) o entornos de alta temperatura, e influye directamente en su rendimiento en aplicaciones como contrapesos aeroespaciales, componentes de blindaje médico y bloques de equilibrio para la industria electrónica. La interfaz entre las partículas de tungsteno (estructura BCC) y la fase de unión de níquel-cobre (estructura FCC) se une firmemente mediante sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente, mostrando una excelente estabilidad mecánica y química.

2.2.1 Resistencia de unión de la interfaz de fase de aglutinante de tungsteno

La fuerza de unión de la interfaz de la fase tungsteno-aglutinante es una característica clave de la microestructura de la aleación tungsteno-níquel-cobre, que determina la resistencia a la tracción, la tenacidad y la resistencia a la fatiga de la aleación. La unión de la interfaz se forma por la humectación y difusión de la fase líquida de níquel-cobre durante el proceso de sinterización en fase líquida. La superficie de las partículas de tungsteno forma una interfaz semicoherente o no coherente con la solución sólida de Ni-Cu. La fuerza de unión proviene principalmente de la intercalación mecánica, la unión química y la difusión. La observación SEM muestra que la interfaz es una zona de transición continua y suave con un espesor de aproximadamente 0,1-1 μm , sin grietas o poros obvios. El análisis EDS muestra que hay una ligera difusión de elementos en la interfaz, y una pequeña cantidad de átomos de tungsteno se disuelve en la fase níquel-cobre para formar una capa de transición para mejorar la fuerza de unión. La resistencia de unión de la interfaz se evalúa mediante pruebas de tracción (ASTM E8) y análisis fractográfico, que generalmente muestran una alta resistencia al corte y una buena tenacidad a la fractura.

La sinterización en fase líquida es un proceso clave para la formación de enlaces interfaciales. A 1450-1550 °C, el níquel y el cobre se funden para formar una fase líquida de Ni-Cu, que humedece las partículas de tungsteno (ángulo de humectación <30°) y rellena los huecos entre las partículas mediante capilaridad. La baja tensión superficial y el alto coeficiente de difusión de la fase líquida promueven la microdisolución de la superficie del tungsteno (solubilidad <2 % en peso) para formar enlaces químicos. En la etapa posterior de la sinterización, la fase líquida se solidifica para formar una solución sólida de Ni-Cu con estructura FCC, que envuelve las partículas de tungsteno, y el enclavamiento mecánico mejora aún más la unión interfacial. El prensado isostático en caliente (HIP) comprime la interfaz a alta presión, elimina los microporos, aumenta el área de contacto y mejora la resistencia de la unión. La calidad de la resistencia de la unión interfacial afecta directamente el rendimiento de la aleación. En contrapesos aeroespaciales, una alta resistencia de unión garantiza que los componentes no sufran desprendimiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

interfacial bajo vibración de alta frecuencia; en piezas de blindaje médico, una interfaz estable garantiza un uso a largo plazo sin degradación del rendimiento. La resistencia de unión interfacial se ve afectada por muchos factores. La pureza (>99,9 %) y el estado de la superficie (como el contenido de óxido <0,1 %) del polvo de tungsteno son cruciales para la humectabilidad. Los óxidos pueden causar defectos interfaciales y reducir la resistencia de unión. La relación níquel-cobre (normalmente 7:3) afecta la cantidad de fase líquida y las propiedades de la solución sólida. Un contenido demasiado alto de níquel puede provocar un exceso de fase líquida en la interfaz, causando segregación; un contenido demasiado alto de cobre (>8 %) reduce la resistencia de la solución sólida. Los parámetros de sinterización deben controlarse con precisión. Una temperatura demasiado alta puede causar una disolución excesiva de partículas de tungsteno, ensanchando la interfaz pero reduciendo la resistencia; una temperatura demasiado baja puede resultar en una fase líquida insuficiente y una unión incompleta de la interfaz. El control de calidad utiliza TEM y EBSD para analizar la microestructura de la interfaz y verificar la correspondencia cristalográfica y la distribución de defectos. El análisis de fracturas muestra que el modo de fractura más fuerte en la interfaz es principalmente una fractura dúctil, con características de hoyuelos.

Optimizar la resistencia de la unión de la interfaz requiere procesos mejorados. El uso de polvo de tungsteno a escala nanométrica puede aumentar el área de contacto de la interfaz y mejorar la resistencia de la unión (>600 MPa). La tecnología de sinterización rápida (como SPS) reduce la difusión excesiva de la interfaz debido a altas temperaturas a corto plazo y mantiene la estabilidad estructural. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN) puede mejorar la resistencia a la corrosión de la interfaz y prolongar la vida útil de los componentes médicos o electrónicos.

2.2.2 Efectos de los oligoelementos en la interfaz

La resistencia de la unión de la interfaz de tungsteno-aglutinante de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre es un factor clave para determinar sus propiedades mecánicas y confiabilidad, y la introducción de oligoelementos tiene un efecto significativo en las características de la interfaz. Los oligoelementos (como cobalto, molibdeno, cromo, carbono u oxígeno, generalmente <0,5 % en peso) pueden provenir de impurezas en el polvo crudo o agregarse intencionalmente para optimizar la unión de la interfaz, las propiedades mecánicas o la resistencia a la corrosión. Estos elementos afectan la resistencia de la unión (resistencia al corte >500 MPa) entre las partículas de tungsteno y la solución sólida de Ni-Cu (estructura FCC) al cambiar la mojabilidad, el comportamiento de difusión y la microestructura de la interfaz de la fase líquida de níquel-cobre. En contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y bloques de equilibrio de la industria electrónica, la optimización de la resistencia de la interfaz está directamente relacionada con la estabilidad a largo plazo y la resistencia a la fatiga de los componentes.

Las trazas de cobalto se utilizan a menudo como aditivos porque forman una solución sólida de FCC más estable con níquel, lo que mejora la resistencia y la tenacidad de la fase de unión. El análisis SEM-EDS muestra que el cobalto se distribuye uniformemente en la fase de níquel-cobre, lo que aumenta la humectabilidad de la fase líquida durante la sinterización en fase líquida (el ángulo de contacto se reduce a <25°), promueve el crecimiento de cuellos de sinterización y mejora la resistencia de la unión interfacial (que puede aumentarse a 550-600 MPa). El cobalto también inhibe la disolución del tungsteno en la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

interfaz, reduce el espesor de la capa de transición de la interfaz, mantiene la interfaz limpia y reduce el riesgo de grietas. Sin embargo, un contenido excesivo de cobalto puede causar segregación de la interfaz y reducir la tenacidad. Las trazas de molibdeno, debido a su alto punto de fusión (2623 °C) y su estructura cristalina similar (BCC) al tungsteno, pueden mejorar la unión química en la interfaz y mejorar la resistencia a altas temperaturas, lo que lo hace adecuado para núcleos de proyectiles perforantes militares o componentes electrónicos de alta temperatura. El molibdeno refuerza la fase níquel-cobre mediante solución sólida y aumenta la resistencia al corte de la interfaz, pero cantidades excesivas pueden causar fragilización de la interfaz.

Las cantidades traza de carbono y oxígeno suelen estar presentes como impurezas, que pueden provenir de óxidos de polvo de tungsteno o atmósfera de sinterización (pureza de argón insuficiente). El carbono forma carburos (como compuestos de WC o Ni-C) en la interfaz, lo que puede aumentar la dureza local (la dureza Vickers aumenta a 400 HV), pero también puede causar concentración de tensión interfacial y reducir la tenacidad a la fractura. El oxígeno puede formar inclusiones de óxido (como WO_3 o NiO) , debilitando la unión interfacial y haciendo que los componentes de blindaje médico o aeroespacial fallen bajo cargas dinámicas. Controlar el contenido de impurezas requiere materias primas de alta pureza y una atmósfera de argón de alta pureza. Las cantidades traza de cromo pueden mejorar la resistencia a la corrosión de la fase de níquel-cobre (formando una capa protectora de Cr_2O_3), pero tienen poco efecto en la unión interfacial debido a su solubilidad limitada. La caracterización de los efectos de la interfaz se realizó mediante microscopía electrónica de transmisión (MET) y difracción de retrodispersión de electrones (EBSD) para verificar la distribución de los elementos traza y las características cristalográficas de la interfaz. Los ensayos de tracción (ASTM E8) y el análisis de fractura mostraron que la interfaz con elementos traza optimizados presentaba características de fractura dúctil (dimples), mientras que el exceso de impurezas conducía a una fractura frágil. La optimización del proceso requiere un control estricto del contenido de elementos traza (precisión de detección ICP-AES ±0,01%) y la eliminación de defectos de la interfaz mediante prensado isostático en caliente.

2.3 Evolución microestructural de la aleación W-Ni-Cu

La evolución microestructural de las aleaciones de WNiCu ocurre a lo largo de todo el proceso de producción, desde el prensado del polvo hasta la sinterización y el tratamiento térmico, lo que implica cambios dinámicos en el crecimiento del grano, la distribución de fases y la estructura de la interfaz. Estos cambios afectan directamente la densidad, la resistencia y la tenacidad de la aleación, lo que determina su rendimiento en contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y bloques de equilibrio en la industria electrónica. La sinterización en fase líquida y el tratamiento térmico son procesos clave para controlar la evolución de la microestructura, y la microestructura ideal se puede lograr optimizando parámetros del proceso como la temperatura, el tiempo de mantenimiento y la atmósfera.

2.3.1 Ley de crecimiento del grano durante la sinterización

La ley de crecimiento de grano durante la sinterización es el núcleo de la evolución microestructural de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, que afecta directamente al tamaño de partícula de tungsteno, la formación del cuello de sinterización y las propiedades de la aleación. La sinterización en fase líquida es el proceso principal, que implica tres etapas de reordenamiento de partículas, disolución-reprecipitación y difusión en estado sólido, impulsando el crecimiento de partículas de tungsteno (estructura BCC, tamaño de partícula inicial 10-50 μm) y la densificación microestructural. En la etapa temprana de la sinterización, el polvo de tungsteno, el polvo de níquel y el polvo de cobre se prensan en palanquillas. Cuando la temperatura se eleva a un cierto nivel, el níquel y el cobre se funden para formar una fase líquida de Ni-Cu, que humedece las partículas de tungsteno e impulsa el reordenamiento de partículas a través de la acción capilar. En esta etapa, el crecimiento de grano es limitado y las partículas mantienen su tamaño inicial.

Durante la sinterización (manteniendo la temperatura durante 1-2 horas), la fase líquida promueve el crecimiento del grano mediante el mecanismo de disolución-reprecipitación. Una pequeña cantidad de átomos de tungsteno se disuelve en la fase líquida y reprecipita en el punto de contacto de las partículas para formar un cuello de sinterización. El crecimiento del grano sigue la ley de maduración de Ostwald. Las partículas grandes crecen engullendo partículas pequeñas, y la distribución del tamaño de partícula se amplía. La temperatura de sinterización y el tiempo de mantenimiento son factores clave: una temperatura demasiado alta o un tiempo de mantenimiento demasiado prolongado provocan un crecimiento excesivo y una menor tenacidad; una temperatura demasiado baja provoca una fase líquida insuficiente, un crecimiento lento del grano y una menor densidad. La relación níquel-cobre ambién afecta la cantidad de fase líquida. Un alto contenido de níquel aumenta la fluidez de la fase líquida y promueve el crecimiento del grano, pero puede causar segregación; un alto contenido de cobre reduce la viscosidad de la fase líquida, acelera el crecimiento, pero puede reducir la resistencia.

En la etapa posterior de la sinterización, la difusión en estado sólido densifica aún más la estructura y la porosidad se reduce a <1 %. El prensado isostático en caliente suprime el crecimiento excesivo de grano comprimiendo las partículas a alta presión. El análisis SEM muestra que los granos son poligonales o casi esféricos, y que los cuellos de sinterización están distribuidos uniformemente. La difracción de rayos X (DRX) confirma que el tungsteno mantiene una estructura BCC sin cambios de fase significativos. El control de la ley de crecimiento de grano es crucial para el rendimiento: un tamaño de partícula moderado garantiza alta resistencia y tenacidad, ideal para colimadores médicos; un tamaño de partícula mayor proporciona alta densidad, ideal para núcleos de proyectiles militares.

2.3.2 Regulación de la microestructura mediante tratamiento térmico

El tratamiento térmico es un método importante para regular la microestructura de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Optimiza las propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión y la estabilidad térmica mediante el ajuste del tamaño de grano, la unión interfacial y la tensión residual. El tratamiento térmico se suele realizar después de la sinterización, incluyendo el recocido, el envejecimiento o el temple-revenido. El proceso específico se diseña según los requisitos de la aplicación. El recocido es el método de tratamiento térmico más utilizado, cuyo objetivo es eliminar la tensión residual durante la sinterización y el procesamiento, mejorar la tenacidad y el rendimiento del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

procesamiento, manteniendo al mismo tiempo la alta densidad y las propiedades no magnéticas de la aleación.

El proceso de recocido regula la microestructura mediante difusión y recristalización. A altas temperaturas, los defectos cristalinos (como dislocaciones y límites de grano) en la fase de enlace níquel-cobre (estructura FCC) se reparan por difusión para reducir la tensión interna. Las partículas de tungsteno (estructura BCC) no experimentan una recristalización significativa debido a su elevado punto de fusión (3422 °C), pero trazas de tungsteno disueltas en la interfaz la suavizan aún más y mejoran la resistencia de la unión (resistencia al corte >550 MPa).

Las temperaturas de recocido demasiado altas pueden inducir el crecimiento del grano en la fase de níquel-cobre y reducir la resistencia; las temperaturas demasiado bajas resultarán en un alivio de tensiones insuficiente y una mejora limitada de la tenacidad. El tratamiento de envejecimiento puede mejorar la resistencia de la fase de unión mediante la precipitación de trazas de una segunda fase (como Ni_3Cu) en la solución sólida de Ni-Cu, pero debe evitarse una precipitación excesiva que provoque fragilización.

El tratamiento térmico también puede regular la resistencia a la corrosión y la conductividad térmica. Tras el recocido, se forma una densa capa protectora de NiO sobre la superficie de la fase de níquel-cobre, lo que mejora la resistencia a la corrosión (la resistencia a los ácidos aumenta entre un 20 % y un 30 %) y resulta ideal para el uso prolongado en equipos médicos. La conductividad térmica se mejora ligeramente (entre un 5 % y un 10 %) al optimizar la distribución del límite de grano, lo cual resulta beneficioso para los componentes de disipación de calor en la industria electrónica. Los análisis TEM y EBSD muestran que, tras el tratamiento térmico, la capa de transición interfacial es más uniforme, se reducen los defectos en el borde de grano y la fractura presenta características de tenacidad (hoyuelos). El control de calidad verifica la mejora del rendimiento mediante ensayos de tracción (ASTM E8) y de dureza (ASTM E92). El tratamiento térmico debe realizarse en argón de alta pureza para evitar inclusiones de óxido.

CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Tungsten Nickel Copper Alloy Introduction

1. Overview of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten nickel copper alloy is an alloy composed of tungsten with added nickel and copper, typically in a nickel-to-copper ratio of 3:2. This alloy is non-ferromagnetic, exhibits relatively good electrical and thermal conductivity, and is commonly used in specialized applications such as gyroscope rotors, components for devices and instruments operating under magnetic fields, electrical contacts for high-voltage switches, and electrodes for certain electrical machining processes.

2. Features of Tungsten Nickel Copper Alloy

High Density: Typically 16.5 – 18.75 g/cm³

High Thermal Conductivity: Approximately 5 times that of mold steel

Compared to tungsten-nickel-iron alloy, since copper does not have the sintering activation effect of nickel and iron on tungsten, tungsten-nickel-copper alloy has a slightly lower sintered density, lower strength and plasticity, and is generally not subjected to heat treatment or deformation processing.

3. Production Methods for Tungsten Nickel Copper Alloy

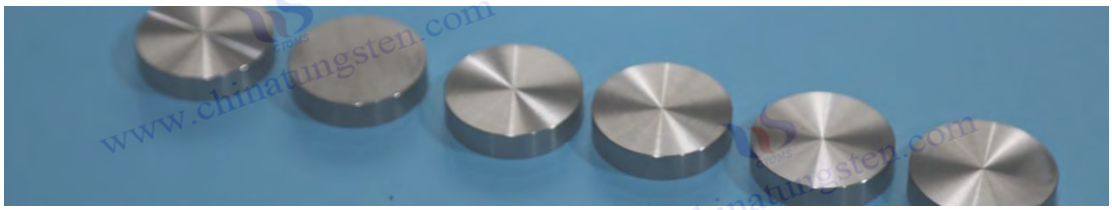
Tungsten-nickel-copper alloy is typically produced using powder metallurgy. First, high-purity tungsten, nickel, and copper powders are mixed in specific proportions, often using equipment like a ball mill to achieve uniform mixing. The mixture is then pressed into shape, commonly using cold isostatic pressing technology under a specific pressure to form a green compact. Subsequently, sintering is performed, generally in a hydrogen protective atmosphere, using a two-step sintering process to address collapse and deformation issues caused by liquid-phase sintering, ensuring the product's density.

4. Applications of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy, with its high density and excellent thermal and electrical conductivity, has a wide range of applications. In the aerospace sector, it can be utilized to manufacture components such as rocket engine nozzles and gas rudders. In the medical field, due to its strong radiation absorption capability and non-magnetic properties, it is suitable for radiation shielding in magnetic resonance imaging rooms. Additionally, it can serve as a counterweight material for precision instruments.

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.tungsten-alloy.com



CTIA GROUP LTD tungsten nickel copper alloy

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 3 Propiedades físicas y químicas de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un material de alto rendimiento y alta densidad, ampliamente utilizado en los sectores aeroespacial, médico, electrónico y militar gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas. Esta aleación se compone principalmente de tungsteno, complementado con níquel y cobre como fase de enlace, lo que forma una estructura no magnética de alta densidad y excelentes propiedades mecánicas. Su alta densidad garantiza una distribución eficiente de la masa en un espacio limitado; la fase de enlace de níquel-cobre le confiere buena tenacidad y maquinabilidad, y sus propiedades no magnéticas le permiten un buen rendimiento en entornos sensibles a las interferencias electromagnéticas.

3.1 Propiedades mecánicas de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre presenta su principal ventaja en aplicaciones de alto rendimiento, especialmente en entornos que requieren resistencia a tensiones mecánicas, vibraciones o impactos, como contrapesos aeroespaciales, colimadores médicos o núcleos de perforación de blindaje militar. Sus propiedades mecánicas incluyen principalmente resistencia a la tracción, elongación, dureza y resistencia a la fatiga, derivadas del efecto sinérgico de la alta dureza de las partículas de tungsteno y la tenacidad de la fase de unión níquel-cobre. La aleación se prepara mediante pulvimetalurgia, y los procesos de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente garantizan una microestructura densa que le permite mantener su integridad estructural en un entorno dinámico. En comparación con la fragilidad del tungsteno puro, la fase de unión níquel-cobre mejora significativamente la plasticidad y la maquinabilidad de la aleación, permitiéndole cumplir con los requisitos de fabricación de formas complejas y alta precisión.

3.1.1 Resistencia a la tracción a temperatura ambiente

La aleación de tungsteno-níquel-cobre a temperatura ambiente es el indicador principal de sus propiedades mecánicas, lo que refleja su capacidad para resistir la fractura bajo cargas de tracción. Esta propiedad le permite soportar altas tensiones en contrapesos aeroespaciales, núcleos de proyectiles militares y bloques de equilibrio de la industria electrónica, lo que garantiza la estabilidad estructural y la fiabilidad de los componentes. Su excelente resistencia a la tracción se debe a la alta dureza de las partículas de tungsteno y al efecto de refuerzo de la fase de enlace de níquel-cobre. El tungsteno, como componente principal, proporciona una estructura de esqueleto resistente, y su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo le confiere a la aleación una dureza y una resistencia a la deformación extremadamente altas. La fase de enlace de níquel-cobre forma una matriz continua mediante sinterización en fase líquida, rellenando los huecos entre las partículas de tungsteno, mejorando la fuerza de enlace entre ellas y permitiendo que la aleación disperse eficazmente la tensión durante el estiramiento y evite la fractura localizada.

El rendimiento de la resistencia a la tracción se ve afectado conjuntamente por la composición de la aleación y las condiciones del proceso. Las aleaciones con mayor contenido de tungsteno (como 95%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de tungsteno) generalmente tienen mayor resistencia a la tracción porque la densidad y dureza de las partículas de tungsteno proporcionan el soporte principal. La proporción de níquel y cobre también tiene una influencia importante en la resistencia. El níquel mejora la tenacidad y la resistencia a la corrosión de la fase de unión, mientras que el cobre mejora la conductividad térmica y las propiedades no magnéticas. Una proporción adecuada de níquel-cobre (como 7:3 o 3,5:1,5) asegura una buena unión entre la fase de unión y las partículas de tungsteno, formando una microestructura uniforme y evitando la concentración de tensiones. El proceso de sinterización en fase líquida forma una matriz líquida de níquel y cobre a alta temperatura, humedece las partículas de tungsteno, promueve la formación de cuellos de sinterización y mejora aún más la fuerza de unión entre las partículas.

En diversas aplicaciones, la resistencia a la tracción de la aleación de tungsteno-níquel-cobre le permite soportar vibraciones de alta frecuencia en componentes aeroespaciales o impactos a alta velocidad en núcleos de proyectiles militares. Por ejemplo, en los contrapesos de los alerones de aeronaves, la aleación debe resistir cargas dinámicas durante el vuelo, y su alta resistencia a la tracción garantiza que los componentes no se deformen ni se rompan. En equipos de radioterapia en el campo médico, el colimador debe soportar la tensión mecánica y la fatiga causadas por el uso prolongado, y su alta resistencia a la tracción garantiza su precisión y durabilidad. La optimización del proceso es clave para mejorar la resistencia a la tracción, como controlar la temperatura de sinterización y el tiempo de mantenimiento, evitar el crecimiento excesivo de partículas de tungsteno o la segregación de las fases de níquel-cobre, y garantizar la uniformidad de la microestructura.

3.1.2 Elongación

El alargamiento es un indicador importante para medir la plasticidad y tenacidad de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, reflejando el grado en que la aleación puede experimentar deformación plástica antes de la fractura por tracción. En comparación con la fragilidad del tungsteno puro, el alargamiento de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se mejora significativamente, haciéndolas menos propensas a la fractura frágil cuando se someten a impacto o vibración, y adecuadas para escenarios de aplicación que requieren un cierto grado de tenacidad, como contrapesos de robots quirúrgicos o componentes de reducción de vibraciones de equipos electrónicos. El excelente rendimiento en el alargamiento se atribuye principalmente a la tenacidad de la fase de enlace níquel-cobre. El níquel proporciona una buena capacidad de deformación plástica con su estructura cristalina cúbica centrada en la cara, mientras que el cobre mejora aún más la ductilidad de la fase de enlace, permitiendo que la aleación absorba energía a través de la deformación plástica cuando se somete a tensión y evite la fractura repentina. Esta propiedad permite que la aleación exhiba una buena resistencia a la fatiga en entornos dinámicos.

La elongación se ve afectada por la composición, la microestructura y el proceso de producción de la aleación. Un aumento en el contenido de níquel suele incrementar la elongación debido a que el níquel presenta mayor tenacidad que el tungsteno, puede dispersar eficazmente la tensión y prolongar el proceso de deformación. Sin embargo, un contenido de níquel demasiado alto puede reducir la resistencia general, por lo que es necesario encontrar un equilibrio entre tenacidad y resistencia. La adición de cobre mejora aún más la elongación, ya que su alta ductilidad reduce la dureza de la fase de unión, haciendo que la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aleación sea más susceptible al flujo plástico durante el estiramiento. El proceso de sinterización en fase líquida forma una matriz uniforme de níquel-cobre a alta temperatura, rellenando los huecos entre las partículas de tungsteno para formar una estructura de red continua que facilita la transferencia de tensión y la deformación plástica. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la tenacidad y la elongación de la aleación al eliminar los microporos y optimizar la unión de la interfaz. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, también pueden mejorar el rendimiento plástico de la aleación al eliminar la tensión residual y optimizar la estructura del límite de grano.

En el escenario de aplicación, el alargamiento afecta directamente la aplicabilidad de la aleación. En el campo aeroespacial, los contrapesos deben soportar vibraciones e impactos de alta frecuencia. Un mayor alargamiento garantiza que los componentes no se fracturen frágilmente bajo cargas dinámicas y prolonga su vida útil. En la industria electrónica, el bloque de equilibrio de la plataforma litográfica debe resistir pequeñas vibraciones, y un alargamiento moderado garantiza la estabilidad de los componentes en el uso a largo plazo. Si bien las piezas de blindaje en el campo médico dependen principalmente de una alta densidad, un alargamiento adecuado las reduce la probabilidad de agrietarse durante el procesamiento y la instalación. La optimización del proceso debe centrarse en los oligoelementos y el control de impurezas, por ejemplo, evitando que impurezas como el oxígeno o el carbono formen fases frágiles y reduzcan el alargamiento. El tratamiento de la superficie (como el pulido o el recubrimiento) también puede reducir los defectos superficiales y mejorar la capacidad de deformación plástica. En el futuro, controlando con precisión la relación níquel-cobre e introduciendo tecnologías de fabricación avanzadas (como la fabricación aditiva) , se puede optimizar aún más el alargamiento para mejorar el rendimiento de la aleación en escenarios con requisitos de alta tenacidad.

3.1.3 Resistencia a altas temperaturas

La aleación de tungsteno-níquel-cobre posee una importante propiedad mecánica en entornos de alta temperatura, lo que refleja la retención de resistencia y la estabilidad estructural de la aleación bajo tensión térmica. Esta propiedad la hace sobresalir en campos como la industria aeroespacial, militar y electrónica que requieren soportar entornos de alta temperatura, como componentes de misiles, contrapesos de turbocompresores o bloques de equilibrio en equipos electrónicos de alta temperatura. Su excelente resistencia a altas temperaturas se debe al efecto sinérgico del alto punto de fusión del tungsteno y la estabilidad térmica de la fase aglutinante de níquel-cobre. El tungsteno, como componente principal, tiene un punto de fusión extremadamente alto y puede mantener la integridad de la estructura cristalina a alta temperatura y resistir la deformación térmica y el ablandamiento. La fase aglutinante de níquel-cobre mejora aún más las propiedades mecánicas y la resistencia a la oxidación de la aleación a alta temperatura al formar una solución sólida estable, lo que le permite mantener su rendimiento durante mucho tiempo en un entorno de alta temperatura.

La resistencia a altas temperaturas se ve afectada significativamente por la composición y la microestructura de la aleación. Las aleaciones con mayor contenido de tungsteno muestran una mayor resistencia al ablandamiento a altas temperaturas debido a que la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del tungsteno tiene una estabilidad térmica extremadamente alta y puede resistir el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

deslizamiento del límite de grano o el movimiento de dislocación causado por altas temperaturas. El níquel proporciona protección antioxidante en la fase aglutinante, y la capa de óxido formada en su superficie previene eficazmente la erosión por oxígeno y mantiene la integridad estructural de la aleación. Aunque la adición de cobre reduce el punto de fusión de la fase aglutinante, su alta conductividad térmica ayuda a dispersar rápidamente el calor y reducir la degradación del rendimiento causada por el sobrecalentamiento local. El proceso de sinterización en fase líquida forma una microestructura uniforme a altas temperaturas, y las partículas de tungsteno se combinan estrechamente con la fase aglutinante de níquel-cobre a través del cuello de sinterización, lo que mejora la resistencia de la unión interfacial a altas temperaturas. El proceso de prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, lo que hace que la aleación sea menos propensa a fallar debido a la expansión de poros a altas temperaturas. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, mejoran aún más la estabilidad mecánica a altas temperaturas al eliminar la tensión residual y optimizar la estructura del límite de grano. En aplicaciones prácticas, su resistencia a altas temperaturas convierte a la aleación de tungsteno-níquel-cobre en la opción ideal para entornos de alta temperatura. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, los turbocompresores o los contrapesos de misiles deben soportar el calor generado por gases a alta temperatura o la fricción. La resistencia de la aleación a altas temperaturas garantiza que las piezas mantengan su forma y resistencia en condiciones extremas. En la industria electrónica, los equipos electrónicos de alta temperatura (como los componentes de gestión térmica de las máquinas de litografía) requieren materiales que mantengan la estabilidad dimensional a altas temperaturas. La baja expansión térmica de la aleación, combinada con su resistencia a altas temperaturas, satisface esta demanda. La optimización del proceso es crucial para mejorar la resistencia a altas temperaturas. Por ejemplo, controlando la temperatura y la atmósfera de sinterización, evitando inclusiones de óxido o el crecimiento excesivo de grano, y manteniendo la estabilidad de la microestructura. La adición de oligoelementos (como el molibdeno) puede mejorar aún más la resistencia a altas temperaturas, pero se deben evitar cantidades excesivas para prevenir la fragilización de la interfaz. El control de calidad verifica la estabilidad del rendimiento de la aleación mediante pruebas de tracción a alta temperatura y pruebas de ciclos térmicos para garantizar su fiabilidad en entornos de alta temperatura.

3.1.4 Tenacidad al impacto

La tenacidad al impacto es la capacidad de la aleación de tungsteno-níquel-cobre para resistir la fractura al ser sometida a impactos repentinos o cargas dinámicas, lo que refleja su tenacidad y fiabilidad en entornos de alta tensión. Esta propiedad es especialmente importante en aplicaciones como contrapesos aeroespaciales, núcleos perforantes de blindaje militar y colimadores de equipos médicos, ya que garantiza que los componentes no sufran fracturas frágiles bajo vibración, impacto o cargas transitorias. En comparación con la fragilidad del tungsteno puro, la tenacidad al impacto de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es significativamente mejor, principalmente debido al efecto plástico de la fase de unión níquel-cobre. La tenacidad del níquel le permite absorber energía durante el impacto y dispersar la tensión mediante deformación plástica, mientras que la alta ductilidad del cobre mejora aún más la resistencia al agrietamiento de la fase de unión, permitiendo que la aleación muestre un buen comportamiento de fractura tenaz ante el impacto.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

La tenacidad al impacto se ve afectada por la composición, la microestructura y el proceso de producción de la aleación. Las partículas de tungsteno proporcionan alta dureza y resistencia, formando un esqueleto sólido de la aleación; sin embargo, su fragilidad debe compensarse mediante la fase de enlace níquel-cobre. Esta fase forma una matriz continua que encapsula las partículas de tungsteno y transmite y dispersa eficazmente la energía del impacto mediante la unión interfacial. Un mayor contenido de níquel suele mejorar la tenacidad al impacto, ya que su estructura cúbica centrada en las caras posee una excelente capacidad de deformación plástica y puede formar hoyuelos bajo el impacto para absorber la energía. La adición de cobre mejora aún más la tenacidad, y su ductilidad reduce la dureza de la fase de enlace, haciendo que la aleación sea más propensa a la fluencia plástica en lugar de a la fractura frágil bajo impacto. El proceso de sinterización en fase líquida mejora la fuerza de enlace entre las partículas y evita el desprendimiento interfacial bajo impacto mediante la formación de cuellos de sinterización uniformes y una microestructura densa. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la tenacidad al impacto y reduce el punto de inicio de las microfisuras al compactar la estructura.

En el ámbito de aplicación, la tenacidad al impacto determina directamente la fiabilidad y durabilidad de la aleación. En el sector aeroespacial, los contrapesos de aeronaves o helicópteros deben soportar vibraciones e impactos provocados por el despegue, el aterrizaje o las turbulencias. Una mayor tenacidad al impacto garantiza que los componentes no fallen debido a cargas transitorias. En los núcleos de proyectiles perforantes militares, las aleaciones deben soportar impactos a alta velocidad (velocidad inicial de 1500 a 1800 m/s), y una buena tenacidad al impacto garantiza que el núcleo mantenga su integridad al penetrar el blindaje. En equipos médicos, los colimadores o los componentes de robots quirúrgicos pueden sufrir impactos accidentales, y la tenacidad al impacto garantiza que su precisión y funcionamiento no se vean afectados. La optimización de procesos debe centrarse en el control de impurezas traza (como carbono u oxígeno) para evitar la formación de fases frágiles que reducen la tenacidad. El tratamiento superficial (como el pulido o el recubrimiento) puede reducir los defectos superficiales y mejorar aún más la resistencia al impacto.

3.2 Propiedades térmicas y eléctricas de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

Las propiedades térmicas y eléctricas de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre son fundamentales para su aplicación en el sector de la alta tecnología, especialmente en entornos que requieren una gestión térmica eficiente o compatibilidad electromagnética, como bloques de equilibrio para máquinas de litografía en la industria electrónica, piezas de blindaje para CT/MRI médicas y componentes de alta temperatura en la industria aeroespacial. Las propiedades térmicas incluyen principalmente la conductividad térmica y la expansión térmica, que determinan la capacidad de disipación térmica y la estabilidad dimensional de la aleación en entornos de alta temperatura. Las propiedades eléctricas se reflejan principalmente en la conductividad eléctrica y el amagnetismo, lo que garantiza que la aleación no cause interferencias en entornos sensibles a los campos electromagnéticos. Estas propiedades se derivan de la alta estabilidad térmica del tungsteno y la excelente conductividad térmica y eléctrica de la fase de enlace níquel-cobre, y se logran sinérgicamente mediante la optimización de los procesos de pulvimetalurgia. En cuanto a las propiedades térmicas, las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre presentan una alta conductividad térmica, lo que permite una rápida disipación del calor y la prevención

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

del sobrecalentamiento local. Esto se debe a la alta conductividad térmica del cobre y a la distribución uniforme de la solución sólida de níquel-cobre. La alta estabilidad térmica de las partículas de tungsteno garantiza la integridad estructural de la aleación a altas temperaturas. El bajo coeficiente de expansión térmica permite que la aleación mantenga la estabilidad dimensional con los cambios de temperatura, evitando la deformación causada por el estrés térmico, y es especialmente adecuada para aplicaciones con requisitos de precisión extremadamente altos, como plataformas de máquinas de litografía o equipos médicos. En el proceso de producción, la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente garantizan la compacidad de la microestructura y reducen la resistencia del límite de grano en la conducción térmica. El proceso de tratamiento térmico mejora aún más la conductividad térmica al optimizar la estructura del límite de grano, manteniendo al mismo tiempo las características de baja expansión térmica.

En términos de propiedades eléctricas, la naturaleza no magnética de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es su mayor ventaja, que se debe a las propiedades paramagnéticas del níquel y el cobre, que evitan la interferencia electromagnética y le permiten funcionar bien en entornos sensibles a los electromagnetismo, como equipos de resonancia magnética, máquinas de litografía y sistemas de radar. Aunque la conductividad eléctrica de la aleación es menor que la del cobre puro, es suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de las aplicaciones electrónicas, especialmente en escenarios donde se debe tener en cuenta la alta densidad y la compatibilidad electromagnética. La conductividad de la fase aglutinante de níquel-cobre proporciona a la aleación propiedades eléctricas estables, mientras que la baja conductividad de las partículas de tungsteno se compensa con la optimización de la microestructura. El control del proceso debe evitar inclusiones de óxido o segregación que afecten la conductividad o el no magnetismo. Los recubrimientos de superficie (como PVD TiN) pueden proteger aún más la aleación de la corrosión ambiental y mantener la estabilidad de las propiedades eléctricas.

3.2.1 Conductividad térmica

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es el principal indicador de su rendimiento térmico, lo que refleja su capacidad para conducir y dispersar rápidamente el calor. Esta propiedad le confiere una ventaja significativa en aplicaciones que requieren una gestión térmica eficiente, como bloques de equilibrio para máquinas de litografía en la industria electrónica, blindaje contra la radiación en equipos médicos y componentes aeroespaciales de alta temperatura. El excelente rendimiento en conductividad térmica se debe principalmente al efecto sinérgico de la alta conductividad térmica del cobre y la fase de enlace níquel-cobre. El cobre, como metal con alta conductividad térmica, puede conducir rápidamente el calor desde la fuente de calor a otras áreas para evitar el sobrecalentamiento local, mientras que la adición de níquel forma una solución sólida estable y mejora la conductividad térmica de la fase de enlace. Si bien el tungsteno tiene una conductividad térmica menor que el cobre, su alta estabilidad térmica garantiza que la aleación mantenga su integridad estructural a altas temperaturas y evite deformaciones o fallos debidos a la tensión térmica.

La conductividad térmica se ve afectada significativamente por la composición y la microestructura de la aleación. La proporción de la fase de enlace níquel-cobre determina directamente el rendimiento de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

conductividad térmica. Las aleaciones con mayor contenido de cobre generalmente presentan una mejor conductividad térmica, ya que esta supera con creces la del tungsteno y el níquel. Sin embargo, un contenido excesivo de cobre puede reducir la resistencia general de la aleación, por lo que es necesario encontrar un equilibrio entre la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El proceso de sinterización en fase líquida forma una matriz uniforme de níquel-cobre a alta temperatura, rellena los huecos entre las partículas de tungsteno, reduce la resistencia de los límites de grano y los poros a la conducción térmica y, por lo tanto, mejora la conductividad térmica. El proceso de prensado isostático en caliente optimiza aún más la densidad de la microestructura al eliminar los microporos, lo que facilita la transferencia de calor. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, también pueden mejorar eficazmente la conductividad térmica mediante la reparación de defectos cristalinos y la optimización de la estructura de los límites de grano, lo que garantiza la estabilidad del rendimiento de la aleación en entornos de alta temperatura.

En aplicaciones prácticas, el nivel de conductividad térmica afecta directamente el rendimiento de las aleaciones en campos de alta tecnología. Por ejemplo, en la plataforma de litografía, la aleación necesita dispersar rápidamente el calor generado por el láser o el motor para mantener una precisión subnanométrica. Una excelente conductividad térmica garantiza la estabilidad térmica de la plataforma. En equipos médicos de TC, las piezas de blindaje generarán calor bajo radiación de alta energía. Una alta conductividad térmica ayuda a disipar rápidamente el calor para evitar el sobrecalentamiento o la degradación del rendimiento del equipo. En el campo aeroespacial, los misiles o componentes de turbinas operan en entornos de gas a alta temperatura. La conductividad térmica de la aleación garantiza las capacidades de gestión térmica de los componentes y extiende su vida útil. La optimización del proceso debe prestar atención a la pureza de la materia prima y a los parámetros de sinterización para evitar inclusiones o segregaciones de óxido que reduzcan la conductividad térmica.

3.2.2 Conductividad

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un indicador importante de sus propiedades eléctricas, lo que refleja su capacidad para conducir corriente. Aunque su conductividad eléctrica es menor que la del cobre puro, es suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de las aplicaciones electrónicas y médicas, especialmente en escenarios donde se deben tener en cuenta la alta densidad y la compatibilidad electromagnética. El rendimiento moderado de la conductividad eléctrica proviene del equilibrio entre la conductividad de la fase de enlace níquel-cobre y la conductividad relativamente baja de las partículas de tungsteno. El cobre, como metal altamente conductor, proporciona la principal ruta de conducción de corriente para la aleación, mientras que la adición de níquel forma una solución sólida estable de Ni-Cu, manteniendo una conductividad eléctrica moderada. Aunque las propiedades de alta resistencia del tungsteno reducen la conductividad general, su alta densidad y no magnetismo le otorgan ventajas únicas en entornos sensibles a las interferencias electromagnéticas, evitando por completo la interferencia magnética.

El rendimiento de la conductividad eléctrica se ve afectado por la composición, la microestructura y el proceso de producción de la aleación. Las aleaciones con mayor contenido de cobre generalmente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

presentan una conductividad eléctrica más alta, ya que la conductividad eléctrica del cobre es mucho mayor que la del níquel y el tungsteno. Sin embargo, un contenido de cobre demasiado alto puede reducir la resistencia, por lo que es necesario lograr un equilibrio entre la conductividad eléctrica y las propiedades mecánicas optimizando la relación níquel-cobre (por ejemplo, 7:3 o 3,5:1,5). El proceso de sinterización en fase líquida reduce la resistencia del límite de grano y promueve una transferencia de corriente fluida mediante la formación de una matriz continua de níquel-cobre. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la densidad de la microestructura y elimina los efectos negativos de los poros y las inclusiones en la conductividad. La gestión de impurezas es fundamental. Por ejemplo, impurezas como el oxígeno o el carbono pueden formar óxidos o carburos no conductores, lo que reduce la conductividad. Por lo tanto, para la sinterización se requieren materias primas de alta pureza (tungsteno > 99,9 %) y una atmósfera de argón de alta pureza. En diversos escenarios de aplicación, la conductividad moderada y la ausencia de magnetismo hacen que la aleación de tungsteno-níquel-cobre tenga un buen rendimiento en la industria electrónica y el sector médico. Por ejemplo, en equipos de resonancia magnética (MRI), las piezas de blindaje de la aleación deben evitar la interferencia del campo magnético, y la conductividad moderada, combinada con la ausencia de magnetismo, garantiza una alta sensibilidad y precisión del equipo. En la máquina de litografía, la conductividad del bloque de equilibrio facilita su funcionamiento normal en el entorno electromagnético y evita la acumulación o interferencia de electricidad estática. La optimización del proceso debe centrarse en la uniformidad de la microestructura para evitar la segregación o defectos que reduzcan la conductividad.

3.2.3 Coeficiente de expansión térmica

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es una característica clave de su rendimiento térmico, lo que refleja su estabilidad dimensional ante cambios de temperatura. Su bajo coeficiente de expansión térmica le confiere una ventaja significativa en aplicaciones que requieren alta precisión y estabilidad térmica, como plataformas litográficas, colimadores médicos y contrapesos aeroespaciales. Este bajo rendimiento de expansión térmica se debe principalmente a las características inherentes de baja expansión térmica del tungsteno, combinadas con la moderada ductilidad de la fase de enlace níquel-cobre, lo que permite que la aleación mantenga su forma y estabilidad dimensional ante fluctuaciones de temperatura, evitando la deformación o el agrietamiento causados por la tensión térmica.

El coeficiente de expansión térmica se ve afectado tanto por la composición de la aleación como por su microestructura. El alto punto de fusión del tungsteno y su estructura cúbica centrada en el cuerpo le confieren una tasa de expansión térmica extremadamente baja, que domina las características generales de expansión térmica de la aleación. El níquel y el cobre tienen coeficientes de expansión térmica más altos que el tungsteno, pero mediante un diseño de relación razonable, se minimiza la contribución de la fase de enlace a la expansión térmica. El proceso de sinterización en fase líquida forma una microestructura uniforme, y las partículas de tungsteno se unen firmemente a la matriz de níquel-cobre a través del cuello de sinterización, lo que reduce el deslizamiento del límite de grano o la concentración de tensión térmica. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la densidad y la estabilidad térmica de la estructura al eliminar la microporosidad. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, mejoran la estabilidad dimensional de la aleación durante los ciclos térmicos al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

optimizar la estructura del límite de grano y eliminar la tensión residual, evitando así las microfisuras causadas por los cambios de temperatura.

En aplicaciones prácticas, el bajo coeficiente de expansión térmica convierte a la aleación de tungsteno, níquel y cobre en la opción ideal para equipos de alta precisión. Por ejemplo, en una máquina de fotolitografía, la plataforma debe mantener una precisión subnanométrica durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento del láser. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad de la plataforma y evita que la deformación térmica afecte el grabado de patrones. En el sector aeroespacial, los contrapesos operan en gases a alta temperatura o entornos de baja temperatura, y el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad del centro de gravedad. El colimador en equipos médicos debe mantener su forma bajo el calor generado por la radiación, y las características de baja expansión térmica garantizan su precisión y fiabilidad. La optimización del proceso debe evitar que impurezas (como oxígeno o carbono) formen fases de alta expansión que afecten al rendimiento general.

3.2.4 Rendimiento de disipación de calor

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un reflejo integral de su rendimiento térmico. Combina las ventajas de una alta conductividad térmica y un bajo coeficiente de expansión térmica, lo que permite una rápida dispersión del calor y mantener la estabilidad dimensional. Este rendimiento la hace excelente en aplicaciones que requieren una gestión térmica eficiente, como los componentes de gestión térmica de las máquinas de fotolitografía en la industria electrónica, el blindaje contra la radiación en equipos médicos y los componentes de alta temperatura en la industria aeroespacial. Su excelente disipación térmica se debe a la alta conductividad térmica del cobre y a la distribución uniforme de la matriz de níquel-cobre, que permite una rápida transferencia de calor desde la fuente de calor al exterior para evitar el sobrecalentamiento local. Al mismo tiempo, las características de baja expansión térmica garantizan que los componentes no se deformen ni fallen durante los ciclos térmicos.

La disipación térmica se ve afectada conjuntamente por la composición de la aleación, la microestructura y el proceso de producción. El aumento del contenido de cobre mejora significativamente la eficiencia de disipación térmica, ya que el cobre tiene una conductividad térmica mucho mayor que el tungsteno y el níquel, lo que le permite transferir el calor con mayor rapidez. La adición de níquel forma una solución sólida estable de Ni-Cu, que mejora la conductividad térmica de la fase de unión y proporciona protección antioxidante para evitar que la oxidación a alta temperatura reduzca la disipación térmica. La alta estabilidad térmica de las partículas de tungsteno garantiza la integridad estructural de la aleación a altas temperaturas, evitando el ablandamiento térmico o la degradación del rendimiento. El proceso de sinterización en fase líquida reduce los obstáculos a la conducción térmica desde los límites de grano y los poros mediante la formación de una matriz continua de níquel-cobre. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la densidad de la microestructura y elimina la resistencia de los microporos a la conducción térmica. El tratamiento superficial (como un recubrimiento de alta conductividad térmica o un pulido a Ra < 0,4 μm) puede mejorar la disipación térmica superficial y acelerar la transferencia de calor al medio ambiente. En aplicaciones prácticas, la disipación térmica determina directamente la aplicabilidad de la aleación en campos de alta tecnología. En máquinas de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

fotolitografía, el bloque de equilibrio debe dispersar rápidamente el calor generado por el láser o el motor, y una excelente disipación térmica garantiza la estabilidad térmica y la precisión de la plataforma. En equipos de TC médicos, las piezas de protección generan calor bajo radiación de alta energía, y una disipación térmica eficiente evita el sobrecalentamiento del equipo y prolonga su vida útil. En el sector aeroespacial, los componentes de turbinas o misiles operan en un entorno de gas a alta temperatura, y la disipación térmica garantiza la fiabilidad y durabilidad de los componentes. La optimización del proceso debe prestar atención a la pureza de la materia prima y a los parámetros de sinterización para evitar inclusiones o segregaciones de óxido que reduzcan la eficiencia de la disipación térmica.

3.3 Estabilidad química de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, médico, electrónico y militar gracias a su alta densidad, excelentes propiedades mecánicas, propiedades no magnéticas y excelentes propiedades térmicas y eléctricas. Esta aleación se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia, con tungsteno como componente principal, complementado con níquel y cobre como fases de enlace, formando una microestructura densa y mostrando una excelente estabilidad química. Esta estabilidad química se refleja principalmente en la resistencia a la corrosión y a la oxidación, lo que le permite mantener un rendimiento duradero en entornos hostiles como la humedad, la acidez o las altas temperaturas. Esta estabilidad se debe a la inercia química del tungsteno y al efecto protector de la fase de enlace níquel-cobre, satisfaciendo así las necesidades de aplicaciones de alta fiabilidad.

3.3.1 Resistencia a la corrosión

de tungsteno , níquel y cobre es una manifestación importante de su estabilidad química, lo que refleja su capacidad para resistir la erosión química en entornos corrosivos como la humedad, el ácido o la niebla salina. Esta propiedad le permite un buen rendimiento en escenarios que requieren un funcionamiento estable a largo plazo, como equipos médicos, ingeniería naval y la industria electrónica, como blindajes de TC médicos, contrapesos de barcos o carcasas de equipos electrónicos. Su excelente resistencia a la corrosión se debe principalmente al efecto sinérgico de la inercia química del tungsteno y la resistencia a la corrosión del níquel. Como componente principal, el tungsteno posee una estabilidad química extremadamente alta y no reacciona fácilmente en la mayoría de los entornos ácidos o alcalinos, lo que constituye la base de la resistencia a la corrosión de la aleación. El níquel forma una capa protectora estable en la fase de unión, que puede resistir eficazmente la erosión de productos químicos externos y prolongar la vida útil de la aleación.

La resistencia a la corrosión se ve afectada conjuntamente por la composición de la aleación, la microestructura y el estado de la superficie. El níquel desempeña un papel fundamental en la fase de unión níquel-cobre. Su estructura cúbica centrada en las caras y sus propiedades antioxidantes le permiten formar una densa capa protectora de óxido en entornos húmedos o ácidos, impidiendo la penetración del medio corrosivo. Si bien la adición de cobre mejora la conductividad térmica y el amagnetismo, su resistencia a la corrosión es ligeramente inferior a la del níquel. Puede producirse una ligera corrosión en algunos entornos ácidos (como el ácido nítrico). Por lo tanto, es necesario optimizar la resistencia a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la corrosión general mediante una relación níquel-cobre razonable (como 7:3 o 3,5:1,5). El proceso de sinterización en fase líquida forma una matriz uniforme de níquel-cobre a alta temperatura, rellena los huecos entre las partículas de tungsteno, reduce los microporos y la exposición de los límites de grano, y reduce la vía de penetración de medios corrosivos. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la densidad de la microestructura, suaviza la superficie de la aleación y reduce el punto de inicio de la corrosión. Los procesos de tratamiento de superficies, como el pulido o la pasivación química, pueden mejorar aún más la resistencia a la corrosión y formar una capa protectora más densa, que es particularmente adecuada para el uso a largo plazo de equipos médicos en un entorno esterilizado.

En aplicaciones prácticas, la resistencia a la corrosión determina directamente la fiabilidad y durabilidad de la aleación. En el ámbito médico, las piezas de blindaje de los equipos de TC o RMN deben estar expuestas a desinfectantes o ambientes húmedos durante largos periodos. Una excelente resistencia a la corrosión garantiza la integridad superficial y la estabilidad funcional de las piezas. En ingeniería naval, los contrapesos de los barcos pueden estar expuestos al agua de mar o a la niebla salina. La resistencia a la corrosión de la aleación evita la degradación del material y prolonga su vida útil. En la industria electrónica, la carcasa o contrapeso debe resistir los productos químicos del entorno de producción. La resistencia a la corrosión garantiza el funcionamiento a largo plazo del equipo. La optimización de procesos requiere un control estricto de la pureza de la materia prima para evitar que impurezas como el oxígeno o el azufre formen fases fácilmente corrosivas. Los recubrimientos superficiales (como PVD TiN o DLC) pueden mejorar aún más la resistencia a la corrosión, especialmente en entornos químicos agresivos. El control de calidad verifica la resistencia a la corrosión mediante pruebas de niebla salina y experimentos de inmersión para garantizar que la aleación cumpla con las normas del sector (como la ISO 9227).

3.3.2 Propiedades antioxidantes

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es otra característica clave de su estabilidad química, lo que refleja su capacidad para resistir reacciones de oxidación a altas temperaturas o en atmósferas oxidantes. Esta propiedad le confiere ventajas significativas en componentes aeroespaciales de alta temperatura, componentes de gestión térmica en la industria electrónica y equipos militares, como contrapesos de turbinas, disipadores de calor para máquinas de fotolitografía o escudos antimisiles. Su excelente resistencia a la oxidación se debe principalmente a la resistencia a la oxidación del níquel y a la estabilidad térmica del tungsteno. El níquel forma una densa capa protectora de óxido a altas temperaturas para evitar que el oxígeno corroa aún más la estructura interna, mientras que su alto punto de fusión y su inercia química le permiten mantener la integridad estructural a altas temperaturas y evitar la degradación del rendimiento causada por la oxidación. Si bien el cobre tiene menor resistencia a la oxidación, su impacto negativo se minimiza bajo la protección del níquel.

La resistencia a la oxidación se ve afectada significativamente por la composición de la aleación, la microestructura y las condiciones del proceso. El níquel desempeña un papel antioxidante importante en la fase aglutinante de níquel-cobre. Su capa de óxido (NiO) tiene una baja tasa de difusión a alta temperatura (<1000 °C), lo que puede bloquear eficazmente la penetración de oxígeno y proteger las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

partículas internas de tungsteno y la matriz de níquel-cobre. La alta estabilidad térmica del tungsteno mejora aún más la resistencia a la oxidación. Incluso en entornos de alta temperatura, su estructura cúbica centrada en el cuerpo puede permanecer estable y resistir la corrosión oxidativa. El cobre puede formar óxido de cobre (CuO o Cu_2 O) en una atmósfera oxidante, pero el efecto protector del níquel puede inhibir eficazmente la oxidación del cobre a través de una relación níquel-cobre razonable (como 7:3). El proceso de sinterización en fase líquida forma una microestructura densa a alta temperatura, reduciendo los poros y la exposición del límite de grano, y reduciendo el camino para la penetración de oxígeno. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la densidad de la estructura al eliminar los microporos, lo que hace que la superficie de la aleación sea menos susceptible a la oxidación.

En aplicaciones prácticas, la resistencia a la oxidación afecta directamente la fiabilidad y la vida útil de la aleación en entornos de alta temperatura. En el sector aeroespacial, los componentes de turbinas o misiles operan en entornos de gas a alta temperatura. Una excelente resistencia a la oxidación garantiza la integridad superficial de los contrapesos o piezas de blindaje y evita la deformación o los fallos causados por la oxidación. En la industria electrónica, los componentes de disipación de calor de las máquinas de fotolitografía deben soportar el calor generado por láseres o motores, y la resistencia a la oxidación garantiza la estabilidad en operaciones prolongadas a alta temperatura. En equipos militares, las piezas de blindaje pueden estar expuestas a atmósferas oxidantes de alta temperatura, y la resistencia a la oxidación de la aleación mantiene su función de blindaje electromagnético. La optimización de procesos debe centrarse en el control de impurezas para evitar que impurezas como el carbono o el azufre formen fases fácilmente oxidables. El tratamiento superficial (como la pasivación química o el recubrimiento antioxidante) puede mejorar aún más la resistencia a la oxidación, especialmente en entornos cíclicos de alta temperatura. El control de calidad verifica la resistencia a la oxidación mediante pruebas de oxidación a alta temperatura y análisis termogravimétrico (TGA) para garantizar que la aleación cumpla con los estándares de la industria aeroespacial o electrónica.

3.4 CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre MSDS

La Hoja de Datos de Seguridad del Material (HDSM) es un documento importante que describe las propiedades físicas y químicas de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre, así como las instrucciones de uso seguro. Proporciona orientación a usuarios y operadores sobre la manipulación segura y las medidas de emergencia. La aleación de tungsteno, níquel y cobre (W-Ni-Cu) producida por CTIA GROUP LTD es una aleación de alta densidad ampliamente utilizada en las industrias aeroespacial, médica, electrónica y militar. Es muy apreciada por su alta densidad, excelentes propiedades mecánicas, propiedades no magnéticas y buena conductividad térmica.

1. Información del producto

Nombre del producto : Aleación de níquel y cobre de tungsteno (aleación W-Ni-Cu)
Alias : Aleación de tungsteno de alta densidad, aleación pesada de tungsteno
Aplicación : Se utiliza en contrapesos aeroespaciales, piezas de protección contra radiación médica, disipadores de calor de la industria electrónica y bloques de equilibrio, etc.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

2. Identificación de peligros

La aleación de níquel y cobre de tungsteno generalmente no se considera una sustancia peligrosa en condiciones normales de uso (en forma sólida, como placas, barras o piezas mecanizadas) y no está clasificada como una sustancia peligrosa según el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado (SGA).

3. Información sobre la composición/ingredientes

La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material compuesto, cuyos componentes incluyen:

- **Tungsteno (W)** : El componente principal, que representa el 90%-97%, proporciona alta densidad y alta dureza.
- **Níquel (Ni)** : Fase aglutinante, que representa entre un 2% y un 7%, mejora la tenacidad y la resistencia a la corrosión.
- **Cobre (Cu)** : La fase aglutinante, que representa entre el 1% y el 5%, mejora la conductividad térmica y las propiedades no magnéticas.
- **Oligoelementos** : puede contener trazas de cobalto, molibdeno u otras impurezas (<0,5%), dependiendo del proceso de producción **.**

5. Medidas de lucha contra incendios

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un material no inflamable y sin riesgo de explosión.

6. Tratamiento de emergencia de fugas

La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material sólido sin riesgo de fugas.

7. Manipulación y almacenamiento

- **Operación segura** : El procesamiento debe realizarse en un entorno bien ventilado y los operadores deben usar gafas y guantes protectores.
- **Condiciones de almacenamiento** : Conservar en un lugar fresco y seco, evitando la humedad y las altas temperaturas. El embalaje del producto debe ser resistente a golpes (como cajas de madera o cojines) para evitar daños durante el transporte y el almacenamiento.

8. Propiedades físicas y químicas

- **Aspecto** : Sólido metálico de color gris plateado con superficie lisa o procesado en formas específicas (como placas, varillas, bloques).
- **Olor** : Inodoro.
- **Punto de fusión** : El tungsteno tiene un punto de fusión extremadamente alto (aproximadamente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3422 °C) y el punto de fusión de la fase de unión níquel-cobre es de aproximadamente 1300 a 1450 °C.

- **Densidad** : Alta densidad, los valores típicos son 16,5-18,5 g/cm³.
- **Solubilidad** : Insoluble en agua, resistente a la corrosión ácida y alcalina, algunos entornos ácidos (como el ácido nítrico) pueden corroer ligeramente el cobre.
- **Estabilidad química** : Estable a temperatura ambiente. A altas temperaturas, el níquel forma una capa protectora de óxido que mejora la resistencia a la oxidación.

9. Estabilidad y reactividad

- **Estabilidad** : Estable en condiciones normales de uso y almacenamiento, sin riesgo de descomposición.
- **Reactividad** : No reacciona violentamente con el agua, el aire o los productos químicos comunes.
- **Condiciones a evitar** : Evitar entornos oxidantes de alta temperatura o el contacto prolongado con ácidos fuertes (como ácido nítrico concentrado), que pueden corroer ligeramente el cobre.

10. Consideraciones sobre la eliminación

- **Tratamiento de residuos** : Clasificar y reciclar según la normativa ambiental local (como la norma GB 5085 de China o las normas internacionales sobre residuos peligrosos) . Se recomienda utilizar disolución química o separación electroquímica para reciclar tungsteno, níquel y cobre.
- **Eliminación de embalajes** : Los materiales de embalaje (como cajas de madera o plásticos) deben reciclarse o eliminarse de acuerdo con las regulaciones locales.

11. Información de envío

- **Clasificación de transporte** : mercancías no peligrosas, sin requisitos especiales de transporte.
- **Requisitos de embalaje** : utilice un embalaje a prueba de golpes y humedad (como cajas de madera o relleno de espuma) para garantizar que no haya daños durante el transporte.

12. Información reglamentaria

- **Regulaciones internacionales** : Cumplir con la Norma de comunicación de peligros de OSHA (29CFR1910.1200) y los requisitos del SGA.
- **Regulaciones chinas** : Cumplir con las Regulaciones sobre la Gestión de Seguridad de Productos Químicos Peligrosos y GB/T 26038-2010 (estándar de aleación de tungsteno).
- **Otros** : El níquel está sujeto a la normativa REACH y debe declararse el contenido; la aleación en su conjunto no requiere un registro químico especial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 4 Pruebas de rendimiento y estándares de aleación de tungsteno-níquel-cobre

Como material de alta densidad, la aleación de tungsteno, níquel y cobre se usa ampliamente en los campos aeroespacial, médico, electrónico y militar debido a sus excelentes propiedades mecánicas (resistencia a la tracción de 700 a 900 MPa, elongación del 5 % al 15 %), propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica (120 a 150 W/ m·K) y estabilidad química. Para garantizar que su rendimiento cumpla con los estrictos requisitos de aplicación (como contrapesos aeroespaciales o piezas de blindaje médico), se debe realizar un control de calidad mediante métodos precisos de prueba de rendimiento y estándares internacionales. El análisis de la composición es el eslabón central de las pruebas de rendimiento y afecta directamente la densidad, las propiedades mecánicas y las propiedades no magnéticas de la aleación. El análisis de la composición no solo verifica la proporción de los elementos principales (tungsteno, níquel, cobre), sino que también detecta impurezas traza para garantizar la pureza y la consistencia del rendimiento de la aleación.

4.1 Método de análisis de la composición de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es la base del control de calidad. Se utiliza para verificar si la proporción de los elementos principales (85%-97% tungsteno, 2%-10% níquel, 1%-8% cobre) cumple con los requisitos de diseño y garantiza que las impurezas traza (como oxígeno, carbono y azufre) no afecten el rendimiento. Los métodos de análisis de composición incluyen principalmente análisis espectral, análisis químico y técnicas de análisis de superficies, entre las cuales el análisis espectral es la primera opción debido a su alta precisión, rapidez y no destructividad. Los resultados del análisis deben cumplir con las normas internacionales (como ASTM B777 o GB/T 26038) para garantizar la fiabilidad de la aleación en contrapesos aeroespaciales, colimadores médicos o bloques de equilibrio de la industria electrónica. El proceso de detección debe llevarse a cabo en un entorno limpio y se deben utilizar muestras de calibración de alta pureza para garantizar la precisión de los resultados.

4.1.1 Tecnología de análisis espectral

La tecnología de análisis espectral es el método principal para analizar la composición de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Determina el tipo de elementos y su contenido midiendo el espectro emitido o absorbido por la muestra a una longitud de onda específica. Este método se utiliza ampliamente en la producción de aleaciones y el control de calidad debido a su alta sensibilidad (el límite de detección puede alcanzar el nivel de ppm), rapidez (análisis único <5 minutos) y capacidad para detectar múltiples elementos simultáneamente. Las técnicas de análisis espectral incluyen la espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF), la espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente y la espectroscopia de absorción atómica (AAS), entre las cuales la XRF y la ICP-AES son los métodos más utilizados, adecuados para verificar el contenido de tungsteno, níquel, cobre y la distribución de elementos traza.

La espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica de análisis no destructiva que utiliza rayos X para excitar átomos en la superficie de la muestra y producir fluorescencia característica. Además,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

analiza su longitud de onda e intensidad para determinar el contenido de elementos. La XRF es adecuada para muestras de aleaciones sólidas (como placas, barras o piezas procesadas), no requiere un pretratamiento complejo y puede detectar rápidamente la proporción de tungsteno, níquel y cobre (precisión de ±0,2%). Su ventaja es su fácil manejo y su idoneidad para el control de calidad en tiempo real en la planta de producción. Por ejemplo, en la producción de contrapesos aeroespaciales, la XRF permite verificar rápidamente si la composición de la aleación cumple con la norma ASTM B777 para garantizar que la densidad y las propiedades no magnéticas cumplan con los estándares. La limitación de la XRF es su baja sensibilidad de detección de elementos ligeros (como el carbono y el oxígeno), por lo que debe combinarse con otros métodos para un análisis complementario.

La espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) es una técnica analítica de alta precisión que determina el contenido de elementos disolviendo la muestra, introduciendo excitación de plasma y midiendo el espectro de emisión. La ICP-AES es adecuada para detectar elementos mayoritarios y trazas en aleaciones de tungsteno, níquel y cobre, con un límite de detección de hasta ppb. La muestra debe pretratarse mediante disolución ácida (como ácido nítrico o agua regia) y disolverse en una solución para su análisis. La ICP-AES puede detectar múltiples elementos simultáneamente y es adecuada para el análisis exhaustivo de componentes en un entorno de laboratorio. Por ejemplo, en la producción de piezas de blindaje médico, la ICP-AES puede verificar si el contenido de níquel cumple con los requisitos de biocompatibilidad de la norma ISO 10993 y evitar el riesgo de alergias causadas por un exceso de níquel. Su desventaja es que el pretratamiento de la muestra es complicado y no es adecuada para una detección rápida in situ.

La elección de la tecnología de análisis espectral debe determinarse según los requisitos de la aplicación y las condiciones del equipo. La XRF es adecuada para ensayos in situ rápidos y no destructivos, mientras que la ICP-AES es más adecuada para análisis de laboratorio de alta precisión. Se deben utilizar muestras estándar de alta pureza (>99,99 %) para la calibración durante el análisis a fin de evitar que los efectos de la matriz o la deriva del instrumento afecten los resultados. El control ambiental (como salas blancas o temperatura y humedad constantes) puede reducir la interferencia del polvo o la humedad. El control de calidad verifica la fiabilidad de los resultados mediante ensayos repetidos y análisis de la desviación estándar.

4.1.2 Detección de elementos de impureza

La detección de impurezas es una parte importante del análisis de la composición de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Su objetivo es identificar y cuantificar impurezas traza (como oxígeno, carbono, azufre, nitrógeno o hierro, generalmente <0,5 %) para garantizar que no afecten las propiedades mecánicas, la conductividad térmica ni la estabilidad química de la aleación. Las impurezas pueden provenir de polvos de materias primas (tungsteno, níquel, cobre), atmósferas de sinterización o entornos de procesamiento. Si el contenido excede el estándar, puede causar defectos microestructurales (como inclusiones de óxido o carburos), reducir la tenacidad, la resistencia a la corrosión o las propiedades no magnéticas. Los métodos de detección de impurezas incluyen el análisis espectral, el análisis químico y el análisis con instrumentos especiales, que deben alcanzar una alta sensibilidad (nivel ppb-ppm) para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

cumplir con los requisitos de las industrias aeroespacial, médica y electrónica.

El oxígeno y el carbono son las impurezas más comunes en las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre, y deben detectarse mediante técnicas analíticas especiales. El análisis de oxígeno suele utilizar el método de fusión de gas inerte (Inert Gas Fusion), en el que la muestra se calienta a más de 2000 °C en helio o argón de alta pureza, liberando oxígeno y reaccionando con el carbono para formar CO o CO_2 , y el contenido de oxígeno se mide con un detector infrarrojo. Un alto contenido de oxígeno puede formar inclusiones de óxido (como WO_3 o NiO) , que reducirán la resistencia de la unión interfacial y afectarán la resistencia a la corrosión de las piezas de blindaje médico. El análisis de carbono utiliza el método de combustión (Combustion Analysis), en el que la muestra se quema en oxígeno para generar CO_2 , y el contenido de carbono se mide con un detector infrarrojo. Un alto contenido de carbono puede formar carburos (como WC), que aumentan la dureza pero reducen la tenacidad, lo que afecta la resistencia al impacto de los contrapesos aeroespaciales.

Las impurezas como el azufre y el nitrógeno se detectan mediante espectrometría de masas de descarga luminiscente (GD-MS) o ICP-AES. La GD-MS excita la superficie de la muestra mediante una descarga luminiscente y analiza el espectro de masas de iones. El límite de detección puede alcanzar el nivel de ppb, lo cual es adecuado para el análisis de impurezas de múltiples elementos. Un contenido demasiado alto de azufre puede formar inclusiones de sulfuro, reduciendo la resistencia a la corrosión; un contenido demasiado alto de nitrógeno puede causar fragilización del límite de grano y afectar la estabilidad de los contrapesos en la industria electrónica. El hierro, como impureza potencial (derivado de materias primas o herramientas de procesamiento), requiere especial atención porque puede introducir magnetismo débil, destruir las propiedades no magnéticas de la aleación y afectar el rendimiento de las piezas de blindaje de los equipos de MRI. La ICP-AES puede detectar con precisión el contenido de hierro disolviendo la muestra en ácido y luego analizándola.

Las pruebas de impurezas requieren un control estricto de la preparación de las muestras y de las condiciones ambientales. La superficie de la muestra debe pulirse y limpiarse con etanol para evitar la contaminación. Los instrumentos analíticos deben calibrarse periódicamente y se utilizan muestras estándar de alta pureza para garantizar la precisión. La optimización del proceso de sinterización puede reducir la introducción de oxígeno y nitrógeno, mientras que el cribado de la materia prima permite controlar las impurezas iniciales. El control de calidad verifica la uniformidad de la distribución de las impurezas mediante muestreos multipunto y análisis estadístico. Los resultados de las pruebas deben cumplir con las normas ASTM B777 o GB/T 26038 para garantizar la consistencia del rendimiento de la aleación.

4.2 Método de prueba de rendimiento de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre están diseñadas para evaluar exhaustivamente sus propiedades físicas y mecánicas y garantizar su rendimiento en la aplicación deseada. Los métodos de prueba incluyen ensayos de densidad y compacidad, ensayos de propiedades mecánicas, ensayos de propiedades térmicas y análisis de microestructura, cada uno de los cuales proporciona datos precisos sobre propiedades

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

específicas. Los ensayos de densidad y compacidad verifican la distribución de masa y la integridad estructural de la aleación, mientras que los ensayos de propiedades mecánicas evalúan su resistencia y tenacidad bajo tensión. Estos ensayos se realizan generalmente en un laboratorio o planta de producción con equipos y procesos estandarizados para garantizar que los resultados cumplan con los estrictos requisitos de las industrias aeroespacial, médica y electrónica. El control del entorno de prueba es fundamental para la precisión de los resultados.

4.2.1 Ensayo de densidad y compacidad

Las pruebas de densidad y compacidad son la base de las pruebas de rendimiento de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Se utilizan para evaluar la distribución de masa y la compacidad de la microestructura de la aleación, lo que afecta directamente su rendimiento en contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y bloques de equilibrio para la industria electrónica. La densidad refleja la masa de la aleación por unidad de volumen y es el indicador principal de sus características de alta densidad, lo que garantiza que los componentes logren una distribución de masa eficiente en un espacio limitado. La densidad mide el contenido de poros dentro de la aleación y refleja el efecto del proceso de producción (como la sinterización en fase líquida o el prensado isostático en caliente). La microestructura densa puede mejorar la resistencia, la tenacidad y la resistencia a la corrosión de la aleación.

Las pruebas de densidad generalmente utilizan el principio de Arquímedes para calcular la densidad midiendo la diferencia de masa de la muestra de aleación en aire y líquido (como agua o etanol). Este método es simple y eficiente, adecuado para muestras sólidas (como barras, placas o piezas mecanizadas) y puede verificar rápidamente si la aleación alcanza la densidad diseñada y cumple con los requisitos de alta densidad de contrapesos aeroespaciales o piezas de blindaje médico. Durante la prueba, la muestra debe limpiarse y pulirse en la superficie para eliminar la capa de aceite u óxido para garantizar la precisión de la medición. La selección del líquido debe considerar su no corrosividad para la aleación para evitar reacciones superficiales que afecten los resultados. Los resultados de la prueba de densidad reflejan directamente la proporción de contenido de tungsteno. Las aleaciones con mayor contenido de tungsteno generalmente tienen mayor densidad y son adecuadas para aplicaciones que requieren una distribución de masa extremadamente alta, como los núcleos de perforación de blindaje militar.

Las pruebas de densidad evalúan la porosidad dentro de la aleación mediante un método más complejo, que generalmente combina la medición de la densidad y el análisis microestructural. Un método común consiste en comparar la densidad medida con la densidad teórica para inferir la porosidad. Otro método utiliza un microscopio para observar la sección transversal de la muestra y analiza la distribución de partículas de tungsteno y fases aglutinantes de níquel-cobre mediante microscopía metalográfica o electrónica de barrido para identificar la presencia de microporos o inclusiones. Las aleaciones de alta densidad pueden proporcionar mejores propiedades mecánicas y estabilidad química, y son especialmente adecuadas para uso a largo plazo en entornos dinámicos o corrosivos. El proceso de sinterización en fase líquida forma una matriz uniforme de níquel-cobre a alta temperatura para rellenar los huecos entre las partículas de tungsteno, mientras que el proceso de prensado isostático en caliente compacta aún más la estructura, mejorando significativamente la densidad y reduciendo el impacto

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

negativo de la porosidad en el rendimiento.

En aplicaciones prácticas, las pruebas de densidad y compacidad garantizan la fiabilidad de las aleaciones en entornos de alta precisión. Por ejemplo, en el bloque de equilibrio de una máquina de fotolitografía, la alta densidad garantiza la estabilidad del centro de gravedad, y la microestructura densa evita las microfisuras causadas por la vibración. En los colimadores médicos, las aleaciones de alta densidad pueden absorber la radiación eficientemente, manteniendo la integridad estructural para un uso prolongado. La optimización de las pruebas debe centrarse en la uniformidad de la preparación de la muestra para evitar que defectos superficiales o inclusiones internas afecten los resultados. El control ambiental y la calibración de instrumentos de alta precisión también son clave.

4.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción y de límite elástico

Las pruebas de resistencia a la tracción y límite elástico son los métodos principales para evaluar las propiedades mecánicas de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Se utilizan para medir su capacidad para resistir la fractura y la deformación plástica bajo cargas de tracción. Estas propiedades determinan directamente la fiabilidad y durabilidad de la aleación en contrapesos aeroespaciales, núcleos de proyectiles militares y componentes de amortiguación de vibraciones en la industria electrónica. La resistencia a la tracción refleja la resistencia de la aleación a la fractura bajo tensión máxima y es adecuada para evaluar su rendimiento en entornos de alta tensión. El límite elástico indica el nivel de tensión en el que la aleación comienza a experimentar una deformación plástica irreversible, lo que refleja su resistencia a la deformación bajo carga. Las excelentes propiedades mecánicas de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se deben al efecto sinérgico de la alta dureza de las partículas de tungsteno y la tenacidad de la fase de enlace níquel-cobre, lo que le permite mantener la integridad estructural en entornos dinámicos o de impacto.

Las pruebas de resistencia a la tracción se realizan generalmente con una máquina de ensayos de tracción. La muestra se procesa hasta obtener una forma estándar (como una muestra con forma de mancuerna) y se aplica una fuerza de tracción que aumenta gradualmente en condiciones controladas hasta su rotura. Durante la prueba, se registra la curva de tensión-deformación de la muestra para analizar su comportamiento durante el proceso de tracción. La alta resistencia a la tracción de la aleación de tungsteno-níquel-cobre se debe al esqueleto sólido de las partículas de tungsteno y a la distribución uniforme de la matriz de níquel-cobre. La fase de níquel-cobre conecta firmemente las partículas de tungsteno a través del cuello de sinterización, dispersando eficazmente la tensión y evitando la fractura localizada. La prueba debe realizarse a temperatura constante (normalmente temperatura ambiente) para eliminar la influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas. La preparación de la muestra requiere una superficie lisa y sin defectos para evitar la concentración de tensiones que provoque desviaciones en los resultados. Los resultados de la prueba se utilizan para verificar si la aleación cumple con los estándares de la industria aeroespacial o militar y garantizar su resistencia a altas tensiones o vibraciones.

La prueba de límite elástico se realiza simultáneamente con la prueba de resistencia a la tracción, y el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

punto en el que la aleación comienza a experimentar deformación plástica se determina mediante el análisis de la curva de tensión-deformación. La tenacidad de la fase aglutinante de níquel-cobre permite que la aleación soporte cierta deformación plástica antes de ceder, absorba energía y evite la fractura frágil. El rendimiento del límite elástico se ve afectado por la composición y la microestructura de la aleación. Las aleaciones con mayor contenido de tungsteno generalmente presentan un mayor límite elástico, ya que las partículas de tungsteno proporcionan la principal resistencia a la deformación. La optimización de la relación níquel-cobre (como 7:3 o 3,5:1,5) garantiza un equilibrio entre la tenacidad y la resistencia de la fase aglutinante, evitando un contenido excesivo de níquel que reduce la resistencia o un contenido excesivo de cobre que reduce la dureza. Los procesos de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente reducen la porosidad y los defectos en los bordes de grano, y aumentan el límite elástico mediante la formación de una microestructura densa. Los tratamientos térmicos, como el recocido, optimizan aún más el comportamiento plástico de la aleación al eliminar la tensión residual.

En aplicaciones prácticas, los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción y límite elástico afectan directamente la selección y el diseño de las aleaciones. Por ejemplo, en contrapesos aeroespaciales, una alta resistencia a la tracción garantiza que los componentes no se rompan bajo vibraciones o impactos de alta frecuencia, mientras que el límite elástico garantiza que mantengan la estabilidad de su forma bajo carga. En núcleos de proyectiles perforantes militares, las aleaciones requieren una alta resistencia a la tracción para resistir impactos a alta velocidad, mientras que el límite elástico garantiza la integridad estructural del núcleo del proyectil al penetrar el blindaje. La optimización de las pruebas debe centrarse en la consistencia de las muestras, utilizando tamaños de muestra y procedimientos de prueba estandarizados (como ASTM E8). El análisis de fracturas puede verificar aún más la fiabilidad de los resultados de las pruebas mediante la observación de las características de fractura dúctil o frágil mediante SEM.

4.2.3 Prueba de ductilidad

La prueba de ductilidad es un método importante para evaluar la capacidad de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre para experimentar deformación plástica bajo cargas de tracción, lo que refleja su capacidad para evitar la fractura por fluencia plástica al ser sometidas a tensión. La ductilidad es un indicador clave para medir la tenacidad y la maquinabilidad de una aleación, y es especialmente importante para componentes que necesitan soportar vibraciones, impactos o procesos complejos, como contrapesos aeroespaciales, colimadores médicos o componentes de reducción de vibraciones en la industria electrónica. En comparación con la fragilidad del tungsteno puro, la ductilidad de la aleación de tungsteno, níquel y cobre mejora significativamente, principalmente debido al efecto plástico de la fase de unión níquel-cobre. La estructura cúbica centrada en las caras del níquel proporciona una excelente ductilidad y es capaz de absorber energía durante el estiramiento, mientras que la adición de cobre mejora aún más la ductilidad y la maquinabilidad de la fase de unión, permitiendo que la aleación muestre una buena capacidad de deformación plástica al ser sometida a tensión.

Las pruebas de ductilidad se realizan generalmente mediante ensayos de tracción, utilizando muestras estandarizadas (como muestras con forma de mancuerna) para aplicar fuerzas de tracción gradualmente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

crecientes en una máquina de ensayos de tracción hasta que la muestra se rompe. Durante el ensayo, se registran la elongación y la contracción transversal de la muestra para evaluar el grado de deformación plástica antes de la fractura. La ductilidad de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se deriva del efecto sinérgico de las partículas de tungsteno y las fases de enlace de níquel-cobre. Las partículas de tungsteno proporcionan alta dureza y resistencia, mientras que la matriz de níquel-cobre forma una red continua a través de cuellos de sinterización para dispersar la tensión y promover el flujo plástico. Los resultados del ensayo reflejan la capacidad de la aleación para absorber energía durante la tensión y son adecuados para verificar su fiabilidad en entornos dinámicos. El ensayo debe realizarse en un entorno controlado (como temperatura ambiente y humedad constante) para eliminar la interferencia de factores externos en los resultados. La preparación de la muestra requiere una superficie lisa y sin defectos para evitar la concentración de tensiones que provoque una fractura prematura.

La ductilidad se ve afectada significativamente por la composición y la microestructura de la aleación. Un aumento en el contenido de níquel generalmente mejora la ductilidad, ya que su tenacidad le permite experimentar mayores deformaciones plásticas al estirarse. La adición de cobre mejora aún más la ductilidad, y su alta ductilidad reduce la dureza de la fase aglutinante, lo que hace que la aleación sea más susceptible a la fluencia plástica bajo tensión. Sin embargo, la relación níquel-cobre debe diseñarse de forma razonable, ya que un contenido demasiado alto de níquel o cobre puede reducir la resistencia y afectar el rendimiento general. El proceso de sinterización en fase líquida forma una matriz uniforme de níquel-cobre a alta temperatura, rellena los huecos entre las partículas de tungsteno, mejora la fuerza de unión entre ellas y promueve la capacidad de deformación plástica. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la ductilidad y reduce el riesgo de fractura al eliminar la microporosidad y optimizar la unión de la interfaz. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, hacen que la aleación presente un comportamiento de deformación más uniforme al estirarse, eliminando la tensión residual y optimizando la estructura del límite de grano.

En aplicaciones prácticas, los resultados de las pruebas de ductilidad afectan directamente la aplicabilidad de las aleaciones en escenarios de alta demanda. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, los contrapesos deben soportar las vibraciones causadas por el despegue, el aterrizaje o la turbulencia. Una mayor ductilidad garantiza que los componentes no sufran fracturas frágiles bajo cargas dinámicas. En la industria electrónica, los componentes de reducción de vibraciones de la plataforma litográfica deben resistir vibraciones mínimas, y una buena ductilidad garantiza la capacidad de deformación y la estabilidad a largo plazo de los componentes. En el sector médico, los colimadores o los componentes de robots quirúrgicos pueden sufrir estiramiento durante el procesamiento o la instalación, y la ductilidad los reduce a la probabilidad de agrietarse. La optimización de las pruebas debe centrarse en la consistencia de la muestra, utilizando tamaños de muestra y procedimientos de prueba estandarizados (como ASTM E8). El análisis de fracturas puede verificar aún más el rendimiento de la ductilidad mediante la observación de las características de fractura dúctil (como las hendiduras).

4.2.4 Prueba de tenacidad

La prueba de tenacidad es un método importante para evaluar la capacidad de las aleaciones de tungsteno-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

níquel-cobre para absorber energía y resistir la fractura bajo condiciones de impacto o carga rápida, lo que refleja la resistencia al agrietamiento y la confiabilidad de la aleación en entornos dinámicos. La tenacidad es una propiedad clave de la aleación en aplicaciones como contrapesos aeroespaciales, núcleos perforantes de blindaje militar y colimadores de equipos médicos, lo que garantiza que los componentes mantengan la integridad estructural bajo vibración, impacto o cargas transitorias. La tenacidad de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre es mejor que la del tungsteno puro, principalmente debido al efecto plástico de la fase de enlace níquel-cobre. La estructura cúbica centrada en la cara del níquel proporciona una buena capacidad de absorción de energía y puede dispersar la energía a través de la deformación plástica durante el impacto, mientras que la alta ductilidad del cobre mejora aún más la resistencia al agrietamiento de la fase de enlace, haciendo que la aleación exhiba características de fractura dúctil bajo impacto.

Las pruebas de tenacidad se realizan generalmente mediante pruebas de impacto. Los métodos comunes incluyen la prueba de impacto Charpy y la prueba de golpe de martillo. La prueba de impacto Charpy utiliza una muestra estándar (generalmente con una muesca en V) para probar en una máquina de impacto de péndulo y registrar la energía absorbida por la muestra al romperse. La prueba de golpe de martillo utiliza un objeto pesado que cae libremente desde una altura específica para impactar la muestra y evaluar su resistencia a la fractura. La tenacidad de la aleación de tungsteno-níquel-cobre proviene del efecto sinérgico de las partículas de tungsteno y la fase de enlace de níquel-cobre. Las partículas de tungsteno proporcionan alta dureza y resistencia, y la matriz de níquel-cobre dispersa la energía del impacto a través de una red continua de cuello de sinterización para evitar la fractura frágil. La prueba debe realizarse a una temperatura controlada (por ejemplo, temperatura ambiente) para garantizar la repetibilidad de los resultados. La muestra debe procesarse a un tamaño estándar y la superficie debe pulirse para reducir el impacto de los defectos.

La tenacidad se ve afectada por la composición, la microestructura y el proceso de producción de la aleación. Un aumento en el contenido de níquel mejora significativamente la tenacidad, ya que su plasticidad le permite absorber más energía durante el impacto, formando una característica de fractura dúctil. La adición de cobre mejora aún más la tenacidad, y su ductilidad reduce la dureza de la fase de unión, haciendo que la aleación sea más susceptible a la deformación plástica en lugar de a la fractura frágil durante el impacto. El proceso de sinterización en fase líquida mejora la unión interfacial entre las partículas de tungsteno y la matriz de níquel-cobre mediante la formación de una microestructura densa, lo que reduce la propagación de grietas bajo impacto. El proceso de prensado isostático en caliente mejora aún más la tenacidad al compactar la estructura, eliminando microporos y defectos en los bordes de grano. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, permiten que la aleación presente capacidades de absorción de energía más uniformes durante el impacto al optimizar la estructura de los bordes de grano y eliminar las tensiones residuales.

En aplicaciones prácticas, los resultados de las pruebas de tenacidad determinan directamente la idoneidad de las aleaciones en entornos dinámicos. En el sector aeroespacial, los rotores de helicópteros o los contrapesos de alerones de aeronaves deben soportar vibraciones e impactos de alta frecuencia. Una mayor tenacidad garantiza que los componentes no se fracturen frágilmente en condiciones extremas. En

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el ámbito militar, los núcleos de proyectiles perforantes deben absorber una gran cantidad de energía al impactar contra el blindaje a alta velocidad. Una buena tenacidad garantiza la integridad del núcleo del proyectil. En el ámbito médico, los componentes de robots quirúrgicos pueden estar sujetos a impactos accidentales. La tenacidad les permite resistir el agrietamiento y mantener su función. La optimización de las pruebas debe centrarse en el control de impurezas para evitar que impurezas como el oxígeno o el carbono formen fases frágiles que reduzcan la tenacidad. El tratamiento superficial (como el pulido o el recubrimiento) puede reducir los defectos superficiales y mejorar la resistencia al impacto. El control de calidad verifica el rendimiento de la tenacidad mediante análisis de fracturas (observación de hoyuelos mediante SEM) y pruebas repetidas.

4.2.5 Prueba de rendimiento térmico

La prueba de rendimiento térmico es para evaluar la capacidad de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en conductividad térmica y estabilidad térmica. Se utiliza para verificar su rendimiento en entornos de alta temperatura o ciclo térmico. Es particularmente adecuado para escenarios de aplicación que requieren una gestión térmica eficiente o estabilidad dimensional, como disipadores de calor para máquinas de fotolitografía en la industria electrónica, blindaje de radiación en equipos médicos o componentes de alta temperatura en la industria aeroespacial. Las propiedades térmicas incluyen principalmente conductividad térmica y características de expansión térmica, que reflejan la capacidad de la aleación para dispersar rápidamente el calor y la estabilidad dimensional bajo cambios de temperatura, respectivamente. Estas propiedades se derivan de la alta conductividad térmica del cobre y las características de baja expansión térmica del tungsteno, combinadas con el efecto sinérgico de la fase de enlace níquel-cobre, que permite que la aleación mantenga el rendimiento en entornos de alta precisión y alta temperatura.

Las pruebas de conductividad térmica se suelen realizar mediante el método de destello láser o el método del medidor de flujo térmico. El método de destello láser evalúa la conductividad térmica de la aleación aplicando un pulso láser corto a la superficie de la muestra y midiendo el tiempo que tarda el calor en propagarse a través de ella. Este método es adecuado para el análisis rápido de muestras sólidas (como placas o bloques) y puede reflejar con precisión la capacidad de disipación térmica de la aleación en aplicaciones reales. El método del medidor de flujo térmico evalúa el rendimiento de la conductividad térmica estableciendo un gradiente de temperatura estable en ambos lados de la muestra y midiendo la densidad del flujo térmico. Ambos métodos deben realizarse en un entorno controlado (como temperatura constante o condiciones de vacío) para evitar la interferencia de la temperatura externa o el flujo de aire. La preparación de la muestra requiere una superficie lisa y un espesor uniforme para garantizar una transferencia de calor constante. Los resultados de la prueba verifican la función del cobre en la fase de unión níquel-cobre. Su alta conductividad térmica permite que la aleación disperse el calor rápidamente, lo que resulta adecuado para entornos con alta carga térmica, como máquinas de litografía o dispositivos médicos. Los procesos de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente mejoran aún más la conductividad térmica al formar una microestructura densa, reduciendo la resistencia de los poros y los límites de los granos a la conducción del calor. Las pruebas del coeficiente de expansión térmica se realizan generalmente con un dilatómetro o calorimetría diferencial de barrido (DSC). Un dilatómetro

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

evalúa la estabilidad dimensional bajo cambios de temperatura midiendo la variación de longitud de una muestra durante un calentamiento controlado. La muestra se calienta lentamente a un rango de temperatura específico y se registra su deformación para verificar que la aleación mantenga la precisión durante el ciclado térmico. El método DSC infiere indirectamente las características de expansión térmica analizando los efectos térmicos de la muestra durante el calentamiento. Estas pruebas deben realizarse en un entorno controlado con precisión y la superficie de la muestra debe pulirse para eliminar los efectos de los defectos. Las características de baja expansión térmica del tungsteno permiten que la aleación mantenga dimensiones estables durante las fluctuaciones de temperatura, lo que la hace adecuada para aplicaciones de alta precisión como las plataformas de fotolitografía. La fase aglutinante de níquel-cobre se distribuye uniformemente y se combina con un cuello de sinterización para reducir la concentración de tensión térmica y mejorar la estabilidad térmica. Los procesos de tratamiento térmico, como el recocido, mejoran aún más el rendimiento de la aleación durante el ciclado térmico al optimizar la estructura del límite de grano.

En aplicaciones prácticas, las pruebas de rendimiento térmico garantizan la fiabilidad de las aleaciones en entornos de alta temperatura o alta precisión. Por ejemplo, en máquinas de fotolitografía, el bloque de equilibrio debe disipar el calor rápidamente y mantener la estabilidad dimensional. La excelente conductividad térmica y el bajo coeficiente de expansión térmica garantizan la precisión subnanométrica de la plataforma. En equipos de TC médicos, el blindaje funciona bajo el calor generado por la radiación, y el rendimiento térmico garantiza su estabilidad y seguridad a largo plazo. La optimización de las pruebas debe centrarse en la consistencia de la preparación de las muestras y la calibración del instrumento para evitar impurezas o microporos que reducen la conductividad térmica.

4.2.6 Prueba de rendimiento eléctrico

La prueba de rendimiento eléctrico es para evaluar la capacidad de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en la conducción de corriente y la compatibilidad electromagnética. Se utiliza para verificar su rendimiento en entornos sensibles a los electromagnetismo. Es particularmente adecuado para aplicaciones como blindaje de MRI médica, componentes de reducción de vibraciones de máquinas de litografía o componentes de sistemas de radar. Las propiedades eléctricas incluyen principalmente conductividad y propiedades no magnéticas, que reflejan la capacidad de la aleación para conducir corriente y evitar interferencias electromagnéticas. La naturaleza no magnética de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es su mayor ventaja, que proviene del paramagnetismo del níquel y el cobre, lo que le hace funcionar bien en entornos sensibles a los electromagnetismo. Aunque la conductividad es menor que la del cobre puro, es suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de las aplicaciones electrónicas. Combinado con alta densidad y no magnetismo, es adecuado para equipos de alta precisión.

Las pruebas de conductividad se suelen realizar mediante un método de sonda de cuatro puntas o una medición de resistividad. Este método aplica una pequeña corriente a la superficie de la muestra, mide la caída de tensión y calcula la conductividad. Este método es adecuado para pruebas rápidas de muestras sólidas (como barras o placas delgadas) y permite evaluar con precisión la capacidad de conducción de corriente de las aleaciones en aplicaciones electrónicas. El método de medición de resistividad mide la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

resistencia de la muestra e infiere la conductividad basándose en sus dimensiones geométricas. La prueba debe realizarse en un entorno con temperatura y humedad constantes para evitar la influencia de la temperatura o la humedad en la resistencia. La superficie de la muestra debe pulirse y limpiarse para eliminar la interferencia de capas de óxido o suciedad. Los resultados de la prueba reflejan el papel dominante del cobre en la fase de enlace níquel-cobre, y su alta conductividad proporciona una ruta de conducción de corriente estable para la aleación. La adición de níquel forma una solución sólida uniforme de Ni-Cu y mantiene una conductividad moderada, mientras que las características de alta resistencia del tungsteno se compensan con la optimización de la microestructura. Los procesos de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente reducen la influencia de la resistencia del límite de grano y la porosidad al formar una microestructura densa y mejorar la conductividad.

Las pruebas no magnéticas se realizan generalmente a través de la medición de la intensidad de magnetización o pruebas de permeabilidad magnética, utilizando un magnetómetro o un magnetómetro de muestra vibrante (VSM) para evaluar la respuesta de la aleación en un campo magnético. La naturaleza no magnética de la aleación de tungsteno-níquel-cobre se beneficia de las propiedades paramagnéticas del níquel y el cobre, evitando la interferencia ferromagnética y es adecuada para aplicaciones electromagnéticamente sensibles como equipos de MRI o máquinas de fotolitografía. La prueba debe realizarse en un entorno de campo magnético protegido para eliminar la interferencia del campo magnético externo. La muestra debe someterse a un estricto control de impurezas para evitar la introducción de magnetismo débil por elementos magnéticos como el hierro (de materias primas o herramientas de procesamiento). El proceso de sinterización utiliza una atmósfera de argón de alta pureza para evitar que las inclusiones de óxido afecten las propiedades no magnéticas. El tratamiento de la superficie (como el recubrimiento conductor PVD) puede proteger aún más la aleación y mantener la estabilidad de las propiedades eléctricas.

En aplicaciones prácticas, las pruebas de rendimiento eléctrico garantizan la fiabilidad de las aleaciones en entornos sensibles a los campos electromagnéticos. Por ejemplo, en equipos de resonancia magnética (MRI), las piezas de blindaje deben ser amagnéticas para evitar interferencias con el campo magnético, y una conductividad moderada garantiza su funcionamiento estable en entornos electromagnéticos. En máquinas de litografía, la conductividad y el amagnetismo del bloque de equilibrio garantizan el correcto funcionamiento de la plataforma en sistemas electromagnéticos de alta precisión. La optimización de las pruebas debe centrarse en la gestión de impurezas para evitar que impurezas como el oxígeno o el azufre formen fases no conductoras que reduzcan la conductividad. El control de calidad verifica la fiabilidad de los resultados mediante pruebas y calibraciones repetidas con muestras estándar.

4.2.7 Prueba de rendimiento químico

Las pruebas de rendimiento químico son un método importante para evaluar la estabilidad de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre en entornos corrosivos u oxidantes. Se utilizan para verificar su resistencia a la corrosión y a la oxidación, y para garantizar la fiabilidad a largo plazo de la aleación en condiciones adversas como humedad, acidez o altas temperaturas. Esta prueba es especialmente importante para aplicaciones como el blindaje de equipos médicos, contrapesos de ingeniería naval y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

disipadores de calor para la industria electrónica, ya que garantizan el buen rendimiento de los componentes en entornos complejos. El excelente rendimiento de las propiedades químicas se debe a la inercia química del tungsteno y al efecto protector de la fase de enlace níquel-cobre. El níquel forma una densa capa protectora de óxido que impide la penetración en medios corrosivos, mientras que la alta estabilidad del tungsteno mejora la resistencia de la aleación a la erosión química. Las pruebas de rendimiento químico abarcan la resistencia a la corrosión y a la oxidación y deben realizarse en un entorno controlado para simular las condiciones reales de aplicación.

Las pruebas de resistencia a la corrosión se realizan generalmente mediante inmersión o niebla salina. La inmersión coloca la muestra de aleación en un medio corrosivo específico (como ácido diluido, solución alcalina o agua salada) y observa los cambios superficiales, la pérdida de masa o los productos de corrosión bajo temperatura y tiempo controlados. Esta prueba está diseñada para simular las condiciones de uso a largo plazo de dispositivos médicos en un entorno esterilizado o de componentes marinos en agua de mar para evaluar la resistencia a la corrosión de la aleación. La muestra debe pulirse y limpiarse para eliminar la capa de óxido o la suciedad superficial y garantizar que los resultados de la prueba reflejen el rendimiento del material. La resistencia a la corrosión del níquel en la fase de unión níquel-cobre permite que la aleación tenga un buen rendimiento en entornos húmedos o ácidos, especialmente en aplicaciones médicas, donde la resistencia a la corrosión garantiza la biocompatibilidad y la durabilidad de los componentes. La niebla salina simula entornos marinos o industriales exponiendo la muestra a niebla salina (como niebla salina neutra o ácida) para observar manchas de corrosión o deterioro superficial. Los procesos de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente reducen la exposición de los poros y los límites de grano al formar una microestructura densa, reduciendo la vía de penetración de medios corrosivos y mejorando la resistencia a la corrosión.

Las pruebas de resistencia a la oxidación se realizan generalmente mediante pruebas de oxidación a alta temperatura o análisis termogravimétrico. Las pruebas de oxidación a alta temperatura colocan las muestras en un ambiente de aire u oxígeno a alta temperatura para observar la formación de capas de óxido superficiales, la ganancia de masa o los cambios de rendimiento, simulando las condiciones de componentes aeroespaciales o disipadores de calor electrónicos sometidos a alta temperatura en funcionamiento a alta temperatura. La resistencia a la oxidación del níquel forma una capa protectora de óxido a altas temperaturas para evitar una mayor erosión por oxígeno, mientras que la alta estabilidad térmica del tungsteno garantiza la integridad estructural de la aleación. El análisis termogravimétrico evalúa la velocidad y la extensión de las reacciones de oxidación midiendo con precisión el cambio de masa de la muestra durante el calentamiento, lo cual es adecuado para pruebas de laboratorio de alta precisión. La prueba debe realizarse en un horno con control preciso de temperatura, y la superficie de la muestra debe ser lisa para reducir el impacto de los defectos iniciales. El proceso de sinterización utiliza una atmósfera de argón de alta pureza para evitar que las inclusiones de óxido afecten la resistencia a la oxidación. El tratamiento superficial (como la pasivación química o el recubrimiento antioxidante) puede mejorar aún más la resistencia a la oxidación y prolongar la vida útil del componente.

En aplicaciones prácticas, las pruebas de propiedades químicas garantizan la fiabilidad de las aleaciones en entornos hostiles. Por ejemplo, en el blindaje de TC médicos, la resistencia a la corrosión garantiza la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

estabilidad a largo plazo de los componentes en entornos esterilizados; en los contrapesos de turbinas aeroespaciales, la resistencia a la oxidación garantiza el mantenimiento del rendimiento en entornos de gas a alta temperatura. La optimización de las pruebas debe centrarse en la consistencia de la preparación de las muestras y la autenticidad de la simulación ambiental para evitar que impurezas (como oxígeno o azufre) o defectos superficiales afecten los resultados. El control de calidad verifica la fiabilidad de los resultados mediante pruebas y calibraciones repetidas con muestras estándar.

4.3 Sistema estándar de aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un marco importante para garantizar su calidad, rendimiento y consistencia de aplicación, cubriendo requisitos de composición, indicadores de rendimiento, métodos de prueba y procesos de control de calidad. Estas normas son formuladas por organizaciones internacionales, nacionales o industriales para regular los procesos de producción, prueba y aplicación para garantizar el cumplimiento y la competitividad de la aleación en el mercado global. El sistema estándar incluye normas internacionales (como ASTM B777, ISO 20886), normas nacionales (como la serie GB/T de China) y normas industriales (como MIL-T-21014D), proporcionando un punto de referencia de calidad unificado para las industrias aeroespacial, médica y electrónica. Las normas nacionales de China juegan un importante papel rector en la producción y aplicación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, reflejando las características de la tecnología nacional y la demanda del mercado.

4.3.1 Norma nacional china para la aleación de tungsteno, níquel y cobre

Las normas nacionales de China (serie GB/T) constituyen las principales especificaciones para la producción, las pruebas y la aplicación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Estas normas, formuladas por la Administración Nacional de Normalización, se utilizan ampliamente en los sectores aeroespacial, médico, electrónico y militar. Estas normas especifican el rango de composición, los requisitos de rendimiento, los métodos de prueba y los procesos de control de calidad de las aleaciones para garantizar que los productos satisfagan las necesidades de aplicaciones de alta fiabilidad, como contrapesos de aeronaves, colimadores médicos o bloques de equilibrio para máquinas de fotolitografía. Como uno de los principales países productores de tungsteno del mundo (con reservas de aproximadamente 3,5 millones de toneladas) y centro de producción de aleaciones de tungsteno, China ha formulado diversas normas para aleaciones de tungsteno de alta densidad. Como aleaciones no magnéticas de alta densidad, las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre han recibido especial atención.

Una de las normas más relevantes en las normas nacionales de China es GB/T 26036-2010 Aleaciones pesadas de tungsteno, que se aplica a aleaciones de alta densidad basadas en tungsteno, incluidas las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre , y especifica el rango de composición (p. ej., 85%-97% de tungsteno, níquel y cobre como fases aglutinantes), los requisitos de densidad, las propiedades mecánicas y los métodos de prueba. La norma requiere que la aleación tenga una alta densidad para satisfacer las necesidades de contrapeso y blindaje, al tiempo que enfatiza las propiedades no magnéticas, adecuadas para entornos sensibles a los electromagnetismo, como los equipos de resonancia magnética. El análisis de la composición requiere el uso de técnicas de espectroscopia (como XRF o ICP-AES) para verificar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la proporción de tungsteno, níquel y cobre, y el contenido de impurezas (como oxígeno y carbono) debe controlarse estrictamente para evitar la degradación del rendimiento. Las pruebas de propiedades mecánicas incluyen resistencia a la tracción y ductilidad, y se requieren pruebas de tracción para verificar la confiabilidad de la aleación bajo alta tensión. Las pruebas de propiedades químicas requieren la evaluación de la resistencia a la corrosión y a la oxidación para garantizar la estabilidad de la aleación en ambientes húmedos o de alta temperatura.

Además, GB/T 228.1-2010 Ensayo de tracción de materiales metálicos Parte 1: El método de ensayo a temperatura ambiente proporciona especificaciones para los ensayos de propiedades mecánicas de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, guiando la medición de la resistencia a la tracción y el límite elástico para garantizar que los resultados cumplan con los requisitos aeroespaciales o militares. GB/T 231.1-2018 Ensayo de dureza Brinell de materiales metálicos Parte 1: El método de ensayo especifica el proceso de ensayo de dureza para evaluar la dureza superficial y las propiedades de procesamiento de las aleaciones. GB/T 1423-2012 Método de determinación de la densidad para metales preciosos y sus aleaciones proporciona un método estandarizado para los ensayos de densidad para garantizar que las características de alta densidad de la aleación cumplan con los requisitos de diseño. En conjunto, estos estándares forman un marco de prueba integral para aleaciones de tungsteno-níquel-cobre.

La aplicación de las normas nacionales chinas ha impulsado la mejora de la calidad y la competitividad en el mercado de las aleaciones nacionales de tungsteno, níquel y cobre. Por ejemplo, en el sector médico, las normas garantizan que las propiedades no magnéticas y de resistencia a la corrosión de las piezas de blindaje cumplan con los requisitos de biocompatibilidad ISO; en la industria electrónica, las normas guían las pruebas de densidad y conductividad térmica de los bloques de equilibrio de las máquinas de fotolitografía para garantizar un rendimiento de alta precisión. La implementación de las normas debe combinarse con la optimización del proceso de producción, como el uso de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente para mejorar la densidad, y un control estricto de las materias primas y la atmósfera para reducir las impurezas. El control de calidad se verifica mediante pruebas multipunto estandarizadas y certificaciones de terceros (como los laboratorios CNAS).

4.3.2 Normas internacionales para aleaciones de tungsteno, níquel y cobre

Las normas internacionales son especificaciones globales para el control de calidad y la aplicación comercial de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, formuladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y otras organizaciones reconocidas, y ampliamente utilizadas en las industrias aeroespacial, médica y electrónica. Estas normas proporcionan una guía unificada para la composición, el rendimiento, los métodos de prueba y la certificación de calidad de las aleaciones, garantizando la consistencia y la fiabilidad de los productos en diferentes países e industrias. Al tratarse de un material no magnético de alta densidad, las normas internacionales para las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se centran principalmente en el rango de composición, la densidad, las propiedades mecánicas y las propiedades no magnéticas, y son adecuadas para aplicaciones de alta precisión y sensibles a las interferencias electromagnéticas. ISO 20886:2004 Especificación técnica para aleaciones de tungsteno de alta densidad, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización, es uno de los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

principales estándares internacionales para aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, aplicable a aleaciones de alta densidad basadas en tungsteno (incluyendo W-Ni-Cu y W-Ni-Fe). El estándar especifica el rango de composición de la aleación (85%-97% de contenido de tungsteno, níquel y cobre como fases de enlace), y requiere la verificación de su densidad, propiedades mecánicas (tales como resistencia a la tracción y ductilidad) y propiedades no magnéticas. El estándar enfatiza la detección de la relación de elementos principales a través del análisis espectral (tal como XRF o ICP-AES), la evaluación de propiedades mecánicas a través de pruebas de tracción y pruebas de impacto, y la confirmación de propiedades no magnéticas a través de pruebas de resistencia a la magnetización, satisfaciendo las necesidades de blindaje de MRI médica o contrapesos de equilibrio de la industria electrónica. La norma ISO 20886 también exige que el proceso de producción (como la sinterización en fase líquida o el prensado isostático en caliente) garantice la compacidad de la microestructura y reduzca el impacto de los poros y las impurezas en el rendimiento.

Otra norma internacional relevante es la serie ISO 10993 de Evaluación Biológica de Dispositivos Médicos, aplicable a las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en el campo médico (como protectores de TC o colimadores). La norma exige la verificación de la biocompatibilidad de la aleación, especialmente el control del contenido de níquel para evitar reacciones alérgicas. Las pruebas de resistencia a la corrosión y a la oxidación deben cumplir los requisitos de la norma para garantizar la estabilidad a largo plazo de la aleación en un entorno esterilizado o húmedo. La norma internacional también hace referencia a la norma ISO 6892-1, Ensayos de tracción de materiales metálicos, para regular los ensayos de propiedades mecánicas, guiar la medición de la resistencia a la tracción y el límite elástico, y garantizar la fiabilidad de la aleación en entornos de alta tensión. En conjunto, estas normas proporcionan soporte técnico para la aplicación global de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre.

La implementación de normas internacionales ha impulsado la comercialización de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en el mercado global. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, las normas garantizan que la alta densidad y las propiedades no magnéticas de los contrapesos cumplan con los requisitos de diseño; en el sector médico, garantizan la biocompatibilidad y la durabilidad de las piezas de blindaje. El proceso de implementación requiere la combinación de equipos de prueba de alta precisión (como SEM o VSM) y estrictos procesos de control de calidad (como la certificación externa) para garantizar el cumplimiento de los requisitos de la norma.

4.3.3 Normas de aleación de tungsteno-níquel-cobre en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países del mundo

Basándose en normas internacionales, las normas para aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países han formulado especificaciones más específicas y detalladas en función de la tecnología local y la demanda del mercado. Estas normas presentan ciertas diferencias en el control de la composición, los requisitos de rendimiento y los métodos de prueba, lo que refleja el enfoque de aplicación de cada país en las industrias aeroespacial, médica y electrónica. A continuación, se analizarán las normas relevantes de Estados Unidos, Europa, Japón y Corea del Sur, respectivamente, destacando sus características y escenarios de aplicación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Estándar de EE. UU .: Estados Unidos adopta la Especificación de aleación de tungsteno de alta densidad ASTM B777-15 como el estándar principal para las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre, que es aplicable a las aleaciones W-Ni-Cu y W-Ni-Fe. El estándar divide las aleaciones de tungsteno en cuatro categorías (clase 1-4), define los requisitos de rendimiento basados en el contenido de tungsteno (90% -97%) y la relación de fase aglutinante, y cubre la densidad, las propiedades mecánicas (como la resistencia a la tracción y la dureza) y las pruebas no magnéticas. ASTM B777 requiere que la resistencia se verifique mediante pruebas de tracción (referencia ASTM E8) y que las propiedades no magnéticas se confirmen mediante pruebas de resistencia a la magnetización, lo cual es adecuado para piezas de blindaje de MRI médicas y contrapesos de equilibrio de la industria electrónica. El estándar también requiere procesos de producción (como la pulvimetalurgia) para garantizar que la microestructura sea densa y se reduzca la porosidad. La norma militar estadounidense MIL-T-21014D, Aleación de Alta Densidad a Base de Tungsteno, perfecciona los requisitos para aplicaciones militares, especifica indicadores de rendimiento para núcleos perforantes o contrapesos aeroespaciales y enfatiza la resistencia al impacto y la estabilidad a altas temperaturas. Estas normas se utilizan ampliamente en los sectores aeroespacial y de defensa de EE. UU. para garantizar que las aleaciones cumplan con altos requisitos de fiabilidad.

Normas europeas : Europa se basa principalmente en la norma "EN 1982, Lingotes y piezas fundidas de cobre y aleaciones de cobre", así como en otras normas de aleaciones de alta densidad. Si bien se aplica principalmente a aleaciones a base de cobre, algunas especificaciones son aplicables a la fundición y el procesamiento de aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Las normas EN hacen hincapié en el control de la composición (como la proporción de níquel y cobre) y en las pruebas de resistencia a la corrosión, lo cual resulta adecuado para aplicaciones en ingeniería naval y equipos médicos. Europa también utiliza la norma "EN ISO 6892-1, Prueba de tracción de materiales metálicos" para estandarizar las pruebas de propiedades mecánicas, que exige la verificación del rendimiento de las aleaciones en entornos de alta tensión. Las normas europeas se centran en la protección ambiental y la biocompatibilidad, especialmente en aplicaciones médicas, y exigen el cumplimiento de la norma de evaluación biológica "EN ISO 10993" para controlar el contenido de níquel y evitar riesgos alérgicos. Las aleaciones europeas de tungsteno, níquel y cobre se utilizan principalmente en contrapesos de buques y piezas de blindaje médico, destacando su resistencia a la corrosión en agua de mar y sus propiedades no magnéticas.

Norma japonesa : Japón adopta la "Aleación de tungsteno de alta densidad JIS H7202" como norma principal para las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre, aptas para los sectores aeroespacial, electrónico y médico. La norma especifica el rango de contenido de tungsteno (90-95%) y la composición de la fase de unión, exige la verificación de la composición mediante análisis espectral y la evaluación de las propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción e impacto. La norma japonesa hace especial hincapié en los ensayos de conductividad térmica y no magnética, adecuados para aplicaciones de alta precisión en bloques de equilibrio litográficos y piezas de blindaje para resonancia magnética. El "Método de ensayo de tracción JIS Z2241 para materiales metálicos" proporciona directrices para los ensayos de propiedades mecánicas y garantiza la consistencia de los resultados. En cuanto a la tecnología de producción, Japón se centra en materias primas de alta pureza y la sinterización al vacío para reducir

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

el impacto de las impurezas (como el oxígeno o el hierro) en las propiedades no magnéticas y la resistencia a la corrosión. La aplicación de las normas japonesas en la industria electrónica es especialmente destacada, promoviendo la popularización de las aleaciones en los equipos semiconductores.

Estándar coreano : Corea adopta KS D 5201 Tungsteno y aleaciones de tungsteno para regular la producción y prueba de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, que son adecuadas para los campos aeroespacial, electrónico y militar. El estándar requiere la verificación de la densidad, propiedades mecánicas y propiedades no magnéticas de la aleación, y asegura que la composición y el rendimiento cumplan con los requisitos a través del análisis espectral y pruebas de resistencia a la magnetización. Los estándares coreanos se centran en pruebas de rendimiento térmico (como conductividad térmica y coeficiente de expansión térmica) para satisfacer las necesidades de disipadores de calor y bloques de equilibrio en la industria electrónica. La producción de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en Corea adopta principalmente procesos de sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente para asegurar la densidad de la microestructura. El estándar también hace referencia a KS D ISO 6892 Prueba de tracción de materiales metálicos para pruebas de propiedades mecánicas, enfatizando la confiabilidad de la aleación en entornos de alto estrés. El rápido desarrollo de Corea en los campos de la electrónica y los semiconductores ha promovido la implementación de estas normas para garantizar que las aleaciones cumplan con los requisitos de los equipos de alta precisión.

Las diferencias en las normas de los distintos países se reflejan principalmente en el enfoque de la aplicación y los detalles de las pruebas. La norma estadounidense se centra en los requisitos de alta resistencia de los sectores militar y aeroespacial, la europea en la resistencia a la corrosión en aplicaciones marinas y médicas, la japonesa en la no magneticidad y la alta precisión en la industria electrónica, y la surcoreana en aplicaciones electrónicas y de gestión térmica. La implementación de estas normas requiere una combinación de equipos de prueba de alta precisión y un estricto control de impurezas (como un contenido de oxígeno <0,05 %) para garantizar la consistencia del rendimiento de la aleación. La certificación de calidad suele ser verificada por una organización externa para promover el comercio internacional.

CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 5 Tecnología de preparación de aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un material de alta densidad, no magnético y de alto rendimiento. Se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, médico, electrónico y militar gracias a sus excelentes propiedades mecánicas, conductividad térmica y estabilidad química. Su proceso de preparación se basa principalmente en la tecnología de pulvimetalurgia, y se logra una microestructura altamente densa y uniforme mediante etapas como el pretratamiento de la materia prima, la mezcla del polvo, el prensado, la sinterización en fase líquida y el posprocesamiento. El pretratamiento de la materia prima es el punto de partida del proceso de preparación, el cual afecta directamente la fluidez, la uniformidad de la mezcla y las propiedades de sinterización del polvo, determinando así la calidad y el rendimiento de la aleación. La esferoidización y el control del tamaño de partícula del polvo de tungsteno, así como el tratamiento superficial del polvo de níquel-cobre, son dos elementos clave en el pretratamiento de la materia prima para garantizar la alta pureza, el tamaño de partícula adecuado y la actividad superficial del polvo.

5.1 Pretratamiento de la materia prima

La preparación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre utiliza polvo de tungsteno, níquel y cobre de alta pureza como materias primas, formando una estructura de aleación densa mediante un proceso de pulvimetalurgia. El pretratamiento de la materia prima tiene como objetivo optimizar las propiedades físicas y químicas del polvo, incluyendo el tamaño de partícula, la morfología, la pureza y el estado superficial, para mejorar la fluidez, la uniformidad de la mezcla y la sinterización. Como componente principal, el polvo de tungsteno debe tener alta pureza y una distribución granulométrica adecuada para garantizar la alta densidad y las propiedades mecánicas de la aleación. El polvo de níquel y el polvo de cobre, como fases aglutinantes, deben tener buena actividad superficial y humectabilidad para facilitar su combinación con las partículas de tungsteno durante la sinterización en fase líquida. El pretratamiento de la materia prima incluye etapas como la preparación del polvo, el cribado, la limpieza y la modificación superficial, que deben llevarse a cabo en un entorno limpio para evitar la contaminación por impurezas (como oxígeno y carbono). A continuación, se detallará el proceso y la aplicación de la esferoidización y el control granulométrico del polvo de tungsteno, así como el tratamiento superficial del polvo de níquel-cobre.

5.1.1 Esferoidización de polvo de tungsteno y control del tamaño de partícula

La esferoidización y el control del tamaño de partícula del polvo de tungsteno son los componentes principales del pretratamiento de la materia prima. Su objetivo es optimizar la morfología y la distribución del tamaño de partícula, mejorar su fluidez, densidad aparente y rendimiento de sinterización, e influir directamente en la densidad y la uniformidad microestructural de la aleación de tungsteno-níquel-cobre. El polvo de tungsteno se prepara generalmente mediante reducción de hidrógeno o plasma, y su morfología inicial suele ser irregular, poligonal o angular, con un amplio rango de tamaños de partícula. El tratamiento de esferoidización hace que las partículas de polvo de tungsteno tiendan a ser esféricas, reduce las aristas y esquinas, mejora la fluidez (reducción del tiempo de flujo) y la densidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aparente, y facilita la mezcla y el prensado del polvo. El control del tamaño de partícula garantiza que la distribución del tamaño de partícula del polvo se encuentre dentro de un rango adecuado, mejora la reorganización y la densificación de las partículas durante la sinterización y evita la formación de poros o segregación que afecten las propiedades de la aleación. El tratamiento de esferoidización suele emplear la tecnología de esferoidización por plasma o atomización por fusión a alta temperatura . La esferoidización por plasma se realiza introduciendo polvo de tungsteno en una llama de plasma de alta temperatura, lo que provoca que las partículas se fundan instantáneamente y formen gotitas esféricas bajo la acción de la tensión superficial, que posteriormente se enfrían y solidifican rápidamente. Este método puede mejorar significativamente la esferoidización del polvo de tungsteno, reducir los defectos superficiales y mejorar su fluidez, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta precisión, como bloques de equilibrio para máquinas de fotolitografía. El método de atomización por fusión a alta temperatura funde la materia prima de tungsteno y la pulveriza en gotitas finas, que posteriormente se enfrían en un gas inerte para formar partículas esféricas, lo que resulta adecuado para la producción a gran escala. El polvo de tungsteno esferoidizado presenta una mayor densidad aparente, lo que favorece la uniformidad de la pieza prensada y reduce el riesgo de contracción por sinterización desigual.

El control del tamaño de partícula se logra generalmente mediante cribado, clasificación por flujo de aire o tecnología de dispersión ultrasónica. El método de cribado utiliza una malla estándar para separar polvos de tungsteno de diferentes tamaños de partícula. Es simple y eficiente, pero su precisión es baja. La clasificación por flujo de aire separa las partículas mediante flujo de aire y controla con precisión la distribución del tamaño de partícula, lo cual es adecuado para aplicaciones de alta demanda. La dispersión ultrasónica utiliza ondas ultrasónicas para romper partículas aglomeradas y optimizar la uniformidad del tamaño de partícula. El rango adecuado de tamaño de partícula puede equilibrar la actividad de sinterización y la estabilidad estructural. Las partículas más finas mejoran el efecto de disolución-reprecipitación durante la sinterización y promueven la densificación; las partículas más gruesas proporcionan una estructura de esqueleto estable, lo cual es adecuado para los requisitos de alta resistencia de los núcleos de proyectiles perforantes militares. El control del tamaño de partícula debe combinarse con la gestión de la pureza de la materia prima para evitar que las impurezas de oxígeno o carbono afecten el rendimiento del polvo. En la producción, la esferoidización del polvo de tungsteno y el control del tamaño de partícula garantizan la alta densidad y las propiedades mecánicas de la aleación. Por ejemplo, en contrapesos aeroespaciales, el polvo de tungsteno esferoidizado mejora la densidad de la pieza bruta y asegura la estabilidad del centro de gravedad; en piezas de blindaje médico, la distribución uniforme del tamaño de partícula reduce la porosidad y mejora la eficiencia de absorción de radiación. La optimización del proceso debe centrarse en la alta precisión de los equipos (como el control de temperatura por plasma) y la limpieza ambiental (operación en sala limpia) para evitar la contaminación por polvo. El control de calidad verifica la distribución del tamaño de partícula y la morfología mediante un analizador láser de tamaño de partícula y la observación por microscopía electrónica de barrido (MEB).

5.1.2 Tratamiento superficial del polvo de níquel-cobre

El tratamiento superficial del polvo de níquel-cobre es otro paso clave en el pretratamiento de la materia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

prima, que tiene como objetivo optimizar el estado químico superficial, la limpieza y la actividad de los polvos de níquel y cobre, mejorar su humectabilidad y capacidad de unión con partículas de tungsteno durante la sinterización en fase líquida. El níquel y el cobre, como fases de unión, forman una fase líquida durante la sinterización, llenan los espacios entre las partículas de tungsteno y mejoran la tenacidad, la no magneticidad y la conductividad térmica de la aleación. El polvo de níquel-cobre sin tratar puede tener una capa de óxido (como NiO o CuO) , contaminantes orgánicos o gases adsorbidos en la superficie, lo que reduce su humectabilidad y actividad de sinterización, lo que resulta en una unión interfacial deficiente o un aumento de la porosidad.

El tratamiento superficial mejora las propiedades del polvo mediante tecnología de limpieza, modificación química o recubrimiento para garantizar la compacidad y uniformidad de la aleación. La limpieza de superficies generalmente utiliza limpieza química o limpieza ultrasónica. La limpieza química utiliza ácido diluido (como ácido clorhídrico o ácido nítrico) o solución alcalina para eliminar la capa de óxido y las impurezas en la superficie del polvo de níquel-cobre, seguido de enjuague con agua desionizada y secado al vacío o gas inerte (como argón) para evitar la oxidación secundaria. La limpieza ultrasónica utiliza ondas ultrasónicas de alta frecuencia para producir pequeñas burbujas en el líquido de limpieza (como etanol) para reventar y eliminar los contaminantes de la superficie, lo cual es adecuado para aplicaciones de alta precisión. El proceso de limpieza necesita controlar la concentración y el tiempo de la solución para evitar la corrosión excesiva y dañar la morfología del polvo. La limpieza de la superficie del polvo de níquel-cobre después de la limpieza mejora y la humectabilidad con la fase líquida aumenta, lo que conduce a la formación de cuellos de sinterización.

La modificación química mejora aún más el rendimiento de sinterización del polvo de níquel-cobre mediante la introducción de un agente activo o un agente reductor en su superficie. Por ejemplo, se utiliza una pequeña cantidad de agente reductor (como hidrógeno o ácido fórmico) para tratar la superficie del polvo y reducir los óxidos, formando una superficie metálica activa que mejora la unión química con las partículas de tungsteno. La tecnología de recubrimiento de superficies (como la deposición química en fase de vapor, CVD) puede depositar una fina capa de carbono o metal (como Ni o Cu) sobre la superficie del polvo de níquel o cobre para mejorar la resistencia a la oxidación y la humectabilidad, lo cual resulta adecuado para entornos de sinterización a alta temperatura.

El polvo modificado forma una distribución más uniforme de la fase líquida en la sinterización líquida, reduce la segregación y promueve la reorganización y la unión de las partículas de tungsteno. En la producción, el tratamiento superficial del polvo de níquel-cobre optimiza la microestructura y las propiedades de la aleación. Por ejemplo, en disipadores de calor para la industria electrónica, el polvo de níquel-cobre tratado superficialmente mejora la conductividad térmica y la resistencia de la unión interfacial. En colimadores médicos, una mayor humectabilidad reduce la porosidad y mejora la eficiencia del blindaje contra la radiación. La optimización del proceso debe centrarse en la compatibilidad ecológica de la solución de limpieza y la limpieza del entorno de procesamiento para evitar la contaminación secundaria. El control de calidad verifica el estado químico de la superficie mediante análisis XPS o EDS, combinado con SEM para observar la morfología del polvo.

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

5.2 Proceso de pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia es el método principal para preparar aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Forma una estructura de aleación de alta densidad mediante la mezcla de polvo de tungsteno, níquel y cobre, prensado y sinterizado. Este proceso permite controlar con precisión la proporción de componentes, optimizar la microestructura y cumplir con los altos requisitos de rendimiento de contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y bloques de equilibrio de la industria electrónica. El proceso de pulvimetalurgia incluye etapas como la mezcla de polvos, el prensado, la sinterización en fase líquida y el postratamiento (como el prensado isostático en caliente o el tratamiento térmico). Entre ellas, la mezcla y el prensado de polvos son clave para formar una palanquilla uniforme, lo que afecta directamente la reorganización de las partículas, la distribución de la fase líquida y la densidad durante el proceso de sinterización. El proceso debe llevarse a cabo en un entorno limpio, utilizando materias primas de alta pureza y equipos precisos para garantizar la consistencia y la fiabilidad del rendimiento de la aleación.

5.2.1 Parámetros del proceso de mezcla de polvos

El proceso de mezcla de polvos es el paso inicial de la pulvimetalurgia, cuyo objetivo es mezclar uniformemente polvo de tungsteno, níquel y cobre según la proporción diseñada para formar una mezcla con una distribución uniforme de los componentes, sentando las bases para el prensado y la sinterización posteriores. Una mezcla uniforme de polvos garantiza la uniformidad de la microestructura de la aleación, evita la segregación de componentes o la porosidad excesiva y, por lo tanto, mejora la densidad, las propiedades mecánicas y las propiedades no magnéticas. El polvo de tungsteno, como componente principal, proporciona alta densidad y dureza; el polvo de níquel y el polvo de cobre, como fases aglutinantes, mejoran la tenacidad y la conductividad térmica. El éxito del proceso de mezcla de polvos depende de la optimización del tamaño de las partículas, la morfología, el equipo de mezcla y las condiciones del proceso para garantizar que las partículas estén en contacto y se distribuyan uniformemente.

La mezcla de polvo generalmente adopta la tecnología de mezcla mecánica o molienda de bolas. La mezcla mecánica utiliza un mezclador tipo V o un mezclador tridimensional para voltear y mezclar las partículas de polvo en el contenedor por rotación o vibración, lo cual es adecuado para la producción a gran escala. El mezclador debe tener un control de velocidad de alta precisión para evitar una mezcla excesiva que dañe la morfología de las partículas o una ligera aglomeración. La mezcla por molienda de bolas agrega medios de molienda al molino de bolas y utiliza la colisión y la fricción para lograr una dispersión uniforme del polvo, lo cual es adecuado para la producción de lotes pequeños de alta precisión. La relación bola-material y el tiempo de molienda deben controlarse durante el proceso de molienda de bolas para evitar una molienda excesiva que cause la rotura de partículas o la introducción de impurezas. El entorno de mezcla debe llevarse a cabo bajo gas inerte de alta pureza (como argón) o condiciones de vacío para prevenir la oxidación del polvo y mantener la actividad superficial del polvo de níquel-cobre.

El proceso de mezcla de polvos optimiza la correspondencia del tamaño de partícula y la uniformidad de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la mezcla. El polvo de tungsteno suele tener partículas de mayor tamaño, mientras que el polvo de níquel y el de cobre son más finos. Una correspondencia razonable del tamaño de partícula puede aumentar la densidad de empaquetamiento de la mezcla y promover la densificación durante el prensado y la sinterización. La morfología del polvo también es crucial. El polvo de tungsteno esferoidizado tiene una alta fluidez, lo que favorece una mezcla uniforme; el tratamiento superficial del polvo de níquel y cobre (como la limpieza química) elimina la capa de óxido, mejora el contacto entre las partículas y la humectabilidad de la sinterización en fase líquida. La optimización de las condiciones del proceso incluye el tiempo de mezcla, la velocidad de rotación y el control ambiental. Un tiempo de mezcla adecuado garantiza la uniformidad; un tiempo de mezcla demasiado largo puede causar aglomeración de partículas o daños en la superficie. Añadir una pequeña cantidad de lubricante puede mejorar la fluidez del polvo, pero debe eliminarse antes de la sinterización para evitar residuos de carbono.

En la producción real, la uniformidad del proceso de mezcla de polvos afecta directamente el rendimiento de la aleación. Por ejemplo, en piezas de blindaje médico, la distribución uniforme de los componentes garantiza la eficiencia de absorción de radiación y la ausencia de magnetismo; en contrapesos aeroespaciales, la mezcla uniforme de polvos mejora la consistencia de la densidad y asegura la estabilidad del centro de gravedad. El control de calidad verifica la proporción de los componentes mediante análisis de muestreo (XRF o ICP-AES) y observa la uniformidad de la mezcla y la morfología de las partículas mediante un analizador láser de tamaño de partículas y un microscopio electrónico de barrido (MEB). La optimización del proceso debe centrarse en la limpieza del equipo y la pureza del polvo (>99,9 %) para evitar la contaminación por impurezas.

5.2.2 Tecnología de prensado

La tecnología de prensado es un paso clave en el proceso de pulvimetalurgia. Esta tecnología prensa los polvos de tungsteno, níquel y cobre, mezclados uniformemente, para formar una pieza bruta con una forma y resistencia determinadas, lo que proporciona la base para la sinterización posterior. La calidad del prensado afecta directamente la densidad, la precisión de la forma y el rendimiento de sinterización de la pieza bruta, lo que a su vez determina las propiedades finales de la aleación, como la alta densidad, la resistencia y la tenacidad. El prensado requiere asegurar que las partículas de polvo estén compactadas y que la porosidad se reduzca (la porosidad inicial es de aproximadamente un 20-30 %), manteniendo al mismo tiempo la integridad estructural de la pieza bruta. Es adecuada para contrapesos aeroespaciales de formas complejas, colimadores médicos o disipadores de calor en la industria electrónica. La tecnología de prensado debe optimizar los parámetros del proceso en combinación con las propiedades del polvo y las aplicaciones objetivo para garantizar que la pieza bruta cumpla con los requisitos de sinterización.

El moldeo por prensado suele adoptar la tecnología de prensado en frío o prensado isostático. El prensado en frío utiliza una prensa hidráulica o mecánica para cargar el polvo en un molde y comprimirlo a alta presión para obtener una pieza en bruto con una forma específica. Es adecuado para la producción de piezas con formas simples (como barras o placas). El diseño del molde debe considerar la fluidez y la relación de compresión del polvo para garantizar una densidad uniforme dentro de la pieza en bruto y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

evitar grietas o delaminación. El prensado isostático (prensado isostático en frío, CIP) forma una pieza en bruto de alta densidad cargando el polvo en un molde flexible (como una bolsa de goma) y aplicando la misma presión en todas las direcciones en un medio líquido. Es adecuado para formas complejas o piezas de alta precisión. El prensado isostático puede reducir significativamente la concentración de tensiones y la porosidad dentro de la pieza en bruto, y es adecuado para la fabricación de piezas de protección médica o bloques de equilibrio para máquinas de fotolitografía.

El éxito del moldeo por prensado depende de la optimización de las propiedades del polvo y de las condiciones del proceso. El polvo de tungsteno esferoidizado y el polvo de níquel-cobre con tratamiento superficial presentan una alta fluidez, lo que permite formar una estructura de apilamiento más compacta durante el prensado y aumentar la densidad inicial de la pieza. La distribución del tamaño de partícula del polvo debe ser razonablemente homogénea, y las partículas finas rellenan los huecos entre las partículas grandes para reducir la porosidad. Añadir una pequeña cantidad de aglutinante (como alcohol polivinílico) puede mejorar la resistencia en verde de la pieza, pero debe eliminarse mediante desengrasado antes de la sinterización. La presión de prensado debe ajustarse según el tipo de polvo y la densidad deseada. Una presión demasiado alta puede causar desgaste del molde o agrietamiento de la pieza, y una presión demasiado baja resultará en una densidad insuficiente. El control ambiental (como la operación en sala limpia) evita la contaminación por polvo o impurezas y mantiene la pureza de la pieza. El proceso de desengrasado se realiza después del prensado, y el aglutinante y el lubricante se eliminan mediante calentamiento a baja temperatura para evitar que los residuos de carbono afecten la calidad de la sinterización.

En la producción real, la tecnología de prensado afecta directamente el rendimiento y la aplicación de la aleación. Por ejemplo, en el núcleo de proyectiles antiblindaje militares, la palanquilla de alta densidad garantiza la alta densidad y resistencia de la aleación tras la sinterización; en el disipador de calor de la industria electrónica, la estructura uniforme de la palanquilla mejora la conductividad térmica y la precisión dimensional. El control de calidad verifica la uniformidad y la porosidad de la palanquilla mediante la medición de la densidad (método de Arquímedes) y la observación microscópica. La optimización del proceso debe centrarse en la resistencia al desgaste del molde y el control preciso de la presión, mediante equipos hidráulicos de alta precisión o sistemas automatizados de prensado isostático.

5.2.3 Proceso de sinterización en fase líquida

El proceso de sinterización en fase líquida es un paso clave en la preparación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre. Humedece las partículas de tungsteno mediante la formación de una fase líquida con níquel y cobre a alta temperatura, promueve la reorganización y densificación de las partículas y forma una microestructura uniforme y de alta densidad. Este proceso utiliza el alto punto de fusión del tungsteno (aproximadamente 3422 °C) y el bajo punto de fusión del níquel y el cobre (aproximadamente 1300-1450 °C) para lograr una estrecha unión de las partículas de tungsteno bajo la acción de la fase líquida y mejorar las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, tenacidad), la conductividad térmica y las propiedades no magnéticas de la aleación. La sinterización en fase líquida es una opción ideal para aplicaciones de alto rendimiento como contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

disipadores de calor en la industria electrónica, ya que puede producir aleaciones cercanas a la densidad teórica y cumplir con estrictos requisitos de calidad.

El proceso de sinterización en fase líquida se realiza generalmente al vacío o en una atmósfera de gas inerte de alta pureza (como el argón) para evitar la oxidación y la introducción de impurezas. El proceso consta de tres etapas: calentamiento, aislamiento y enfriamiento. En la etapa de calentamiento, las palanquillas de tungsteno, níquel y cobre, mezcladas uniformemente, se calientan por encima del punto de fusión del níquel y el cobre, fundiéndose para formar una fase líquida que humedece la superficie de las partículas de tungsteno. Gracias a la baja tensión superficial y la buena humectabilidad de la fase líquida, el níquel y el cobre líquidos rellenan rápidamente los huecos entre las partículas de tungsteno, promueven la reorganización de las partículas por capilaridad y reducen significativamente la porosidad de la palanquilla. La etapa de aislamiento es fundamental para la densificación. La fase líquida actúa sobre las partículas de tungsteno mediante un mecanismo de disolución-reprecipitación. Una pequeña cantidad de átomos de tungsteno se disuelve y reprecipita en los puntos de contacto de las partículas para formar un cuello de sinterización, que mejora la fuerza de unión entre ellas. Es necesario controlar la velocidad de enfriamiento en la etapa de enfriamiento para evitar grietas causadas por estrés térmico, al tiempo que se garantiza que la fase líquida de níquel-cobre se solidifique para formar una estructura cúbica estable centrada en la cara, formando un fuerte enlace de interfaz con las partículas de tungsteno.

El éxito de la sinterización en fase líquida depende de la optimización de las condiciones del proceso. La relación níquel-cobre (normalmente 7:3 o 3,5:1,5) afecta la cantidad y la fluidez de la fase líquida. Un mayor contenido de níquel puede mejorar la mojabilidad, pero puede causar segregación; un mayor contenido de cobre reduce el punto de fusión de la fase líquida, lo cual es beneficioso para la sinterización, pero debe evitar la pérdida de resistencia. El control preciso de la temperatura de sinterización y el tiempo de mantenimiento es crucial. Una temperatura demasiado alta puede provocar un crecimiento excesivo de partículas de tungsteno o la pérdida de la fase líquida, mientras que una temperatura demasiado baja resultará en una fase líquida insuficiente y una menor densidad. El control atmosférico utiliza argón de alta pureza o un entorno de vacío para prevenir la formación de óxidos (como WO_3 o NiO_3) que afectan las propiedades no magnéticas o la resistencia a la corrosión. La densidad inicial del tocho (optimizada mediante prensado) también afecta al efecto de sinterización. Los tochos de alta densidad pueden reducir la porosidad y aumentar la densidad final.

En la producción real, la sinterización en fase líquida garantiza el alto rendimiento de la aleación. Por ejemplo, en colimadores médicos, la alta densidad y la microestructura uniforme proporcionan una excelente capacidad de protección contra la radiación; en contrapesos aeroespaciales, la fuerte fuerza de adhesión del cuello de sinterización garantiza una alta resistencia y resistencia a las vibraciones. El control de calidad verifica el efecto del proceso mediante la medición de la densidad (método de Arquímedes), la observación mediante microscopio electrónico de barrido (MEB) de la morfología del cuello de sinterización y el análisis por difracción de rayos X (DRX) de la estructura de la fase. La optimización del proceso requiere prestar atención al control preciso de las curvas de temperatura y la pureza de la atmósfera, así como al uso de hornos de sinterización de alta precisión y sistemas de monitorización en línea.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5.3 Tecnología de preparación avanzada

A medida que aumenta la demanda de formas complejas y piezas de alta precisión en las industrias aeroespacial, médica y electrónica, los procesos tradicionales de pulvimetalurgia se enfrentan a limitaciones para la fabricación de geometrías complejas. Las tecnologías de preparación avanzadas, como el moldeo por inyección de metal (MIM), la fabricación aditiva (AM) y la sinterización por plasma por chispa (SPS), ofrecen nuevas opciones para la preparación de aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Estas tecnologías satisfacen las necesidades de aplicaciones de alto rendimiento al aumentar la libertad de forma, acortar los ciclos de producción y optimizar las microestructuras. El moldeo por inyección de metal se ha convertido en una tecnología importante para la preparación de aleaciones de tungsteno, níquel y cobre debido a sus ventajas en la producción de piezas pequeñas y de formas complejas, y se utiliza ampliamente en dispositivos médicos, equipos electrónicos y componentes militares.

5.3.1 Moldeo por inyección de metal

El moldeo por inyección de metal (MIM) es una tecnología de fabricación avanzada que combina la pulvimetalurgia y el moldeo por inyección de plástico. Forma una suspensión fluida mezclando polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante. Tras el moldeo por inyección, se desengrasa y sinteriza para formar piezas de aleación de alta densidad. El MIM es especialmente adecuado para la fabricación de piezas pequeñas, complejas y de alta precisión, como instrumental médico-quirúrgico, conectores para la industria electrónica o pequeños contrapesos para la industria aeroespacial. Sus ventajas residen en la gran libertad de forma, el alto aprovechamiento del material y la alta eficiencia de producción. En comparación con el moldeo por prensado tradicional, el MIM permite lograr estructuras geométricas complejas (como paredes delgadas o canales internos), reducir el mecanizado posterior y los costes.

El proceso MIM incluye cuatro pasos principales: mezcla, moldeo por inyección, desaglomerado y sinterización. En la etapa de mezcla, se mezclan polvos de tungsteno, níquel y cobre (proporción 85%-97% tungsteno, 2%-10% níquel, 1%-8% cobre) con un aglutinante (como polipropileno o aglutinante a base de cera) para formar una suspensión uniforme. El polvo de tungsteno necesita ser esferoidizado para mejorar la fluidez, y los polvos de níquel y cobre necesitan ser limpiados superficialmente para mejorar la unión. La mezcla debe llevarse a cabo en un dispositivo de agitación de alta temperatura para asegurar que el polvo y el aglutinante estén completamente dispersos. En la etapa de moldeo por inyección, la suspensión se inyecta en un molde de precisión. El diseño del molde debe considerar la contracción y la precisión de la forma para formar un cuerpo verde con una geometría objetivo. En la etapa de desaglomerado , el aglutinante se elimina por desaglomerado térmico o desaglomerado con solvente , generalmente calentado lentamente a baja temperatura para evitar el agrietamiento o la deformación de la pieza en bruto. En la etapa de sinterización se utiliza la sinterización en fase líquida, y el níquel y el cobre forman una fase líquida a alta temperatura para humedecer las partículas de tungsteno, promover la densificación y formar una estructura de aleación cercana a la densidad teórica.

El éxito de MIM depende de la optimización de los parámetros del proceso. El tamaño de partícula del polvo debe ser fino y estar distribuido uniformemente para mejorar la fluidez de la suspensión y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

densidad de la pieza en bruto; la selección y proporción del aglutinante afectan la suavidad del moldeo por inyección y la eficiencia del desaglomerante , y la fluidez y la resistencia en verde deben estar equilibradas. El proceso de sinterización requiere un control preciso de la temperatura y la atmósfera, y se utiliza argón de alta pureza o un entorno de vacío para evitar la oxidación y garantizar las propiedades no magnéticas. El rendimiento final de las piezas MIM se optimiza aún más mediante un postratamiento (como prensado isostático en caliente o recocido) para eliminar la porosidad y la tensión residuales y mejorar la resistencia y la tenacidad. El control de calidad verifica el rendimiento de las piezas mediante la observación SEM de la microestructura, la medición de la densidad y las pruebas de propiedades mecánicas, que deben cumplir con las normas ASTM B777 o GB/T 26036.

En la producción real, la tecnología MIM ha mejorado significativamente la flexibilidad de fabricación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Por ejemplo, en el sector médico, los colimadores de formas complejas producidos por MIM ofrecen alta precisión y eficiencia de blindaje contra la radiación; en la industria electrónica, los microdisipadores de calor o conectores fabricados por MIM presentan alta conductividad térmica y propiedades no magnéticas. La optimización de procesos debe centrarse en la alta precisión del diseño del molde y el respeto al medio ambiente del aglutinante, y utilizar aglutinantes degradables o no tóxicos para reducir el impacto ambiental. En el futuro, la combinación de MIM con la fabricación aditiva (como la impresión 3D de moldes) permitirá lograr una producción rápida de formas más complejas y ampliar el potencial de aplicación de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en campos de alta tecnología.

5.3.2 Tecnología de prensado isostático en caliente

El prensado isostático en caliente (HIP) es un proceso avanzado de posprocesamiento de pulvimetalurgia que aplica presión isotrópica a palanquillas de aleación de tungsteno-níquel-cobre en un entorno de gas inerte a alta temperatura y presión para eliminar microporos, aumentar la densidad y mejorar la uniformidad microestructural. Esta tecnología es especialmente adecuada para la producción de componentes de alto rendimiento como contrapesos aeroespaciales, piezas de blindaje médico y disipadores de calor en la industria electrónica, y puede mejorar significativamente la densidad, las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, tenacidad) y la resistencia a la corrosión de la aleación. El prensado isostático en caliente compacta aún más la estructura después de la sinterización en fase líquida para compensar los pequeños defectos que pueden quedar tras la sinterización convencional, de modo que la aleación se acerque a la densidad teórica y satisfaga las necesidades de aplicaciones de alta fiabilidad.

El proceso de prensado isostático en caliente se realiza generalmente en un equipo HIP especializado, utilizando argón de alta pureza como medio de presión. El proceso consta de tres etapas principales: calentamiento, aislamiento y enfriamiento. En la etapa de calentamiento, la palanquilla sinterizada de aleación de tungsteno, níquel y cobre se coloca en una cavidad cerrada y se calienta a una temperatura cercana al punto de fusión de la fase de enlace níquel-cobre (aproximadamente 1200-1400 °C) para plastificar el material. En la etapa de aislamiento, se aplica alta presión isostática (generalmente en un entorno de argón) para comprimir los microporos dentro de la palanquilla con una presión uniforme en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

todas las direcciones, lo que promueve la unión estrecha de las partículas de tungsteno con la fase de enlace níquel-cobre. La fase níquel-cobre presenta cierta fluidez a alta temperatura, rellenando los poros y mejorando la fuerza de unión de la interfaz; las partículas de tungsteno mantienen su estructura cúbica centrada en el cuerpo y proporcionan un esqueleto estable. La etapa de enfriamiento debe realizarse lentamente para evitar grietas causadas por tensión térmica y garantizar la estabilidad de la estructura de la aleación y la uniformidad del rendimiento.

El éxito del prensado isostático en caliente depende de la optimización de las condiciones del proceso. El control preciso de la temperatura y la presión es clave. La temperatura debe hacer que la fase de níquel-cobre tenga suficiente fluidez, pero evitar la disolución excesiva de partículas de tungsteno. La presión debe ser suficiente para eliminar la porosidad, pero no demasiado alta para evitar sobrecargar el equipo. La alta pureza del argón es esencial para prevenir la formación de óxidos (como WO_3 o NiO) que afectan la resistencia no magnética o a la corrosión de la aleación. La densidad inicial de la palanquilla (optimizada mediante la mezcla y prensado de polvo) afecta el efecto HIP. Las palanquillas con menor porosidad inicial pueden alcanzar de manera más eficiente un estado cercano a la densidad teórica. El prensado isostático en caliente también se puede combinar con la sinterización en fase líquida como un solo paso del proceso, directamente desde las palanquillas prensadas en polvo hasta las piezas densas finales, acortando el ciclo de producción. En la producción real, el prensado isostático en caliente mejora significativamente el rendimiento de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, los contrapesos tratados con HIP presentan mayor densidad y resistencia a las vibraciones, lo que garantiza la estabilidad del centro de gravedad y una fiabilidad a largo plazo. En los colimadores médicos, las estructuras con una densidad cercana a la teórica mejoran la eficiencia del blindaje contra la radiación y la resistencia a la corrosión. El control de calidad verifica el efecto del HIP mediante la medición de la densidad (método de Arquímedes), la observación de la microestructura mediante SEM y las pruebas de propiedades mecánicas. La optimización de procesos debe centrarse en el sellado a alta presión y la uniformidad de la temperatura del equipo, y utilizar sistemas de control automatizados para mejorar la precisión.

5.4 Posprocesamiento y procesamiento

El posprocesamiento y el mecanizado son las etapas finales de la preparación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Su objetivo es optimizar la precisión dimensional, la calidad superficial y el rendimiento de las piezas tras la sinterización o el prensado isostático en caliente para cumplir con los exigentes requisitos de las industrias aeronáutica, médica y electrónica. Los procesos de posprocesamiento incluyen tratamiento térmico, tratamiento superficial y mecanizado para eliminar tensiones residuales, mejorar el acabado superficial y lograr geometrías complejas. La alta dureza y tenacidad de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre dificultan su procesamiento, pero se pueden obtener piezas finales de alta precisión y calidad mediante procesos optimizados. El posprocesamiento y el mecanizado no solo mejoran la funcionalidad de las piezas, sino que también aumentan su durabilidad y fiabilidad en entornos hostiles.

El tratamiento térmico es un paso importante en el posprocesamiento, que generalmente incluye recocido

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

o envejecimiento. Su objetivo es eliminar la tensión residual generada durante la sinterización o HIP, optimizar la microestructura y mejorar la tenacidad y la resistencia a la corrosión. El recocido repara los defectos cristalinos (como dislocaciones o tensiones en los límites de grano) en la fase de unión níquel-cobre mediante difusión a través del aislamiento a baja temperatura (aproximadamente 800-1000 °C), manteniendo al mismo tiempo la estabilidad de las partículas de tungsteno. El envejecimiento promueve la formación de fases de precipitación de trazas en la fase níquel-cobre y mejora la resistencia de la fase de unión mediante un aislamiento a largo plazo a baja temperatura. El tratamiento térmico debe realizarse en un entorno de argón o vacío de alta pureza para prevenir la oxidación y garantizar la estabilidad química y no magnética de la aleación. Las piezas tratadas térmicamente presentan propiedades mecánicas más uniformes y una mayor resistencia a la fatiga, lo que las hace adecuadas para contrapesos aeroespaciales o instrumental médico-quirúrgico.

El tratamiento de superficies mejora la calidad y el rendimiento de los componentes mediante pulido, pasivación química o recubrimiento. El pulido mecánico o electroquímico alisa la superficie, reduce los defectos superficiales (como arañazos o microfisuras), mejora la resistencia a la corrosión y la estética, y es especialmente adecuado para blindaje médico o disipadores de calor electrónicos. La pasivación química forma una capa protectora de óxido mediante un tratamiento con solución ácida, mejora la resistencia a la corrosión y es adecuada para aplicaciones en entornos marinos o esterilizados. Las tecnologías de recubrimiento (como el recubrimiento PVD TiN o DLC) pueden mejorar aún más la dureza, la resistencia al desgaste y la oxidación de la superficie, y prolongar la vida útil del componente. El tratamiento de superficies debe seleccionarse según los requisitos de la aplicación para evitar recubrimientos excesivamente gruesos que afecten la conductividad térmica o el amagnetismo.

El mecanizado incluye torneado, fresado, rectificado o electroerosión (EDM), que se utiliza para lograr formas complejas y dimensiones de alta precisión. La alta dureza de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre requiere el uso de herramientas de carburo o diamante, y se requieren bajas velocidades de corte y suficiente refrigerante durante el proceso de mecanizado para reducir la tensión térmica y el desgaste de la herramienta. La electroerosión es adecuada para geometrías complejas (como canales internos o estructuras de paredes delgadas) y elimina material mediante pulsos eléctricos para mantener una alta precisión. Las piezas mecanizadas deben limpiarse e inspeccionarse para garantizar la ausencia de tensiones residuales o daños superficiales. El control de calidad verifica la precisión del mecanizado y la calidad de la superficie mediante medición dimensional (CMM), pruebas de rugosidad superficial y observación mediante SEM.

En la producción real, el posprocesamiento y el procesamiento han mejorado significativamente la aplicabilidad de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Por ejemplo, en el bloque de equilibrio de la máquina de fotolitografía, el mecanizado de precisión garantiza una precisión subnanométrica, y el pulido de superficies mejora la conductividad térmica y la resistencia a la corrosión; en el núcleo de los proyectiles antiblindaje militares, el tratamiento térmico mejora la tenacidad, y el mecanizado permite obtener formas complejas. La optimización de procesos debe centrarse en la resistencia al desgaste de las herramientas y la limpieza del entorno de procesamiento, y utilizar equipos de procesamiento automatizados para mejorar la eficiencia. El control de calidad verifica la integridad de los componentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mediante ensayos no destructivos (como ultrasonidos o rayos X).

5.4.1 Mecanizado de precisión

El mecanizado de precisión es un proceso clave para el posprocesamiento de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Se utiliza para procesar piezas brutas sinterizadas o prensadas isostáticamente en caliente y obtener componentes finales con dimensiones de alta precisión y geometrías complejas, cumpliendo así con los exigentes requisitos de las industrias aeroespacial, médica y electrónica. La alta dureza y tenacidad de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre dificultan su procesamiento, pero mediante la optimización de herramientas y procesos, se puede lograr una precisión submilimétrica o incluso submicrónica, ideal para componentes de reducción de vibraciones en máquinas de litografía, colimadores médicos o núcleos de perforación de blindaje militar. El mecanizado de precisión no solo garantiza la precisión dimensional y de forma de los componentes, sino que también mejora el acabado superficial, optimizando el rendimiento y la fiabilidad.

El mecanizado de precisión suele incluir tecnologías como torneado, fresado, rectificado y electroerosión (EDM). El torneado y el fresado utilizan máquinas de control numérico (CNC) para cortar aleaciones y son adecuados para producir piezas con formas regulares, como barras o placas. La alta dureza del tungsteno requiere el uso de herramientas con recubrimiento de carburo o diamante, y se requieren bajas velocidades de corte y suficiente refrigerante (como emulsiones a base de agua) durante el proceso de mecanizado para reducir la tensión térmica y el desgaste de la herramienta. El rectificado refina aún más la superficie mediante muelas abrasivas o abrasivos para lograr un alto acabado y precisión dimensional, lo cual es especialmente adecuado para los requisitos de superficie de piezas de protección médica o disipadores de calor electrónicos. La electroerosión utiliza pulsos eléctricos para eliminar trazas de material de materiales conductores, lo cual es adecuado para la fabricación de formas complejas o canales internos, como el mecanizado de microestructuras de pequeños contrapesos en la industria aeroespacial. La electroerosión puede lograr alta precisión sin contacto directo, lo que reduce el desgaste de la herramienta y la tensión del material.

El proceso de mecanizado debe optimizarse para adaptarse a las características de la aleación de tungsteno, níquel y cobre. La tenacidad de la fase de unión níquel-cobre puede provocar que la aleación se adhiera a la herramienta durante el mecanizado, y las rebabas superficiales deben reducirse optimizando la velocidad de corte y la velocidad de avance. La alta dureza de las partículas de tungsteno puede causar un desgaste rápido de las herramientas, y estas deben revisarse y reemplazarse regularmente para garantizar la consistencia del mecanizado. El entorno de mecanizado debe mantenerse limpio (operación en sala limpia) para evitar polvo o impurezas que afecten el rendimiento del componente. La selección del refrigerante debe considerar la protección ambiental y la no corrosión de la aleación para evitar la corrosión o los residuos superficiales. Las piezas mecanizadas deben limpiarse ultrasónicamente para eliminar las virutas y el refrigerante para garantizar una superficie limpia.

En la producción real, el mecanizado de precisión mejora significativamente el rendimiento de las piezas de aleación de tungsteno, níquel y cobre. Por ejemplo, en el bloque de equilibrio de la máquina de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

fotolitografía, el mecanizado CNC alcanza una precisión subnanométrica y garantiza la estabilidad de la plataforma; en el núcleo de los proyectiles antiblindaje militares, el mecanizado por electrochispa crea formas geométricas complejas y mejora la penetración. El control de calidad verifica la precisión dimensional y el acabado mediante máquinas de medición de tres coordenadas (MMC), interferómetros láser y ensayos de rugosidad superficial. La optimización de procesos debe centrarse en la integración de equipos de procesamiento automatizados y la resistencia al desgaste de los materiales de las herramientas, así como en el uso de sistemas CNC inteligentes para mejorar la eficiencia.

5.4.2 Proceso de tratamiento de superficies

El tratamiento superficial es un paso importante en el posprocesamiento de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Su objetivo es mejorar el acabado superficial, la resistencia a la corrosión, la resistencia al desgaste y la estética de las piezas para satisfacer los requisitos específicos de las industrias médica, electrónica y aeroespacial. La calidad superficial de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre afecta directamente su rendimiento en entornos hostiles (como la esterilización, entornos marinos o de alta temperatura). El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión, la resistencia a la oxidación y la funcionalidad de la aleación al optimizar el estado de la superficie. Los procesos de tratamiento superficial incluyen pulido mecánico, pasivación química, pulido electroquímico y tecnología de recubrimiento, y el método de tratamiento adecuado debe seleccionarse según los requisitos de la aplicación.

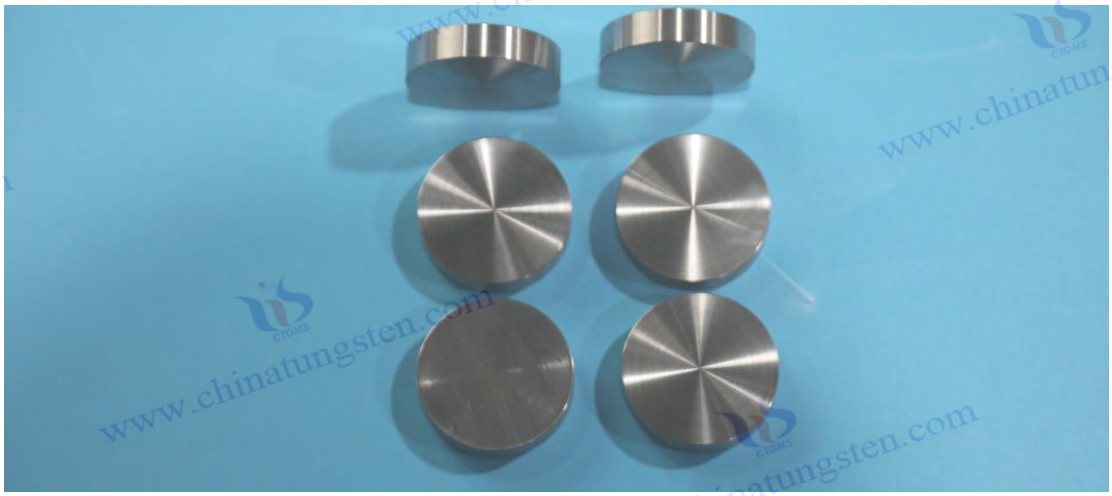
El pulido mecánico es un método de tratamiento de superficies muy utilizado. La superficie del componente se pule gradualmente con una muela abrasiva, un paño de pulido o un abrasivo para eliminar marcas de procesamiento, arañazos y pequeños defectos, logrando un acabado brillante. Tras el pulido, se mejora la suavidad de la superficie (se reduce la rugosidad), lo que no solo mejora la estética, sino que también reduce la adhesión de medios corrosivos, lo que resulta ideal para colimadores médicos o disipadores de calor electrónicos. El pulido requiere el uso de abrasivos de refinado gradual, y la presión y la velocidad de pulido se controlan para evitar el sobrecalentamiento o la concentración de tensiones superficiales. El pulido electroquímico aplica una corriente eléctrica en el electrolito para disolver ligeramente la superficie de la aleación, alisarla y formar una fina película de pasivación, lo que mejora aún más la resistencia a la corrosión. Es especialmente adecuado para contrapesos de buques en entornos marinos.

La pasivación química forma una densa capa protectora de óxido (principalmente NiO_4) sobre la superficie mediante la inmersión de las piezas en una solución ácida o neutra (como ácido nítrico diluido o ácido cítrico), lo que mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación. El tratamiento de pasivación requiere controlar la concentración de la solución y el tiempo de inmersión para evitar la corrosión excesiva y la degradación de la superficie. Las piezas tratadas muestran una mayor estabilidad en entornos esterilizados o húmedos y son adecuadas para el uso a largo plazo de dispositivos médicos. La tecnología de recubrimiento (como la deposición física de vapor PVD o la deposición química de vapor CVD) mejora significativamente la dureza de la superficie, la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión mediante el depósito de una fina capa de material (como TiN_4 , DLC o CrN_4) sobre la superficie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

El recubrimiento PVD TiN proporciona a las piezas una apariencia dorada y una excelente resistencia al desgaste, adecuada para contrapesos aeroespaciales; el recubrimiento DLC tiene un bajo coeficiente de fricción y es adecuado para piezas deslizantes en la industria electrónica. El espesor del recubrimiento debe controlarse con precisión para evitar afectar la conductividad térmica o el no magnetismo.

El tratamiento de superficies debe realizarse en un entorno limpio para evitar la contaminación por polvo o aceite. Antes del tratamiento, las piezas deben limpiarse ultrasónicamente para eliminar los residuos del proceso; después, deben enjuagarse con agua desionizada y secarse para evitar la contaminación secundaria. El control de calidad verifica la resistencia a la corrosión mediante pruebas de rugosidad superficial (como un perfilómetro), la observación de la morfología superficial mediante SEM y la prueba de niebla salina. La optimización del proceso debe centrarse en el respeto al medio ambiente de la solución de tratamiento y la alta precisión del equipo, y utilizar equipos de pulido o recubrimiento automatizados para mejorar la consistencia. En la producción real, el tratamiento de superficies mejora significativamente el rendimiento de la aleación. Por ejemplo, en piezas de blindaje de TC médicos, el pulido electroquímico mejora el acabado superficial y la resistencia a la desinfección; en disipadores de calor para fotolitografía, los recubrimientos PVD mejoran la resistencia al desgaste y la conductividad térmica.



CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Tungsten Nickel Copper Alloy Introduction

1. Overview of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten nickel copper alloy is an alloy composed of tungsten with added nickel and copper, typically in a nickel-to-copper ratio of 3:2. This alloy is non-ferromagnetic, exhibits relatively good electrical and thermal conductivity, and is commonly used in specialized applications such as gyroscope rotors, components for devices and instruments operating under magnetic fields, electrical contacts for high-voltage switches, and electrodes for certain electrical machining processes.

2. Features of Tungsten Nickel Copper Alloy

High Density: Typically 16.5 – 18.75 g/cm³

High Thermal Conductivity: Approximately 5 times that of mold steel

Compared to tungsten-nickel-iron alloy, since copper does not have the sintering activation effect of nickel and iron on tungsten, tungsten-nickel-copper alloy has a slightly lower sintered density, lower strength and plasticity, and is generally not subjected to heat treatment or deformation processing.

3. Production Methods for Tungsten Nickel Copper Alloy

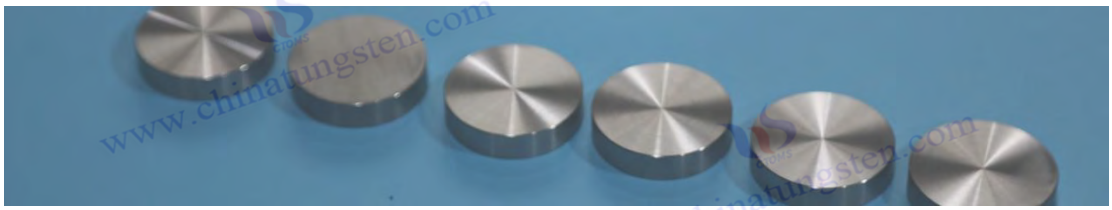
Tungsten-nickel-copper alloy is typically produced using powder metallurgy. First, high-purity tungsten, nickel, and copper powders are mixed in specific proportions, often using equipment like a ball mill to achieve uniform mixing. The mixture is then pressed into shape, commonly using cold isostatic pressing technology under a specific pressure to form a green compact. Subsequently, sintering is performed, generally in a hydrogen protective atmosphere, using a two-step sintering process to address collapse and deformation issues caused by liquid-phase sintering, ensuring the product's density.

4. Applications of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy, with its high density and excellent thermal and electrical conductivity, has a wide range of applications. In the aerospace sector, it can be utilized to manufacture components such as rocket engine nozzles and gas rudders. In the medical field, due to its strong radiation absorption capability and non-magnetic properties, it is suitable for radiation shielding in magnetic resonance imaging rooms. Additionally, it can serve as a counterweight material for precision instruments.

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.tungsten-alloy.com



CTIA GROUP LTD tungsten nickel copper alloy

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 6 Aplicación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en el campo de la información electrónica

La aleación de tungsteno-níquel-cobre se utiliza ampliamente en el campo de la electrónica de la información gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica, especialmente en el encapsulado de chips, la gestión de la disipación de calor y componentes de contrapeso de alta precisión. Esta aleación se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia, combinando la alta densidad del tungsteno con la tenacidad y la conductividad térmica de la fase de unión de níquel-cobre, y cumple con los altos requisitos de los equipos electrónicos en cuanto a gestión térmica, compatibilidad electromagnética y estabilidad dimensional. Con el rápido desarrollo de la tecnología 5G, la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT), la demanda de materiales de alto rendimiento en el campo de la electrónica de la información está en aumento. La aleación de tungsteno-níquel-cobre se ha convertido en una opción ideal para el encapsulado de chips, módulos de radiofrecuencia (RF) y máquinas de fotolitografía gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas.

6.1 Empaquetado de chips y disipación de calor

El encapsulado de chips y la disipación térmica son tecnologías clave en el campo de la información electrónica. Implican la fijación del chip al sustrato y la gestión eficiente del calor generado durante su funcionamiento para garantizar un alto rendimiento y una larga vida útil del dispositivo. La aleación de tungsteno, níquel y cobre se utiliza como sustrato de disipación térmica, disipador de calor y componente de contrapeso en el encapsulado de chips. Gracias a su alta conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión térmica y propiedades no magnéticas, dispersa eficazmente el calor, mantiene la estabilidad dimensional y evita interferencias electromagnéticas, satisfaciendo así las necesidades de equipos electrónicos de alta potencia y alta frecuencia. La microestructura de la aleación se optimiza mediante sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente para formar una densa red de partículas de tungsteno y fases de enlace de níquel-cobre, que proporciona una excelente conductividad térmica y estabilidad mecánica. Sus aplicaciones abarcan equipos de alta precisión, como dispositivos de alta potencia, módulos de radiofrecuencia 5G y máquinas de litografía, lo que contribuye de forma clave a la mejora del rendimiento y la miniaturización de la industria de la información electrónica.

6.1.1 Sustrato de disipación de calor del dispositivo de alta potencia

El sustrato de disipación de calor de dispositivos de alta potencia es un componente clave en el encapsulado de chips. Se utiliza para dispersar rápidamente el calor generado por el chip durante su funcionamiento, evitando que el sobrecalentamiento provoque una degradación del rendimiento o fallos en el dispositivo. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para sustratos de disipación de calor en dispositivos de alta potencia (como amplificadores de potencia, GPU y diodos láser) gracias a su excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta conductividad térmica se debe a la rápida conductividad térmica del cobre, que transfiere rápidamente el calor generado por el chip al sistema de disipación. El bajo coeficiente de expansión térmica coincide con las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

características de expansión térmica de los materiales de chip (como el silicio o el nitruro de galio), lo que reduce la deformación o el agrietamiento causados por la tensión térmica y garantiza la estabilidad a largo plazo de la estructura del encapsulado. Su propiedad no magnética evita las interferencias electromagnéticas y es adecuada para dispositivos electrónicos de alta frecuencia.

Durante el proceso de preparación, la aleación de tungsteno-níquel-cobre se transforma en un sustrato de alta densidad mediante un proceso de pulvimetalurgia. La sinterización en fase líquida distribuye uniformemente la fase de unión de níquel-cobre, mejorando así la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos y mejora la densidad y la resistencia del sustrato. El mecanizado de precisión y el tratamiento superficial (como el pulido electroquímico o el recubrimiento PVD) optimizan el acabado superficial del sustrato, reducen la resistencia térmica y mejoran la eficiencia de contacto con el chip. La superficie del sustrato de tungsteno-níquel-cobre se suele unir al chip mediante procesos de soldadura o unión, y es necesario asegurar una unión firme de la interfaz para evitar desprendimientos o grietas durante los ciclos térmicos. En dispositivos de alta potencia, la aplicación de sustratos de disipación térmica de tungsteno-níquel-cobre mejora significativamente el rendimiento del dispositivo. Por ejemplo, en chips de computación de alto rendimiento (HPC), la rápida disipación térmica del sustrato garantiza la estabilidad del chip bajo cargas elevadas. En los diodos láser, el bajo coeficiente de expansión térmica mantiene la precisión de la posición de los componentes ópticos. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante el ajuste de la relación níquel-cobre, el uso de nanorrecubrimientos (como el DLC) para reducir la resistencia térmica superficial o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para personalizar estructuras complejas de disipación de calor. El control de calidad verifica las propiedades del sustrato mediante pruebas de conductividad térmica (método de flash láser) y mediciones del coeficiente de expansión térmica para garantizar el cumplimiento de las normas de la industria electrónica (como JEDEC).

6.1.2 Disipador de calor de contrapeso del módulo RF 5G

El disipador de calor de contrapeso para módulos RF 5G es un componente clave en los equipos de comunicación 5G. Cuenta con funciones de disipación de calor y contrapeso para garantizar la gestión térmica del módulo y la estabilidad del centro de gravedad durante el funcionamiento a alta frecuencia. La aleación de tungsteno-níquel-cobre es el material preferido para los disipadores de calor de contrapeso de módulos RF debido a su alta densidad, propiedades no magnéticas, alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Los módulos RF 5G deben operar con señales de alta frecuencia (ondas milimétricas), lo que genera mucho calor y requiere miniaturización y alta precisión. La aleación de tungsteno-níquel-cobre puede dispersar rápidamente el calor, mantener la estabilidad dimensional y evitar interferencias electromagnéticas, cumpliendo con los altos requisitos de rendimiento del módulo. Sus características de alta densidad permiten que la aleación proporcione suficiente contrapeso en un espacio limitado, optimice la distribución del centro de gravedad del módulo y reduzca el impacto de las vibraciones en la transmisión de la señal.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

disipadores térmicos de contrapeso de formas complejas mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o pulvimetalurgia. La tecnología MIM forma componentes de alta precisión mediante la mezcla de polvo con un aglutinante, el moldeo por inyección, el desengrasado y la sinterización, adecuados para los complejos requisitos geométricos de los módulos miniaturizados. La sinterización en fase líquida permite que la fase líquida de níquel-cobre humedezca las partículas de tungsteno para formar una microestructura densa, mejorando la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN o el pulido electroquímico) mejora la resistencia a la corrosión y el acabado de la superficie, reduce la resistencia térmica y mejora la resistencia a la oxidación. El mecanizado de precisión en el posprocesamiento garantiza la precisión dimensional de los componentes y cumple con los estrictos requisitos de tolerancia de los módulos 5G.

En los módulos de RF 5G, los disipadores térmicos de contrapeso de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente su rendimiento. Por ejemplo, en los módulos de antena de estación base, la alta densidad de la aleación garantiza la estabilidad del centro de gravedad de la antena, y la conductividad térmica dispersa rápidamente el calor del chip de RF para mantener la estabilidad de la transmisión de la señal. En terminales móviles (como los teléfonos inteligentes), los disipadores térmicos de contrapeso miniaturizados contribuyen al diseño compacto del módulo, a la vez que garantizan la eficiencia de la gestión térmica. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, la mejora de las capacidades de disipación térmica con diseños de microestructura (como canales de disipación térmica en panal) o la combinación de tecnología de prensado isostático en caliente para mejorar aún más la densidad. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante la medición de la densidad, pruebas de conductividad térmica y pruebas de fuerza de magnetización para garantizar el cumplimiento de los estándares de comunicación 5G (como 3GPP).

6.2 Equipos de microondas y radar

Los equipos de microondas y radar constituyen la tecnología clave en el campo de la información electrónica. Se utilizan ampliamente en comunicaciones, navegación, teledetección y defensa nacional. Requieren materiales de alta densidad, amagnetismo, alta conductividad térmica y estabilidad dimensional para garantizar su rendimiento en entornos complejos de alta frecuencia y alta potencia. La aleación de tungsteno-níquel-cobre se ha convertido en el material predilecto para componentes de peso de antenas y componentes de blindaje en equipos de microondas y radar gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas.

Su alta densidad proporciona un control preciso del centro de gravedad, sus propiedades amagnéticas evitan las interferencias electromagnéticas, su alta conductividad térmica y su bajo coeficiente de expansión térmica garantizan la gestión térmica y la estabilidad dimensional, y cumplen con los requisitos de fiabilidad de los equipos en entornos extremos. La aleación forma una microestructura densa mediante sinterización en fase líquida y prensado isostático en caliente, en combinación con mecanizado de precisión y tratamiento superficial, para satisfacer los requisitos de alta precisión de los equipos de microondas y radar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6.2.1 Conjunto de peso de la antena

Los componentes de contrapeso de antena son clave en equipos de microondas y radar, y se utilizan para ajustar la distribución del centro de gravedad de la antena y garantizar su estabilidad y precisión de apuntamiento en entornos dinámicos (como el movimiento de satélites o la vibración de barcos). La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para componentes de contrapeso de antena gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen limitado, optimice la posición del centro de gravedad del sistema de antena y reduzca la desviación causada por vibraciones o cargas de viento. Su propiedad no magnética evita la interferencia del campo magnético y garantiza la precisión y estabilidad de la antena en la transmisión de señales de microondas de alta frecuencia (como la banda Ku o las ondas milimétricas). El bajo coeficiente de expansión térmica de la aleación garantiza la estabilidad dimensional ante cambios de temperatura (como la diferencia de temperatura entre el día y la noche o las bajas temperaturas a gran altitud) y mantiene la precisión geométrica de la antena.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes de peso de antena mediante pulvimetalurgia, generalmente mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o prensado isostático en frío para formar tochos complejos que cumplen con los requisitos de diseño compacto de los sistemas de antena. La sinterización en fase líquida permite que la fase líquida de níquel-cobre humedezca las partículas de tungsteno para formar una microestructura densa, lo que mejora la densidad y las propiedades mecánicas de los componentes de peso. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos y mejora la densidad, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta fiabilidad, como antenas de comunicaciones por satélite. El mecanizado de precisión garantiza la precisión dimensional de los componentes de peso, y el tratamiento superficial (como el pulido electroquímico o el recubrimiento PVD) mejora la resistencia a la corrosión y el acabado superficial, reduciendo la dispersión de la señal o la erosión ambiental.

En aplicaciones de antenas, los componentes de pesas de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento del equipo. Por ejemplo, en antenas de estaciones base 5G, las pesas de alta densidad garantizan la estabilidad de la antena bajo vibraciones de alta frecuencia, y sus propiedades no magnéticas evitan la interferencia de la señal; en antenas de comunicaciones por satélite, el bajo coeficiente de expansión térmica mantiene la precisión de apuntamiento en entornos de gran altitud. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, la mejora de las propiedades mecánicas mediante el diseño de la microestructura (como nervaduras de refuerzo internas) o la personalización de formas complejas mediante tecnología de fabricación aditiva. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante la medición de la densidad, pruebas de resistencia a la magnetización y pruebas de vibración para garantizar el cumplimiento de los estándares de comunicación por microondas.

6.2.2 Componentes de blindaje de radar

Los componentes de blindaje de radar se utilizan para aislar interferencias electromagnéticas, absorber

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

señales parásitas o proteger componentes electrónicos sensibles en equipos de radar, garantizando así el funcionamiento estable del sistema en entornos de alta frecuencia y alta potencia. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para los componentes de blindaje de radar debido a su no magnetismo, alta densidad y excelente conductividad térmica. Esta propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en las señales de radar, lo que resulta especialmente adecuado para sistemas de radar de alta sensibilidad (como los radares de matriz en fase). La alta densidad permite que la aleación absorba y blinde eficazmente las ondas electromagnéticas, reduciendo la fuga de señal o las interferencias externas. La conductividad térmica dispersa rápidamente el calor generado por el transmisor o receptor de radar, evitando que el sobrecalentamiento afecte al rendimiento del equipo. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional de los componentes en entornos de alta temperatura o ciclos térmicos, evitando deformaciones que afecten al efecto de blindaje.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar componentes de blindaje mediante pulvimetalurgia o tecnología MIM, satisfaciendo así las necesidades de formas complejas y diseños compactos. La sinterización en fase líquida forma una microestructura densa con una distribución uniforme de la fase de enlace níquel-cobre, lo que mejora la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El prensado isostático en caliente elimina la porosidad residual, mejora la densidad y la durabilidad de los componentes de blindaje y es adecuado para los exigentes requisitos de los radares militares o de aviación. El mecanizado de precisión (como el rectificado o la electroerosión) logra una geometría de alta precisión que garantiza una integración perfecta de los componentes con los sistemas de radar. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD CrN o la pasivación química) mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación, prolongando la vida útil de los componentes en entornos húmedos o de alta temperatura.

En aplicaciones de radar, los componentes de blindaje de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente la fiabilidad del sistema. Por ejemplo, en los radares militares de matriz en fase, los componentes de blindaje no magnéticos evitan las interferencias de señal, y la alta densidad mejora la eficiencia del blindaje electromagnético; en los radares meteorológicos, la conductividad térmica garantiza la gestión térmica de los transmisores de alta potencia. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad mediante el ajuste de la relación níquel-cobre, el uso de recubrimientos compuestos multicapa para optimizar los efectos de blindaje o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de blindaje complejas. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante pruebas de blindaje electromagnético (como la norma MIL-STD-461), pruebas de conductividad térmica y pruebas de niebla salina para garantizar el cumplimiento de las normas de sistemas de radar (como la IEC 61000).

6.3 Sistemas microelectromecánicos

Los sistemas microelectromecánicos (MEMS) son tecnologías que integran la microelectrónica con estructuras mecánicas a escala micrométrica. Se utilizan ampliamente en teléfonos inteligentes, automóviles, dispositivos médicos y la industria aeroespacial, como acelerómetros, giroscopios y microactuadores . Los dispositivos MEMS requieren materiales con alta densidad para lograr contrapesos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

miniaturizados, propiedades no magnéticas para evitar interferencias electromagnéticas, excelente conductividad térmica para gestionar el calor en espacios diminutos y bajos coeficientes de expansión térmica para garantizar la estabilidad dimensional. Con su alta densidad y propiedades no magnéticas, las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre pueden proporcionar suficiente masa en un volumen diminuto y optimizar la distribución del centro de gravedad de los dispositivos MEMS; su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica garantizan la gestión térmica y la estabilidad a largo plazo, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en entornos dinámicos y de alta precisión. Las aleaciones se preparan mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o pulvimetalurgia de precisión, combinado con mecanizado de precisión y tratamiento de superficies para cumplir con los requisitos de miniaturización y fabricación de alta precisión de los MEMS.

6.3.1 Contrapeso del sensor inercial

El contrapeso del sensor inercial es un componente esencial en los acelerómetros y giroscopios MEMS. Se utiliza para ajustar las propiedades inerciales del bloque de masa del sensor y garantizar su alta sensibilidad a la aceleración o la velocidad angular. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para contrapesos de sensores inerciales gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, mejora la sensibilidad y la precisión de respuesta del sensor y es ideal para diseños miniaturizados, como sensores MEMS para teléfonos inteligentes o dispositivos portátiles. Su propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en las señales del sensor, lo que garantiza mediciones de alta precisión en entornos electromagnéticos complejos (como la electrónica automotriz o los sistemas de navegación aérea). El bajo coeficiente de expansión térmica de la aleación garantiza la estabilidad dimensional del contrapeso ante cambios de temperatura y mantiene la fiabilidad a largo plazo del sensor.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar micropesos mediante tecnología de moldeo por inyección de metal (MIM), cumpliendo así con los requisitos de los dispositivos MEMS para formas complejas y alta precisión. El proceso MIM mezcla polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante y forma una estructura densa mediante desengrasado y sinterización en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel y cobre humedece las partículas de tungsteno, reduce la porosidad y mejora la densidad y las propiedades mecánicas. El mecanizado de precisión (como el microfresado o el procesamiento láser) optimiza aún más la precisión dimensional del contrapeso con tolerancias micrométricas. El tratamiento superficial (como el pulido electroquímico o el recubrimiento PVD) mejora el acabado superficial, reduce la fricción y la resistencia térmica, y garantiza una integración perfecta con las estructuras MEMS. El procesamiento y la manipulación deben realizarse en una sala limpia para evitar la contaminación por polvo que afecta al rendimiento de los microcomponentes.

En aplicaciones de sensores inerciales, los contrapesos de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento del dispositivo. Por ejemplo, en acelerómetros de teléfonos inteligentes, los contrapesos de alta densidad mejoran la sensibilidad de la detección de movimiento, y sus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

propiedades no magnéticas garantizan un funcionamiento estable en entornos con interferencias electromagnéticas. En sistemas de airbags de automóviles, la estabilidad dimensional y la conductividad térmica de los contrapesos garantizan la fiabilidad de los sensores a temperaturas extremas. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, el uso de diseños de microestructura (como contrapesos porosos) para reducir la masa manteniendo la inercia, o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr una miniaturización de mayor precisión. El control de calidad verifica el rendimiento de los contrapesos mediante la medición de la densidad, pruebas de resistencia a la magnetización y pruebas de vibración para garantizar el cumplimiento de las normas MEMS (como la ISO 16063). En el futuro, a medida que los sensores MEMS evolucionen hacia una mayor sensibilidad y miniaturización, los contrapesos de tungsteno-níquel-cobre podrán optimizar aún más el rendimiento mediante la integración de nanomateriales.

6.3.2 Componentes de la microbalanza

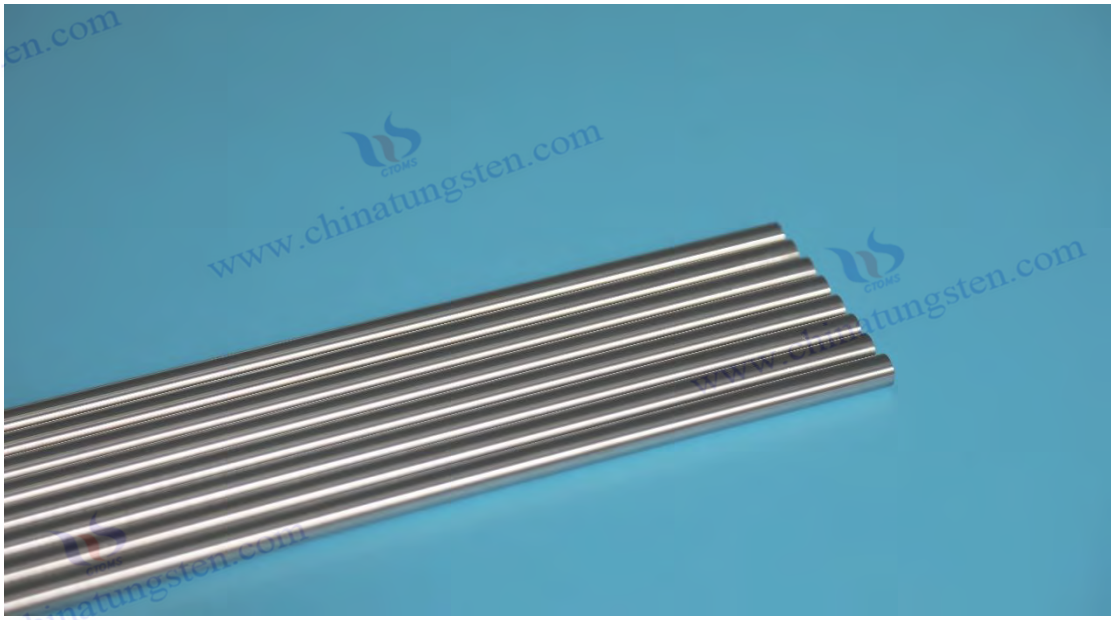
Los componentes microbalanceados son clave en actuadores, osciladores o microespejos MEMS. Se utilizan para ajustar el equilibrio dinámico y la distribución del centro de gravedad de estructuras micromecánicas, garantizando así su estabilidad durante vibraciones de alta frecuencia o movimientos rápidos. Las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre son los materiales preferidos para componentes microbalanceados debido a su alta densidad, propiedades no magnéticas y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, optimice la posición del centro de gravedad de los dispositivos MEMS (como microespejos ópticos o microgiroscopios) y reduzca la compensación de vibraciones o la resonancia mecánica. Esta propiedad no magnética evita las interferencias electromagnéticas y es adecuada para equipos ópticos o de comunicación de alta precisión. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad geométrica de los componentes ante cambios de temperatura y mantiene la precisión operativa de la estructura MEMS.

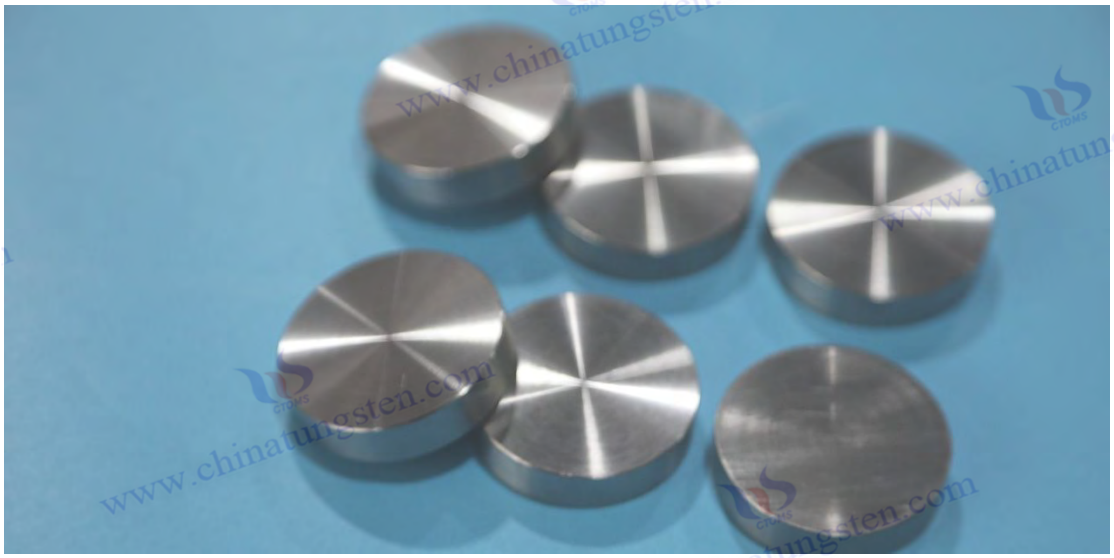
Durante el proceso de preparación, se utiliza aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes microbalanceados mediante MIM o micropulvimetalurgia, cumpliendo con los requisitos de formas complejas y precisión micrométrica. El proceso MIM forma diminutas palanquillas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente mejoran aún más la densidad, eliminan los microporos y mejoran las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El mecanizado de precisión (como el micromaquinado láser o el mecanizado por electrochispa) logra formas geométricas de alta precisión con tolerancias controladas a nivel micrométrico, lo cual es adecuado para las diminutas estructuras de los osciladores MEMS. El tratamiento superficial (como el recubrimiento DLC o la pasivación química) mejora la resistencia al desgaste y a la corrosión, y extiende la vida útil de los componentes en entornos dinámicos. El proceso de procesamiento debe llevarse a cabo en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento de los microcomponentes.

En aplicaciones MEMS, los componentes microbalanceados de tungsteno-níquel-cobre mejoran

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

significativamente el rendimiento del dispositivo. Por ejemplo, en microespejos de escaneo láser, los componentes balanceados de alta densidad optimizan la distribución del centro de gravedad del oscilador y mejoran la precisión y velocidad de escaneo; en microgiroscopios, la no magneticidad y los bajos coeficientes de expansión térmica garantizan una alta sensibilidad y adaptabilidad ambiental. Las líneas de optimización incluyen la reducción de masa mediante el diseño de microestructuras (como estructuras huecas), el uso de nanorrecubrimientos para mejorar las propiedades superficiales o la combinación de tecnología de impresión 3D para lograr una rápida personalización de formas complejas. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante mediciones de precisión dimensional mediante CMM, pruebas de conductividad térmica y pruebas de blindaje electromagnético para garantizar el cumplimiento de las normas MEMS (como IEEE 1833).





CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Tungsten Nickel Copper Alloy Introduction

1. Overview of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten nickel copper alloy is an alloy composed of tungsten with added nickel and copper, typically in a nickel-to-copper ratio of 3:2. This alloy is non-ferromagnetic, exhibits relatively good electrical and thermal conductivity, and is commonly used in specialized applications such as gyroscope rotors, components for devices and instruments operating under magnetic fields, electrical contacts for high-voltage switches, and electrodes for certain electrical machining processes.

2. Features of Tungsten Nickel Copper Alloy

High Density: Typically 16.5 – 18.75 g/cm³

High Thermal Conductivity: Approximately 5 times that of mold steel

Compared to tungsten-nickel-iron alloy, since copper does not have the sintering activation effect of nickel and iron on tungsten, tungsten-nickel-copper alloy has a slightly lower sintered density, lower strength and plasticity, and is generally not subjected to heat treatment or deformation processing.

3. Production Methods for Tungsten Nickel Copper Alloy

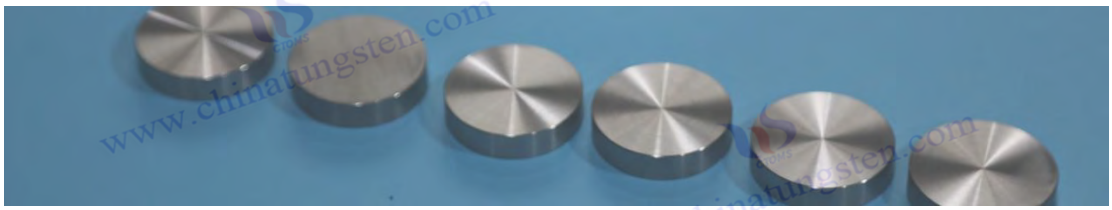
Tungsten-nickel-copper alloy is typically produced using powder metallurgy. First, high-purity tungsten, nickel, and copper powders are mixed in specific proportions, often using equipment like a ball mill to achieve uniform mixing. The mixture is then pressed into shape, commonly using cold isostatic pressing technology under a specific pressure to form a green compact. Subsequently, sintering is performed, generally in a hydrogen protective atmosphere, using a two-step sintering process to address collapse and deformation issues caused by liquid-phase sintering, ensuring the product's density.

4. Applications of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy, with its high density and excellent thermal and electrical conductivity, has a wide range of applications. In the aerospace sector, it can be utilized to manufacture components such as rocket engine nozzles and gas rudders. In the medical field, due to its strong radiation absorption capability and non-magnetic properties, it is suitable for radiation shielding in magnetic resonance imaging rooms. Additionally, it can serve as a counterweight material for precision instruments.

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.tungsten-alloy.com



CTIA GROUP LTD tungsten nickel copper alloy

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 7 Aplicación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en la energía y la industria

La aleación de tungsteno-níquel-cobre ha demostrado un excelente potencial de aplicación en los sectores energético e industrial gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica, especialmente en entornos de alta demanda como vehículos de nuevas energías, equipos aeroespaciales e industriales. Esta aleación se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia, que combina la alta densidad del tungsteno con la tenacidad y la conductividad térmica de la fase de unión níquel-cobre, lo que permite cumplir con los estrictos requisitos de los equipos energéticos en cuanto a gestión térmica, equilibrio de peso y compatibilidad electromagnética. Con el crecimiento de la demanda mundial de energías limpias y tecnología industrial eficiente, la aplicación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en el sector de los vehículos de nuevas energías cobra cada vez mayor importancia, especialmente en contrapesos de rotores de motores y sustratos de disipación térmica de baterías.

7.1 Campo de vehículos de nueva energía

Los vehículos de nuevas energías (incluidos los vehículos eléctricos puros y los híbridos) dependen de sistemas de motor y gestión de baterías eficientes, e imponen altas exigencias en cuanto a densidad, conductividad térmica, amagnetismo y estabilidad dimensional de los materiales. La aleación de tungsteno, níquel y cobre se ha convertido en un material ideal para componentes clave en sistemas de motor y batería gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas. Su alta densidad permite un equilibrio de peso preciso y optimiza el equilibrio dinámico del rotor del motor; su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica favorecen la gestión térmica del sistema de batería y mantienen la estabilidad y seguridad operativas; su amagnetismo evita las interferencias electromagnéticas y garantiza el rendimiento del motor y del sistema electrónico. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para satisfacer las necesidades de alta precisión y durabilidad de los vehículos de nuevas energías.

7.1.1 Peso del rotor del motor

El contrapeso del rotor del motor es un componente esencial del sistema de propulsión de los vehículos de nueva energía. Se utiliza para ajustar la distribución del centro de gravedad del rotor, garantizar el equilibrio dinámico del motor durante la rotación a alta velocidad, reducir la vibración y el ruido, y mejorar la eficiencia y la vida útil. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para los contrapesos del rotor del motor debido a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen limitado, controle con precisión la posición del centro de gravedad del rotor, reduzca la vibración excéntrica durante la rotación a alta velocidad y prolongue la vida útil del rodamiento del motor. Su propiedad no magnética evita la interferencia del campo magnético y garantiza el funcionamiento estable del motor en un entorno electromagnético de alta frecuencia. Es especialmente adecuado para motores síncronos de imanes permanentes o motores de inducción. El bajo coeficiente de expansión térmica de la aleación garantiza que el contrapeso mantenga la estabilidad dimensional ante el aumento de temperatura generado por el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

funcionamiento del motor y mantiene la precisión del equilibrio del rotor. Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes de contrapeso mediante moldeo por inyección de metal o pulvimetalurgia, cumpliendo con los requisitos de diseño de formas complejas y miniaturización. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mezclando polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, desengrasando y sinterizando en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la resistencia del contrapeso y es adecuado para aplicaciones de motores de alto rendimiento. El mecanizado de precisión alcanza tolerancias micrométricas para garantizar una adaptación precisa del contrapeso al rotor. El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y el acabado, además de reducir la fricción y el desgaste.

En vehículos de nueva energía, los pesos de rotor de motor de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento del sistema de propulsión. Por ejemplo, en los motores de propulsión principal de vehículos eléctricos, los pesos de alta densidad reducen la vibración y el ruido, y mejoran la eficiencia de la potencia; en los sistemas de motor de vehículos híbridos, los pesos no magnéticos evitan las interferencias electromagnéticas y mejoran la precisión del control. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, la reducción de masa mediante el uso de un diseño de microestructura ligera (como pesos huecos) o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr una personalización de formas complejas. El control de calidad verifica el rendimiento de los pesos mediante la medición de la densidad, pruebas de vibración y pruebas de resistencia a la magnetización para garantizar el cumplimiento de las normas de la industria automotriz.

7.1.2 Sustrato de disipación de calor del paquete de baterías

El sustrato de disipación de calor del paquete de baterías es un componente clave en el sistema de gestión de baterías de los vehículos de nueva energía. Se utiliza para disipar rápidamente el calor generado por la batería durante su funcionamiento, evitando que el sobrecalentamiento provoque una degradación del rendimiento o riesgos de seguridad. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para el sustrato de disipación de calor del paquete de baterías gracias a su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta conductividad térmica se debe a la rápida conductividad térmica del cobre, que transfiere rápidamente el calor generado por la batería (como las baterías de iones de litio) al sistema de disipación de calor para mantener la temperatura de funcionamiento ideal de la batería. El bajo coeficiente de expansión térmica se ajusta a las características de expansión térmica de los materiales de batería (como el grafito o los diafragmas cerámicos), reduce la deformación o el agrietamiento causados por la tensión térmica y garantiza la estabilidad estructural del paquete de baterías. Su propiedad no magnética evita las interferencias electromagnéticas y es adecuada para su uso cerca de la unidad de control electrónico (ECU) en el sistema de gestión de baterías.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar sustratos de disipación térmica mediante pulvimetalurgia o tecnología MIM, cumpliendo así con los

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

requisitos de las baterías para estructuras de paredes delgadas y alta precisión. La sinterización en fase líquida forma una microestructura densa, con fases de enlace de níquel-cobre distribuidas uniformemente, lo que mejora la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El prensado isostático en caliente elimina la porosidad residual, mejora la densidad y la durabilidad del sustrato y es adecuado para aplicaciones de baterías de alta potencia. El mecanizado de precisión (como el microfresado o el procesamiento láser) crea canales complejos de disipación térmica o estructuras de placa delgada para garantizar un contacto estrecho con el módulo de la batería. El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación, y prolonga la vida útil del sustrato en entornos húmedos o de alta temperatura. El procesamiento debe realizarse en una sala limpia para evitar que la contaminación por polvo afecte la eficiencia de la conducción térmica.

En vehículos de nuevas energías, los sustratos de disipación térmica de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento de la batería. Por ejemplo, en vehículos eléctricos de alto rendimiento, la rápida disipación térmica del sustrato reduce el aumento de temperatura de la batería, lo que prolonga su vida útil y la eficiencia de carga. En autobuses eléctricos comerciales, el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad estructural de la batería durante los ciclos térmicos. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la eficiencia de disipación térmica mediante el diseño de microcanales, el uso de recubrimientos compuestos (como el grafeno) para reducir la resistencia térmica o la combinación de tecnología de impresión 3D para personalizar estructuras complejas de disipación térmica. El control de calidad verifica el rendimiento del sustrato mediante pruebas de conductividad térmica (método de flash láser), la medición del coeficiente de expansión térmica y pruebas de niebla salina para garantizar el cumplimiento de las normas de la industria automotriz.

7.2 Soluciones de refrigeración industrial

Las soluciones de disipación de calor industrial son la tecnología clave para el funcionamiento estable de los equipos industriales modernos. Implican la gestión eficiente del calor generado por componentes o sistemas electrónicos de alta potencia durante su funcionamiento para evitar que el sobrecalentamiento provoque una degradación del rendimiento o fallos en los equipos. La aleación de tungsteno-níquel-cobre es un material ideal para componentes de disipación de calor industrial gracias a su alta conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión térmica y propiedades no magnéticas. Disipa rápidamente el calor, mantiene la estabilidad dimensional y evita interferencias electromagnéticas. Su alta densidad y excelentes propiedades mecánicas la hacen ideal para uso a largo plazo en entornos hostiles, como servidores de centros de datos, equipos de automatización industrial y módulos semiconductores de potencia. La aleación de tungsteno-níquel-cobre se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que satisface las necesidades de disipación de calor industrial de alta precisión y durabilidad, y contribuye al funcionamiento estable de equipos industriales de alto rendimiento.

7.2.1 Base de refrigeración del servidor

El disipador de calor del servidor es un componente clave del servidor del centro de datos. Se utiliza para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

disipar rápidamente el calor generado por la CPU, la GPU o el módulo de memoria durante su funcionamiento, garantizando así la estabilidad y la fiabilidad del servidor bajo cargas elevadas. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para el disipador de calor del servidor debido a su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta conductividad térmica se debe a la rápida conductividad térmica del cobre, que permite transferir rápidamente el calor generado por el procesador al radiador o al sistema de refrigeración líquida, reducir la temperatura del chip y prolongar la vida útil del equipo. El bajo coeficiente de expansión térmica se corresponde con las características de expansión térmica de los chips de silicio o los sustratos cerámicos, reduce la deformación o el agrietamiento causados por la tensión térmica y garantiza la estabilidad del contacto a largo plazo entre la base y el chip. Su propiedad no magnética evita las interferencias electromagnéticas y es adecuada para el entorno electromagnético de alta densidad del centro de datos.

Durante el proceso de preparación, la aleación de tungsteno-níquel-cobre se transforma en un disipador de calor mediante un proceso de pulvimetalurgia, generalmente mediante prensado isostático en frío o moldeo por inyección de metal (MIM) para formar una palanquilla de alta precisión. La sinterización en fase líquida permite que la fase líquida de níquel-cobre humedezca las partículas de tungsteno, formando una microestructura densa que mejora la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la durabilidad de la base y es adecuado para aplicaciones de servidores de alta carga. El mecanizado de precisión (como el fresado CNC o el procesamiento láser) crea canales complejos de disipación de calor o estructuras de placa delgada para garantizar un contacto estrecho con el chip. El tratamiento superficial (como el pulido electroquímico o el recubrimiento PVD TiN) mejora el acabado superficial y la resistencia a la corrosión, reduce la resistencia térmica y mejora la resistencia a la oxidación. El procesamiento debe realizarse en una sala limpia para evitar que la contaminación por polvo afecte la eficiencia de la conducción térmica.

En aplicaciones de servidor, el disipador térmico de tungsteno-níquel-cobre mejora significativamente el rendimiento del centro de datos. Por ejemplo, en servidores de computación de alto rendimiento (HPC), la rápida disipación térmica de la base reduce el aumento de temperatura del chip y permite un funcionamiento continuo con alta carga; en servidores de computación en la nube, el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad estructural bajo ciclos térmicos y reduce los costes de mantenimiento. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la eficiencia de la disipación térmica mediante el diseño de microcanales, el uso de nanorrecubrimientos (como el grafeno) para reducir la resistencia térmica o la combinación de tecnología de impresión 3D para personalizar estructuras complejas de disipación térmica. El control de calidad verifica el rendimiento de la base mediante pruebas de conductividad térmica (método de flash láser), la medición del coeficiente de expansión térmica y pruebas de durabilidad para garantizar el cumplimiento de las normas de centros de datos.

7.2.2 Sustrato de empaquetado de semiconductores de potencia

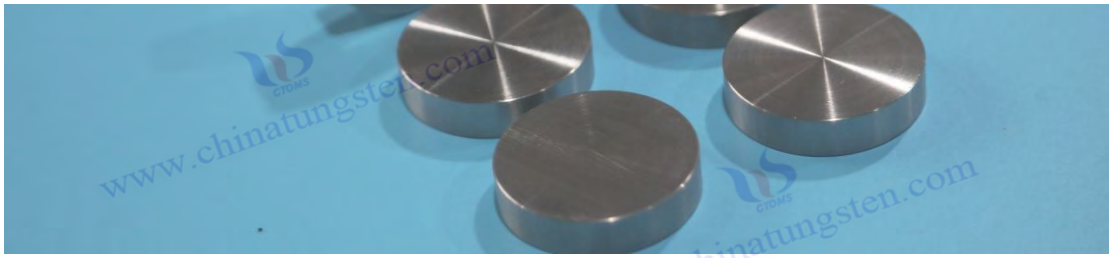
Los sustratos de encapsulado de semiconductores de potencia son componentes esenciales de los dispositivos electrónicos de alta potencia. Se utilizan para soportar el chip y disipar rápidamente el calor generado durante su funcionamiento, garantizando así el rendimiento y la fiabilidad del dispositivo en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

entornos de alta tensión y alta corriente. Las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre son materiales ideales para sustratos de encapsulado de semiconductores de potencia gracias a su alta conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión térmica y propiedades no magnéticas. Una alta conductividad térmica permite transferir rápidamente el calor desde los chips semiconductores al sistema de disipación, reducir la temperatura de la unión y mejorar la eficiencia y la vida útil del dispositivo. El bajo coeficiente de expansión térmica se corresponde con las características de expansión térmica de los materiales de los chips, lo que reduce los fallos del encapsulado causados por la tensión térmica y garantiza la estabilidad a largo plazo. Sus propiedades no magnéticas evitan las interferencias electromagnéticas y son adecuadas para aplicaciones de electrónica de potencia de alta frecuencia.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar sustratos de embalaje mediante pulvimetalurgia o tecnología MIM, satisfaciendo así las necesidades de estructuras de paredes delgadas y alta precisión. La sinterización en fase líquida forma una microestructura densa con una distribución uniforme de la fase de enlace níquel-cobre, lo que mejora la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El prensado isostático en caliente elimina la porosidad residual, mejora la densidad y la durabilidad del sustrato y es adecuado para aplicaciones de alta potencia. El mecanizado de precisión (como el microfresado o el mecanizado por electrochispa) logra superficies planas y dimensiones precisas con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar una unión firme con el chip. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD CrN o la pasivación química) mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación, y prolonga la vida útil del sustrato en entornos de alta temperatura o humedad. La superficie del sustrato se suele unir al chip mediante soldadura o adhesivo termoconductor, y la resistencia térmica de la interfaz debe minimizarse.

En aplicaciones de semiconductores de potencia, los sustratos de encapsulado de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento del dispositivo. Por ejemplo, en inversores industriales, la rápida disipación térmica del sustrato mejora la densidad de potencia y la fiabilidad del módulo IGBT; en inversores de energía eólica, el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad del encapsulado bajo ciclos térmicos. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, el uso de una estructura compuesta multicapa para mejorar la eficiencia de la difusión del calor o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para personalizar rutas complejas de disipación térmica. El control de calidad verifica el rendimiento del sustrato mediante pruebas de conductividad térmica, la medición del coeficiente de expansión térmica y pruebas de envejecimiento a alta temperatura para garantizar el cumplimiento de las normas industriales (como la IEC 60747).



CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 8 Aplicación de la aleación de tungsteno, níquel y cobre en la industria de defensa nacional

La aleación de tungsteno-níquel-cobre ha demostrado ser muy útil en el campo de la defensa nacional y la industria militar gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica, especialmente en equipos de contramedidas electrónicas, sistemas de armas y equipos de protección. Esta aleación se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia, que combina la alta densidad del tungsteno con la tenacidad y conductividad térmica de la fase de enlace níquel-cobre, lo que permite cumplir con los estrictos requisitos de los equipos militares en cuanto a control de peso, compatibilidad electromagnética y resistencia a entornos extremos. Ante la creciente demanda de alta precisión, fiabilidad y ocultación en la guerra moderna, la aplicación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en equipos de contramedidas electrónicas cobra cada vez mayor importancia, especialmente en componentes de peso para inhibidores de interferencias y componentes de señuelos de radar.

8.1 Equipos de contramedidas electrónicas

Los equipos de contramedidas electrónicas son una tecnología clave en el campo de la defensa nacional moderna y la industria militar. Se utilizan para interferir o engañar a los radares, sistemas de comunicación y equipos de navegación enemigos, con el fin de proteger la seguridad de las tropas o el equipo propio. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para componentes clave de equipos de contramedidas electrónicas gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta densidad le permite proporcionar suficiente masa en un volumen limitado y optimizar la distribución del peso y el equilibrio dinámico del equipo; su propiedad no magnética evita las interferencias electromagnéticas y garantiza la estabilidad operativa en entornos electromagnéticos de alta frecuencia; su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica favorecen la gestión térmica y la estabilidad dimensional, lo que resulta adecuado para escenarios militares de alta resistencia y despliegue rápido. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que cumple con los requisitos de alta precisión y durabilidad de los equipos de contramedidas electrónicas.

8.1.1 Contramedidas y componentes de peso

El contrapeso del inhibidor es un componente clave en los equipos de contramedidas electrónicas. Se utiliza para ajustar el centro de gravedad del inhibidor (como un señuelo coaxial o infrarrojo) y garantizar su estabilidad dinámica y precisión de trayectoria durante el lanzamiento y vuelo a alta velocidad. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para el contrapeso del inhibidor debido a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, controle con precisión el centro de gravedad del inhibidor, optimice su rendimiento aerodinámico, aumente la distancia de vuelo o mejore la precisión de lanzamiento. La propiedad no magnética evita la interferencia del campo magnético en los componentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

electrónicos internos del inhibidor (como el buscador o el circuito de control), lo que garantiza un funcionamiento normal en un entorno electromagnético complejo. El bajo coeficiente de expansión térmica de la aleación garantiza la estabilidad dimensional del contrapeso bajo el calor de la fricción del aire o la diferencia de temperatura ambiente generada por el vuelo a alta velocidad.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes de contrapeso mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o pulvimetalurgia, lo que permite satisfacer las necesidades de miniaturización y formas complejas de los bloqueadores. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mezclando polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, desengrasando y sinterizando en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la resistencia del contrapeso y es adecuado para aplicaciones con cargas dinámicas elevadas. El mecanizado de precisión (como el fresado CNC o la electroerosión) alcanza tolerancias micrométricas para garantizar la adaptación precisa del contrapeso a la estructura del bloqueador. El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación, prolongando la vida útil de los componentes en entornos húmedos o de alta temperatura.

En aplicaciones de contramedidas electrónicas, los conjuntos de contrapesos de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento de los bloqueadores. Por ejemplo, en los bloqueadores de chaff a bordo, los contrapesos de alta densidad optimizan la trayectoria del cuerpo del misil para garantizar una cobertura precisa del rango de detección del radar enemigo; en las bombas señuelo infrarrojas, los contrapesos no magnéticos evitan la interferencia con el sistema de guiado electrónico y mejoran el efecto de inducción. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, la reducción de masa mediante el uso de diseño de microestructura (como contrapesos huecos) o la personalización de formas complejas en combinación con tecnología de fabricación aditiva. El control de calidad verifica el rendimiento del contrapeso mediante la medición de la densidad, pruebas de vibración y pruebas de resistencia a la magnetización para garantizar el cumplimiento de las normas militares.

8.1.2 Componentes del señuelo de radar

Los componentes de señuelos de radar son una parte importante de los equipos de contramedidas electrónicas. Se utilizan para simular señales de objetivos o interferir con radares enemigos, protegiendo así aeronaves, barcos o equipos terrestres propios de la detección y el ataque. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para componentes de señuelos de radar debido a su alta densidad, no magnetismo y alta conductividad térmica. Esta alta densidad le permite proporcionar suficiente masa en un volumen pequeño para simular el área de la sección transversal del radar (RCS) de un objetivo real y potenciar el efecto de engaño del señuelo. Su no magnetismo evita la interferencia del campo magnético en los componentes electrónicos internos del señuelo (como antenas o generadores de señales), lo que garantiza un funcionamiento estable en entornos electromagnéticos de alta frecuencia. Su alta conductividad térmica dispersa rápidamente el calor generado por el señuelo al volar a alta velocidad o

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

funcionar a alta potencia, evitando así el sobrecalentamiento y las fallas. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional de los componentes bajo diferencias extremas de temperatura.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes de señuelos de radar mediante MIM o pulvimetalurgia, cumpliendo con los requisitos de formas complejas y alta precisión. La tecnología MIM forma diminutas piezas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente mejoran la densidad, eliminan los microporos y mejoran la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El mecanizado de precisión (como el micromecanizado láser o el mecanizado por electrochispa) logra formas geométricas complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico, lo cual es adecuado para el diseño miniaturizado de señuelos de radar. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN o el pulido electroquímico) mejora la resistencia a la corrosión y el acabado superficial, reduce la dispersión de la señal y mejora la resistencia a la oxidación. El procesamiento debe realizarse en una sala limpia para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento del componente.

En aplicaciones de señuelos de radar, los componentes de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el efecto de contramedida. Por ejemplo, en señuelos para drones, los componentes de alta densidad simulan la RCS de aeronaves reales y engañan a los radares enemigos; en sistemas de señuelos a bordo de barcos, sus propiedades no magnéticas y su alta conductividad térmica garantizan la estabilidad y fiabilidad de los señuelos en operaciones de alta potencia. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad mediante el ajuste de la relación níquel-cobre, el uso de estructuras compuestas multicapa para mejorar el apantallamiento electromagnético o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de señuelo complejas. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante pruebas de apantallamiento electromagnético (MIL-STD-461), pruebas de conductividad térmica y pruebas de envejecimiento a alta temperatura para garantizar el cumplimiento de las normas militares.

8.2 Sistema de municiones

Un componente esencial de la industria de defensa, que requiere materiales de alta densidad para optimizar la distribución del peso, buenas propiedades mecánicas para soportar impactos a alta velocidad y propiedades no magnéticas para evitar interferencias electromagnéticas. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para componentes de contrapeso y equilibrio en sistemas de munición gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, alta resistencia y bajo coeficiente de expansión térmica. La alta densidad le permite proporcionar suficiente masa en un volumen limitado para optimizar la estabilidad de vuelo y la penetración de la munición; sus propiedades no magnéticas garantizan que no interfiera con el sistema de guiado electrónico de la munición; su alta resistencia y tenacidad permiten que los componentes soporten cargas mecánicas extremas durante el lanzamiento y el vuelo; y su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional en entornos con altas temperaturas o diferencias de temperatura. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que cumple con

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

los requisitos de alta precisión y durabilidad del sistema de munición.

8.2.1 Contrapeso de la ojiva del proyectil

El contrapeso de una ojiva de proyectil es un componente clave en su diseño. Sirve para ajustar el centro de gravedad del proyectil y garantizar su estabilidad dinámica y precisión de penetración durante el lanzamiento y vuelo a alta velocidad. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para el contrapeso de una ojiva de proyectil debido a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen limitado , controle con precisión el centro de gravedad del proyectil, optimice el rendimiento aerodinámico, reduzca la deflexión durante el vuelo y mejore la precisión del impacto. La propiedad no magnética evita la interferencia del campo magnético en los componentes electrónicos internos del proyectil (como el sistema de guía o la espoleta), lo que garantiza un funcionamiento fiable en un entorno electromagnético complejo. La alta resistencia y tenacidad de la aleación le permiten soportar la enorme fuerza de impacto durante el lanzamiento del proyectil y la vibración durante el vuelo a alta velocidad. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional a altas temperaturas de lanzamiento o diferencias de temperatura ambiente.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar contrapesos mediante pulvimetalurgia o moldeo por inyección de metal (MIM), cumpliendo así con los requisitos de formas complejas y alta precisión para proyectiles de artillería. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mediante la mezcla de polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, el desengrasado y la sinterización en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la resistencia al impacto del contrapeso y es adecuado para proyectiles de artillería de alto rendimiento. El mecanizado de precisión (como el torneado CNC o la electroerosión) alcanza tolerancias micrométricas para garantizar la adaptación precisa del contrapeso a la estructura de la ojiva. El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación, y prolonga la vida útil del contrapeso en entornos húmedos o de alta temperatura.

En aplicaciones de proyectiles de artillería, los contrapesos de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento de la munición. Por ejemplo, en proyectiles de tanques, los contrapesos de alta densidad optimizan la estabilidad de vuelo de la ojiva y mejoran la capacidad de penetración de blindaje; en municiones para cañones navales, los contrapesos no magnéticos evitan la interferencia de las espoletas electrónicas y mejoran la precisión del impacto. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la tenacidad mediante la optimización de la relación níquel-cobre, la optimización de la distribución del centro de gravedad mediante el diseño de microestructuras (como contrapesos de densidad de gradiente) o la personalización de formas complejas en combinación con tecnología de fabricación aditiva. El control de calidad verifica el rendimiento de los contrapesos mediante la medición de la densidad, pruebas de impacto y pruebas de resistencia a la magnetización para garantizar el cumplimiento de las normas militares.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

8.2.2 Componentes de equilibrio de la ojiva del misil

El componente de equilibrio de la ojiva del misil es clave en el sistema, ya que ajusta la distribución del centro de gravedad de la ojiva para garantizar su estabilidad y precisión durante vuelos y maniobras a alta velocidad. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para los componentes de equilibrio de la ojiva gracias a su alta densidad, amagnetismo y alta resistencia. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, controle con precisión el centro de gravedad de la ojiva y optimice la trayectoria de vuelo y la estabilidad de actitud del misil, especialmente en vuelos supersónicos o de alta maniobra. Su amagnetismo evita la interferencia del campo magnético en el sistema electrónico de la ojiva (como el buscador de radar o el sistema de navegación inercial), lo que garantiza un guiado de alta precisión. La alta resistencia y tenacidad de la aleación le permiten soportar el impacto del lanzamiento y cargas mecánicas extremas en vuelo, y su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional bajo fricción a altas temperaturas o diferencias de temperatura ambiente.

Durante el proceso de preparación, la aleación de tungsteno-níquel-cobre se fabrica en componentes equilibrados mediante MIM o pulvimetalurgia para satisfacer las necesidades de miniaturización y formas complejas de las ojivas de misiles. La tecnología MIM forma diminutas palanquillas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente mejoran la densidad, eliminan los microporos y mejoran las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El mecanizado de precisión (como el micromaquinado láser o el mecanizado por electrochispa) logra formas geométricas complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico, lo cual es adecuado para el diseño compacto de ojivas. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD CrN o el pulido electroquímico) mejora la resistencia a la corrosión y el acabado superficial, reduce el impacto del calor por fricción del aire y mejora la resistencia a la oxidación. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento del componente.

En aplicaciones de misiles, los componentes de equilibrio de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento de la ojiva. Por ejemplo, en misiles antibuque, los componentes de equilibrio de alta densidad optimizan la distribución del centro de gravedad de la ojiva y mejoran la estabilidad en vuelo a alta velocidad; en misiles guiados de precisión, sus propiedades no magnéticas y su alta resistencia garantizan la fiabilidad y la resistencia al impacto del sistema de guiado. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante el ajuste de la relación níquel-cobre, el uso de estructuras compuestas multicapa para mejorar las propiedades mecánicas o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de equilibrio complejas. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante la medición de la densidad, pruebas de vibración y pruebas de blindaje electromagnético para garantizar el cumplimiento de las normas militares.

8.3 Equipo de protección blindado

El equipo de protección blindado es un componente esencial de la industria militar de defensa nacional.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Se utiliza para proteger al personal, los vehículos y las instalaciones contra proyectiles, fragmentos de explosión u otras amenazas. Requiere materiales de alta densidad, alta resistencia, tenacidad y no magnetismo para lograr un equilibrio entre ligereza y un alto rendimiento de protección. La aleación de tungsteno-níquel-cobre ofrece una gran resistencia al impacto gracias a su alta densidad y excelentes propiedades mecánicas; sus propiedades no magnéticas evitan las interferencias electromagnéticas y son adecuadas para sistemas de blindaje modernos con equipos electrónicos integrados. Su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional a temperaturas extremas.

8.3.1 Refuerzos de placas de blindaje ligeras

Los refuerzos ligeros para placas de blindaje son componentes clave en los equipos de protección blindada. Se utilizan para mejorar el rendimiento antibalas de las placas de blindaje, reduciendo al máximo su peso. Son adecuados para equipos de protección portátiles (como chalecos antibalas) o vehículos blindados ligeros. Las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre son los materiales preferidos para los refuerzos ligeros de placas de blindaje debido a su alta densidad, resistencia y tenacidad. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen limitado, mejore la resistencia al impacto de la placa de blindaje y absorba y disperse eficazmente la energía cinética de proyectiles o fragmentos de explosión. La tenacidad de la fase de unión níquel-cobre reduce la propensión a la fractura frágil bajo impactos a alta velocidad y puede absorber energía mediante deformación plástica para mejorar el rendimiento protector. Su propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en equipos electrónicos integrados en las placas de blindaje, lo que resulta adecuado para el complejo entorno electromagnético de los campos de batalla modernos. El bajo coeficiente de expansión térmica asegura la estabilidad dimensional del refuerzo ante explosiones de alta temperatura o diferencias de temperatura ambiente.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar refuerzos mediante pulvimetalurgia o tecnología de moldeo por inyección de metal (MIM) para satisfacer los requisitos de placas de blindaje ligeras de formas complejas y peso ligero. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mediante la mezcla de polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, el desengrasado y la sinterización en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar la tenacidad y las propiedades mecánicas. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la resistencia al impacto del refuerzo y es adecuado para aplicaciones de alta carga dinámica. El mecanizado de precisión (como el fresado CNC o la electroerosión) logra formas geométricas precisas y tolerancias dimensionales para garantizar una integración perfecta de los refuerzos con las placas de blindaje. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN o la pasivación química) mejora la resistencia a la corrosión y al desgaste, prolongando la vida útil de los refuerzos en entornos hostiles.

En aplicaciones de blindaje, los refuerzos de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento protector de las placas de blindaje ligero. Por ejemplo, en chalecos antibalas, los refuerzos mejoran la capacidad de resistir proyectiles perforantes, manteniendo la ligereza y mejorando la movilidad del soldado; en vehículos blindados ligeros, los refuerzos de alta densidad optimizan la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

resistencia al impacto de las placas de blindaje. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la tenacidad mediante la optimización de la relación níquel-cobre, el uso de estructuras compuestas (por ejemplo, en combinación con cerámica) para mejorar la eficiencia de la protección o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para personalizar refuerzos complejos. El control de calidad verifica el rendimiento de los refuerzos mediante la medición de la densidad, pruebas de impacto y pruebas de blindaje electromagnético para garantizar el cumplimiento de las normas militares.

8.3.2 Revestimiento protector de vehículos blindados

El revestimiento protector de los vehículos blindados es un componente clave en su interior. Se utiliza para absorber y dispersar la energía de las ondas de choque de explosiones, proyectiles o fragmentos, y proteger a los ocupantes y al equipo clave de daños. La aleación de tungsteno, níquel y cobre se ha convertido en el material predilecto para revestimientos protectores de vehículos blindados gracias a su alta densidad, alta resistencia y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad permite que la aleación absorba eficazmente la energía del impacto, reduzca la penetración de explosiones o proyectiles y mejore la capacidad de protección del vehículo. La tenacidad de la fase de unión níquel-cobre permite que el revestimiento absorba energía mediante deformación plástica bajo impactos a alta velocidad, evite la fractura frágil y mejore su capacidad de resistencia a múltiples impactos. Esta propiedad no magnética garantiza que el revestimiento no interfiera con los sistemas electrónicos del vehículo (como los equipos de navegación o comunicación), lo cual es adecuado para los vehículos blindados inteligentes modernos. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional del revestimiento ante explosiones a alta temperatura o diferencias de temperatura ambiente, y mantiene la integridad de la estructura protectora.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar revestimientos protectores mediante pulvimetalurgia o tecnología MIM, satisfaciendo así las necesidades de vehículos blindados en cuanto a formas complejas y ligereza. La sinterización en fase líquida forma una microestructura densa, y la fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno, mejorando las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina los microporos, mejora la densidad y la resistencia al impacto del revestimiento y es adecuado para aplicaciones de protección de alta intensidad. El mecanizado de precisión (como el rectificado CNC o el procesamiento láser) logra formas geométricas complejas, y la tolerancia se controla a nivel micrométrico para garantizar el ajuste preciso del revestimiento a la estructura del vehículo. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD CrN o la pasivación química) mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación, y prolonga la vida útil del revestimiento en entornos húmedos o de alta temperatura. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte su rendimiento. En aplicaciones para vehículos blindados, los revestimientos protectores de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento de la protección. Por ejemplo, en los carros de combate principales, los revestimientos de alta densidad absorben eficazmente la energía del impacto de una explosión y protegen la seguridad de los ocupantes; en los vehículos blindados de transporte de personal, los revestimientos no magnéticos garantizan el funcionamiento estable de los equipos electrónicos. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

eficiencia de absorción de energía mediante el diseño de microestructuras (como el revestimiento de densidad gradual), el uso de recubrimientos compuestos para mejorar la resistencia al desgaste o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de revestimiento personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento del revestimiento mediante la medición de la densidad, pruebas de impacto y pruebas de envejecimiento a alta temperatura para garantizar el cumplimiento de las normas militares.

8.4 Armas espaciales

Las armas espaciales incluyen sistemas como cohetes, misiles y naves espaciales, que requieren materiales con alta densidad para optimizar la distribución del peso, excelente conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas para soportar entornos térmicos extremos, propiedades no magnéticas para evitar interferencias electromagnéticas y un bajo coeficiente de expansión térmica para garantizar la estabilidad dimensional. La aleación de tungsteno, níquel y cobre se ha convertido en un material ideal para componentes clave en armas aeroespaciales gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas. Su alta densidad le permite proporcionar suficiente masa en un volumen limitado, optimizando la distribución del centro de gravedad y el equilibrio dinámico del sistema; su alta conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas favorecen el rendimiento de los componentes en entornos con alto flujo de calor; sus propiedades no magnéticas evitan interferencias con sistemas electrónicos de precisión; y su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad geométrica a temperaturas extremas. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que satisface las necesidades de las armas aeroespaciales en cuanto a alta precisión y durabilidad.

8.4.1 Componentes de la tobera del motor de cohete

Los componentes de las toberas de los motores de cohetes son esenciales en las armas aeroespaciales. Se utilizan para guiar y acelerar gases a alta temperatura y presión, garantizando así un empuje eficiente del cohete y deben soportar temperaturas extremadamente altas, choques térmicos y tensiones mecánicas. Las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre son los materiales preferidos para los componentes de las toberas (como los revestimientos de garganta o las extensiones de tobera) debido a su alta conductividad térmica, resistencia a altas temperaturas y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta conductividad térmica se debe a la rápida conductividad térmica del cobre, que dispersa rápidamente el calor de la tobera a altas temperaturas en la cámara de combustión, evitando el sobrecalentamiento local y el fallo del material. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad geométrica de la tobera ante cambios drásticos de temperatura, mantiene la precisión del flujo de gas y mejora la eficiencia de empuje. La alta densidad y tenacidad de la aleación le permiten soportar la abrasión y la vibración del flujo de gas a alta velocidad, y la plasticidad de la fase de unión níquel-cobre absorbe la energía del choque térmico para evitar la fractura por fragilidad. Las propiedades no magnéticas garantizan que no haya interferencias con los componentes electrónicos del sistema de control o navegación del cohete.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

componentes de boquillas mediante pulvimetalurgia o moldeo por inyección de metal (MIM) para satisfacer los requisitos de formas complejas y alta precisión. La sinterización en fase líquida forma una microestructura densa, y la fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno, mejorando la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. El prensado isostático en caliente elimina los microporos, mejora la densidad y la resistencia a altas temperaturas de los componentes, y es adecuado para entornos con alto flujo de calor. El mecanizado de precisión (como el rectificado CNC o el mecanizado por electrochispa) logra formas geométricas complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar el rendimiento aerodinámico de la boquilla. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD CrN o la pasivación química) mejora la resistencia a la oxidación y la erosión a altas temperaturas, y prolonga la vida útil de los componentes en entornos extremos. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte al rendimiento. En aplicaciones de armas aeroespaciales, los componentes de boquillas de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento de los motores de cohetes. Por ejemplo, en los motores de cohetes sólidos, los componentes de tobera de alta conductividad térmica gestionan eficazmente el flujo de gas a alta temperatura y prolongan su vida útil; en los motores de cohetes líquidos, los bajos coeficientes de expansión térmica garantizan la estabilidad geométrica de la tobera durante los ciclos térmicos. Las líneas de optimización incluyen mejorar la conductividad térmica optimizando la relación níquel-cobre, el uso de recubrimientos compuestos para mejorar la resistencia a altas temperaturas o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de tobera complejas. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante pruebas de conductividad térmica, pruebas de choque térmico y pruebas de envejecimiento a alta temperatura para garantizar el cumplimiento de las normas aeroespaciales.

8.4.2 Contrapesos de control de actitud de la nave espacial

Los contrapesos de control de actitud de naves espaciales son componentes clave en los sistemas de armas espaciales y satélites. Se utilizan para ajustar la distribución del centro de gravedad de la nave espacial y garantizar su estabilidad y un control preciso durante operaciones orbitales o maniobras. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para contrapesos de control de actitud gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, controle con precisión el centro de gravedad de la nave espacial, optimice la eficiencia del ajuste de actitud y reduzca el consumo de combustible. Esta propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en el sistema de navegación de la nave espacial (como sensores estelares o giroscopios), lo que garantiza un control de actitud de alta precisión. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional del contrapeso ante diferencias extremas de temperatura en el entorno espacial y mantiene el equilibrio dinámico de la nave espacial.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar contrapesos mediante MIM o pulvimetalurgia, satisfaciendo así las necesidades de miniaturización y formas complejas de las naves espaciales. La tecnología MIM forma diminutas palanquillas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mejoran la densidad, eliminan los microporos y mejoran las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El mecanizado de precisión (como el micromaquinado láser o el mecanizado por electrochispa) logra formas geométricas complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico, lo cual resulta adecuado para el diseño compacto de naves espaciales. El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y el acabado superficial, y reduce la contaminación por partículas o los efectos de la radiación en el entorno espacial. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento de los componentes.

En aplicaciones espaciales, los contrapesos de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento del control de actitud. Por ejemplo, en satélites de reconocimiento militar, los contrapesos de alta densidad optimizan la distribución del centro de gravedad y mejoran la velocidad de respuesta del ajuste de actitud; en sistemas de defensa antimisiles, los contrapesos no magnéticos garantizan el funcionamiento estable de los sistemas de navegación. Las líneas de optimización incluyen la reducción de masa mediante el diseño de la microestructura, el uso de recubrimientos resistentes a la radiación para mejorar la adaptabilidad a entornos espaciales o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr estructuras de contrapeso personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento de los contrapesos mediante la medición de la densidad, pruebas de vibración y pruebas de resistencia a la magnetización para garantizar el cumplimiento de las normas aeroespaciales.

CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 9 Aplicación de la aleación de tungsteno, níquel y cobre en el campo médico

La aleación de tungsteno-níquel-cobre ha demostrado ser muy útil en el campo médico gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica y buena biocompatibilidad, especialmente en equipos de radioterapia, equipos de imagenología e instrumental quirúrgico. Esta aleación se prepara mediante un proceso de pulvimetalurgia, que combina la alta densidad del tungsteno con la tenacidad y la conductividad térmica de la fase de enlace níquel-cobre, y cumple con los estrictos requisitos de los equipos médicos en cuanto a protección radiológica, gestión térmica y compatibilidad electromagnética. Con el desarrollo de la medicina de precisión y la tecnología de tratamientos no invasivos, la aplicación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en equipos de radioterapia cobra cada vez mayor importancia.

9.1 Equipo de radioterapia

Los equipos de radioterapia (como aceleradores lineales y bisturíes gamma) son una tecnología fundamental en la medicina moderna para el tratamiento del cáncer. Controlan con precisión rayos de alta energía (como rayos X o gamma) para dirigirse al tejido tumoral, protegiendo al mismo tiempo el tejido sano circundante. Este tipo de equipo presenta requisitos de material extremadamente altos: alta densidad para un blindaje eficaz de la radiación, propiedades no magnéticas para evitar interferencias con sistemas electrónicos de precisión, excelente conductividad térmica para gestionar el calor generado durante el funcionamiento y buena biocompatibilidad para garantizar la seguridad. La aleación de tungsteno-níquel-cobre puede absorber y blindar eficazmente la radiación, protegiendo a pacientes y personal médico gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica favorecen la gestión térmica y la estabilidad dimensional del equipo durante el funcionamiento a alta potencia. La tenacidad de la fase aglutinante de níquel-cobre aumenta la durabilidad de los componentes. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que satisface las necesidades de alta precisión y fiabilidad de los equipos médicos.

9.1.1 Conjunto de protección para radioterapia

Los componentes de blindaje para radioterapia son clave en los equipos de radioterapia. Se utilizan para blindar y limitar los rayos de alta energía, garantizar que la radiación solo actúe sobre la zona de tratamiento objetivo y proteger los tejidos sanos de los pacientes y al personal médico de la exposición innecesaria a la radiación. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para componentes de blindaje de radioterapia gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad le permite absorber eficazmente los rayos X o gamma, reducir significativamente las fugas de radiación y proporcionar un excelente blindaje. Es más ligero y ecológico que los materiales de plomo tradicionales. Su propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en los sistemas electrónicos de precisión de los equipos de radioterapia (como los sistemas de guía por resonancia magnética), lo que garantiza la precisión del tratamiento. Su alta conductividad térmica dispersa rápidamente el calor generado durante el funcionamiento para evitar que la cubierta de blindaje se sobrecaliente y afecte al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

rendimiento del equipo; su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional del componente durante los ciclos térmicos y mantiene la precisión de la estructura de blindaje.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar componentes de blindaje mediante pulvimetalurgia o tecnología de moldeo por inyección de metal (MIM) para satisfacer los requisitos de formas complejas y alta precisión. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mediante la mezcla de polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, el desengrasado y la sinterización en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la capacidad de absorción de radiación del blindaje y es adecuado para aplicaciones de radioterapia de alta energía. El mecanizado de precisión (como el fresado CNC o el mecanizado por electrochispa) logra geometrías complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar una integración perfecta con los equipos de radioterapia. El tratamiento superficial (como el pulido electroquímico o la pasivación química) mejora la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad, y previene la erosión en entornos de oxidación o esterilización durante el uso prolongado.

En aplicaciones de radioterapia, los componentes de blindaje de tungsteno, níquel y cobre mejoran significativamente la seguridad y la precisión del tratamiento. Por ejemplo, en aceleradores lineales, el blindaje de alta densidad limita eficazmente la dispersión de la radiación y protege los tejidos sanos de los pacientes; en equipos de bisturí de rayos gamma, el blindaje no magnético garantiza la compatibilidad electromagnética del sistema de tratamiento. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, el uso de recubrimientos compuestos (como el DLC) para mejorar la resistencia a la corrosión o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de blindaje personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento de los componentes mediante pruebas de blindaje radiológico, de conductividad térmica y de biocompatibilidad (ISO 10993).

9.1.2 Componentes del colimador de radiación

El colimador de radiación es un componente esencial en los equipos de radioterapia. Se utiliza para controlar con precisión la dirección y el alcance de la radiación, garantizar que la radiación de alta energía se enfoque en el tejido tumoral y minimizar el daño al tejido sano circundante. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para los componentes del colimador de radiación debido a su alta densidad, amagnetismo y alta conductividad térmica. Esta alta densidad le permite absorber y proteger eficazmente la radiación dispersa, moldear el haz de radiación con precisión y mejorar la focalización del tratamiento. Su amagnetismo evita la interferencia del campo magnético en el sistema de control electrónico (como servomotores o sensores) cercano al colimador, lo que garantiza la precisión del ajuste dinámico del haz de radiación. La alta conductividad térmica dispersa rápidamente el calor generado por el colimador bajo la acción de la radiación de alta energía para evitar la deformación por sobrecalentamiento; el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional del componente durante los ciclos térmicos y mantiene la precisión de la colimación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes de colimadores mediante MIM o pulvimetalurgia, cumpliendo con los requisitos de formas complejas y precisión micrométrica. La tecnología MIM forma diminutas piezas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente mejoran la densidad, eliminan los microporos y optimizan la capacidad de protección contra la radiación y las propiedades mecánicas. El mecanizado de precisión (como el micromecanizado láser o el mecanizado por electrochispa) permite obtener geometrías complejas, como la estructura de lámina delgada del colimador multilámina (MLC), con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar un control preciso del haz. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN o el pulido electroquímico) mejora la resistencia a la corrosión y el acabado superficial, reduce la dispersión de la radiación y mejora la resistencia a la oxidación. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento del componente.

En aplicaciones de radioterapia, los componentes del colimador de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente la precisión y la seguridad del tratamiento. Por ejemplo, en la radioterapia de intensidad modulada (IMRT), los colimadores de alta densidad moldean con precisión el haz y se dirigen a tumores con formas complejas; en equipos de terapia de protones, los colimadores no magnéticos garantizan el funcionamiento estable de los sistemas de control electromagnético de alta precisión. Las líneas de optimización incluyen la reducción de masa mediante el diseño de microestructuras (como cuchillas de colimación porosas), el uso de nanorrecubrimientos para mejorar la resistencia al desgaste y la biocompatibilidad, o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr estructuras de colimación complejas.

9.2 Equipos de diagnóstico por imágenes

Los equipos de diagnóstico por imagen son una tecnología fundamental en la medicina moderna para el diagnóstico de enfermedades y la planificación de tratamientos. Generan imágenes del interior del cuerpo humano mediante campos magnéticos o de radiación de alta precisión, lo que requiere materiales de alta densidad para proteger contra la radiación, propiedades no magnéticas para evitar interferencias electromagnéticas, excelente conductividad térmica para controlar el calor generado por el funcionamiento del equipo y buena biocompatibilidad para garantizar la seguridad. La aleación de tungsteno, níquel y cobre puede proteger eficazmente contra los rayos X o equilibrar el peso gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas; su alta conductividad térmica y su bajo coeficiente de expansión térmica favorecen la gestión térmica y la estabilidad dimensional; la tenacidad de la fase aglutinante de níquel-cobre aumenta la durabilidad de los componentes. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que satisface las necesidades de alta precisión y fiabilidad de los equipos de diagnóstico por imagen.

9.2.1 Piezas de protección del detector CT

Los protectores de detectores de TC son componentes clave en los equipos de tomografía computarizada

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(TC). Se utilizan para proteger los rayos X dispersos, los módulos detectores y a los pacientes de la exposición innecesaria a la radiación, y garantizar la claridad y precisión de las señales de imagen. La aleación de tungsteno, níquel y cobre se ha convertido en el material preferido para los protectores de detectores de TC debido a su alta densidad y propiedades no magnéticas. Esta alta densidad le permite absorber eficazmente los rayos X y reducir significativamente la radiación dispersa. Es más delgado y más ecológico que los materiales de plomo tradicionales, lo que proporciona un excelente efecto de blindaje. Sus propiedades no magnéticas evitan que los campos magnéticos interfieran con los componentes electrónicos de precisión de las máquinas de TC (como matrices de detectores o circuitos de procesamiento de señales), lo que garantiza la estabilidad de la adquisición de imágenes. Su alta conductividad térmica dispersa rápidamente el calor generado por el detector durante su funcionamiento para evitar que el sobrecalentamiento afecte su sensibilidad; su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional del protector durante los ciclos térmicos y mantiene un ajuste preciso con el módulo detector.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar piezas protectoras mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o pulvimetalurgia, cumpliendo así con los requisitos de las máquinas CT para formas complejas y alta precisión. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mezclando polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, desengrasando y sinterizando en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la capacidad de absorción de radiación de las piezas protectoras y es adecuado para entornos de rayos X de alta energía. El mecanizado de precisión logra formas geométricas complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar una integración perfecta de las piezas protectoras con los módulos detectores. El tratamiento superficial (como el pulido electroquímico o la pasivación química) mejora la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad, y previene la erosión por oxidación o entornos de desinfección durante el uso prolongado.

En aplicaciones de TC, las piezas protectoras de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente la calidad de la imagen y la seguridad del equipo. Por ejemplo, en escáneres TC de alta resolución, las piezas protectoras de alta densidad reducen eficazmente los rayos dispersos y mejoran el contraste de la imagen; en equipos TC móviles, los diseños no magnéticos y ligeros facilitan la portabilidad y la compatibilidad electromagnética. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la conductividad térmica mediante la optimización de la relación níquel-cobre, el uso de nanorrecubrimientos (como el DLC) para mejorar la resistencia a la corrosión o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras protectoras personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento de las piezas protectoras mediante pruebas de blindaje radiológico (de acuerdo con la norma IEC 60601), pruebas de conductividad térmica y pruebas de biocompatibilidad (ISO 10993).

9.2.2 Contrapesos para equipos de resonancia magnética

El contrapeso del equipo de resonancia magnética (RM) es un componente clave para ajustar el centro

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de gravedad del equipo o equilibrar la estructura mecánica, garantizando así la estabilidad y precisión de la plataforma de escaneo o el conjunto magnético durante su funcionamiento. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para el contrapeso de equipos de RM debido a su alta densidad, amagnetismo y bajo coeficiente de expansión térmica. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, controle con precisión la distribución del centro de gravedad de los equipos de RM (como camas de escaneo o bobinas de gradiente), reduzca la vibración o el desplazamiento mecánico y mejore la claridad de la imagen. Esta propiedad amagnética es crucial para evitar la interferencia del campo magnético con el campo magnético de alta intensidad (1,5 T-7 T) de la RM, garantizando la uniformidad del campo magnético y la precisión de la adquisición de la señal. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional del contrapeso ante el aumento de temperatura durante el funcionamiento del equipo o la diferencia de temperatura ambiental, y mantiene la fiabilidad a largo plazo de la estructura mecánica.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar contrapesos mediante MIM o pulvimetalurgia, satisfaciendo así las necesidades de los equipos de resonancia magnética (MRI) en cuanto a formas complejas y miniaturización. La tecnología MIM forma diminutas palanquillas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente mejoran la densidad, eliminan los microporos y mejoran las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El mecanizado de precisión logra formas geométricas complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico, lo cual resulta adecuado para el diseño compacto de los equipos de MRI. El tratamiento superficial (como el recubrimiento PVD TiN o el pulido electroquímico) mejora la resistencia a la corrosión y el acabado superficial, y reduce el riesgo de oxidación o contaminación en un entorno esterilizado. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte al rendimiento de los componentes o a los campos magnéticos de la MRI. En aplicaciones de MRI, los contrapesos de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente el rendimiento del equipo. Por ejemplo, en equipos de resonancia magnética de alto campo, los contrapesos de alta densidad optimizan el equilibrio dinámico de la plataforma de escaneo y reducen el impacto de la vibración en la calidad de la imagen; en sistemas de resonancia magnética portátiles, los contrapesos no magnéticos garantizan la estabilidad del campo magnético y la compatibilidad electromagnética. Las estrategias de optimización incluyen la reducción de masa mediante el diseño de microestructuras (como contrapesos huecos), el uso de recubrimientos resistentes a la corrosión para mejorar la biocompatibilidad o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr estructuras de contrapeso personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento de los contrapesos mediante la medición de la densidad, pruebas de resistencia a la magnetización y pruebas de vibración para garantizar el cumplimiento de las normas médicas.

9.3 Instrumentos quirúrgicos

El instrumental quirúrgico es fundamental para el diagnóstico y tratamiento precisos en la medicina moderna, abarcando sistemas de navegación quirúrgica, instrumental intervencionista mínimamente invasivo y dispositivos médicos implantables. Requiere materiales con alta densidad para optimizar el equilibrio del peso, propiedades no magnéticas para evitar interferencias electromagnéticas, excelentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

propiedades mecánicas para garantizar la durabilidad y buena biocompatibilidad para cumplir con los estándares de seguridad para su uso in vivo o en la superficie corporal. Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre pueden proporcionar un control preciso del peso y compatibilidad electromagnética gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas; la tenacidad y la alta conductividad térmica de la fase de unión níquel-cobre mejoran la durabilidad y la capacidad de gestión térmica del instrumento; y el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional a temperatura corporal o en un entorno esterilizado. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que satisface las necesidades de alta precisión y fiabilidad del instrumental quirúrgico.

9.3.1 Componentes de posicionamiento de navegación quirúrgica de alta precisión

Las piezas de posicionamiento para navegación quirúrgica de alta precisión son componentes clave para ubicar y guiar las herramientas quirúrgicas en los sistemas de navegación quirúrgica. Se utilizan ampliamente en neurocirugía, ortopedia y cirugía cardiovascular para garantizar la precisión y seguridad de las trayectorias quirúrgicas. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es el material preferido para las piezas de posicionamiento para navegación quirúrgica debido a su alta densidad, amagnetismo y bajo coeficiente de expansión térmica. Estas características de alta densidad permiten que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, optimice la distribución del centro de gravedad de las piezas de posicionamiento, mejore la estabilidad del sistema de navegación quirúrgica y, especialmente, mejore la precisión de posicionamiento en ajustes dinámicos (como la cirugía asistida por robot). Las características amagnéticas evitan la interferencia de campos magnéticos en los componentes electrónicos del sistema de navegación (como rastreadores electromagnéticos o sensores ópticos), lo que garantiza la fiabilidad en entornos de guía por resonancia magnética o navegación electromagnética. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional de las piezas de posicionamiento a temperatura corporal o en un entorno esterilizado, manteniendo así la precisión de la navegación.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar piezas de posicionamiento mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o pulvimetalurgia, lo que permite satisfacer los requisitos de los sistemas de navegación quirúrgica para formas complejas y precisión micrométrica. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mediante la mezcla de polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, el desengrasado y la sinterización en fase líquida tras el moldeo por inyección. La fase líquida de níquel y cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la durabilidad de las piezas de posicionamiento y es adecuado para aplicaciones de alta precisión. El mecanizado de precisión (como el micromaquinado láser o el mecanizado por electrochispa) permite lograr geometrías complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar una integración perfecta con los sistemas de navegación. El tratamiento de la superficie (como el pulido electroquímico o el recubrimiento PVD TiN) mejora la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad, evita la oxidación durante la esterilización o en entornos in vivo y cumple con los estándares de biocompatibilidad ISO 10993.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

En aplicaciones de navegación quirúrgica, las piezas de posicionamiento de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente la precisión y la seguridad quirúrgicas. Por ejemplo, en la navegación neuroquirúrgica, las piezas de posicionamiento de alta densidad optimizan la estabilidad del sistema de guía y garantizan una precisión micrométrica en las neurocirugías; en cirugía ortopédica, las piezas de posicionamiento no magnéticas evitan las interferencias electromagnéticas y mejoran la fiabilidad del sistema de navegación. Las líneas de optimización incluyen la mejora de la tenacidad mediante la optimización de la relación níquel-cobre, el uso de nanorrecubrimientos para mejorar la resistencia al desgaste y la biocompatibilidad, o la combinación de tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de posicionamiento personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento de las piezas de posicionamiento mediante la medición de la densidad, pruebas de fuerza de magnetización y pruebas de rugosidad superficial para cumplir con los estándares médicos.

9.3.2 Componentes de la guía del dispositivo de intervención mínimamente invasivo

clave utilizados para guiar guías, catéteres o stents en cirugías mínimamente invasivas (como intervenciones cardiovasculares o endoscópicas). Requieren alta precisión, biocompatibilidad y durabilidad para garantizar el éxito quirúrgico y la seguridad del paciente. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para componentes guía gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas y excelentes propiedades mecánicas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, optimice la distribución del centro de gravedad del componente guía y mejore la maniobrabilidad y estabilidad de la guía o catéter, especialmente para un guiado preciso en vías vasculares complejas. Esta propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en componentes electrónicos (como sensores o módulos de imagen) en dispositivos intervencionistas y es adecuada para cirugías mínimamente invasivas guiadas por resonancia magnética. La tenacidad de la fase aglutinante de níquel-cobre permite que el componente resista flexiones y torsiones repetidas, y su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional a temperatura corporal o en un entorno esterilizado.

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar componentes guía mediante MIM o micropulvimetalurgia, lo que satisface las necesidades de miniaturización y formas complejas de dispositivos mínimamente invasivos. La tecnología MIM forma diminutas piezas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente aumentan la densidad, eliminan los microporos y mejoran las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El mecanizado de precisión (como el micromecanizado láser o el mecanizado por electrochispa) permite obtener geometrías complejas, como anillos guía para alambres guía o puntas de catéter, con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar una manipulación precisa durante la cirugía. El tratamiento superficial (como el recubrimiento DLC o la pasivación química) mejora la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad, reduce la fricción con el tejido vascular y previene la oxidación o la erosión por desinfección durante el uso prolongado. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento del componente. En aplicaciones de cirugía mínimamente invasiva, los componentes guía de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente la eficiencia y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

seguridad quirúrgicas. Por ejemplo, en la implantación de stents cardiovasculares, los componentes guía de alta densidad optimizan la maniobrabilidad de la guía y garantizan un posicionamiento preciso; en cirugía neurointervencionista, los componentes guía no magnéticos evitan las interferencias del entorno de resonancia magnética y mejoran la fiabilidad de la guía por imágenes.

Las líneas de optimización incluyen la reducción de masa mediante el diseño de la microestructura (como guías huecas), el uso de recubrimientos biocompatibles para mejorar la afinidad tisular o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr estructuras de guía personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento del componente mediante pruebas de propiedades mecánicas, pruebas de biocompatibilidad (ISO 10993) y medición de la rugosidad superficial.

9.4 Dispositivos de asistencia para la rehabilitación

Los dispositivos de asistencia para la rehabilitación (como prótesis, órtesis y equipos de entrenamiento de rehabilitación) son herramientas importantes en la medicina moderna para ayudar a los pacientes a recuperar la función motora o mejorar su calidad de vida. Requieren materiales con alta densidad para optimizar la distribución del peso, excelentes propiedades mecánicas para garantizar la durabilidad, propiedades no magnéticas para evitar interferencias electromagnéticas y buena biocompatibilidad para cumplir con los estándares de seguridad para un uso prolongado. La aleación de tungsteno, níquel y cobre proporciona un control preciso del peso y compatibilidad electromagnética gracias a su alta densidad y propiedades no magnéticas; la tenacidad y la alta conductividad térmica de la fase de unión níquel-cobre mejoran la durabilidad y la capacidad de gestión térmica de los componentes; y el bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional a temperatura corporal o a temperaturas ambiente diferentes. La aleación se prepara mediante sinterización en fase líquida, prensado isostático en caliente y mecanizado de precisión para formar una microestructura densa que cumple con los requisitos de alta precisión y fiabilidad para dispositivos de asistencia para la rehabilitación.

9.4.1 Componentes de peso de la articulación protésica

Los componentes de peso para prótesis articulares son clave en el diseño protésico y se utilizan para ajustar la distribución del centro de gravedad de la prótesis, optimizar el equilibrio del movimiento y la marcha natural, y mejorar la comodidad y la funcionalidad del paciente. La aleación de tungsteno, níquel y cobre se ha convertido en el material predilecto para los componentes de peso para prótesis articulares debido a su alta densidad, no magnetismo y excelentes propiedades mecánicas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen pequeño, controle con precisión el centro de gravedad de la prótesis articulares, simule la distribución del peso de las extremidades naturales y reduzca la fatiga del paciente al usar la prótesis. Su propiedad no magnética evita la interferencia del campo magnético en los componentes electrónicos integrados en la prótesis, lo cual es adecuado para sistemas protésicos inteligentes. La tenacidad de la fase aglutinante de níquel y cobre permite que los componentes de peso resistan cargas mecánicas e impactos repetidos, como el estrés al caminar o correr. El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional de los componentes a temperatura corporal o diferencia de temperatura ambiente y mantiene la precisión del movimiento de la articulación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno-níquel-cobre para fabricar componentes de pesas mediante moldeo por inyección de metal (MIM) o pulvimetalurgia, cumpliendo así con los requisitos de miniaturización, formas complejas y alta precisión de las prótesis. La tecnología MIM crea una estructura de alta densidad mezclando polvos de tungsteno, níquel y cobre con un aglutinante, desengrasando y sinterizando en fase líquida tras el moldeo por inyección. Esta fase líquida de níquel-cobre humedece las partículas de tungsteno para mejorar las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los microporos, mejora la densidad y la durabilidad de los componentes de pesas y es adecuado para aplicaciones protésicas de larga duración. El mecanizado de precisión (como el micromecanizado láser o el fresado CNC) logra geometrías complejas con tolerancias controladas a nivel micrométrico para garantizar un ajuste preciso a la articulación protésica. El tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad, previene la oxidación durante el uso prolongado y la irritación por contacto con la piel, y cumple con la norma de biocompatibilidad ISO 10993.

9.4.2 Piezas de ajuste de equilibrio para equipos de rehabilitación

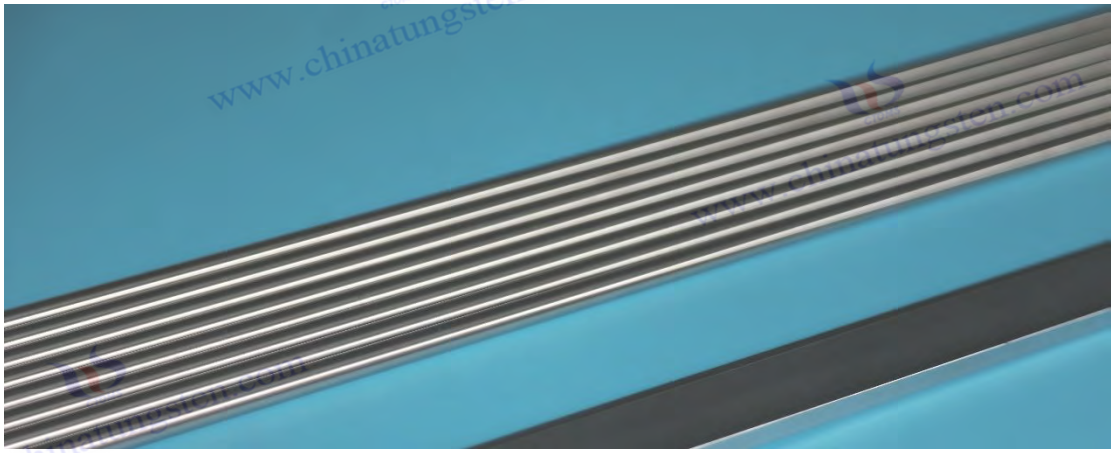
Las piezas de ajuste de equilibrio para equipos de rehabilitación son componentes clave en los equipos de entrenamiento de rehabilitación (como andadores o equipos de entrenamiento de fuerza). Se utilizan para ajustar el centro de gravedad o la resistencia al movimiento del equipo, garantizando así estabilidad y seguridad durante el entrenamiento, a la vez que optimizan el efecto de la rehabilitación del paciente. La aleación de tungsteno, níquel y cobre es un material ideal para piezas de ajuste de equilibrio en equipos de rehabilitación gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas y excelentes propiedades mecánicas. Esta alta densidad permite que la aleación proporcione suficiente masa en un volumen limitado, controle con precisión la distribución del centro de gravedad del equipo, mejore su estabilidad en movimiento dinámico y reduzca la interferencia de vibraciones o desplazamientos en el paciente. Su propiedad no magnética evita la interferencia de campos magnéticos en los componentes electrónicos de los equipos de rehabilitación (como sensores de movimiento o sistemas de control), lo que resulta ideal para equipos de rehabilitación inteligentes. La tenacidad de la fase de unión de níquel-cobre permite que las piezas de ajuste soporten cargas mecánicas repetidas, y su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza la estabilidad dimensional a temperatura corporal o a temperaturas ambiente variables, manteniendo así la precisión del ajuste.

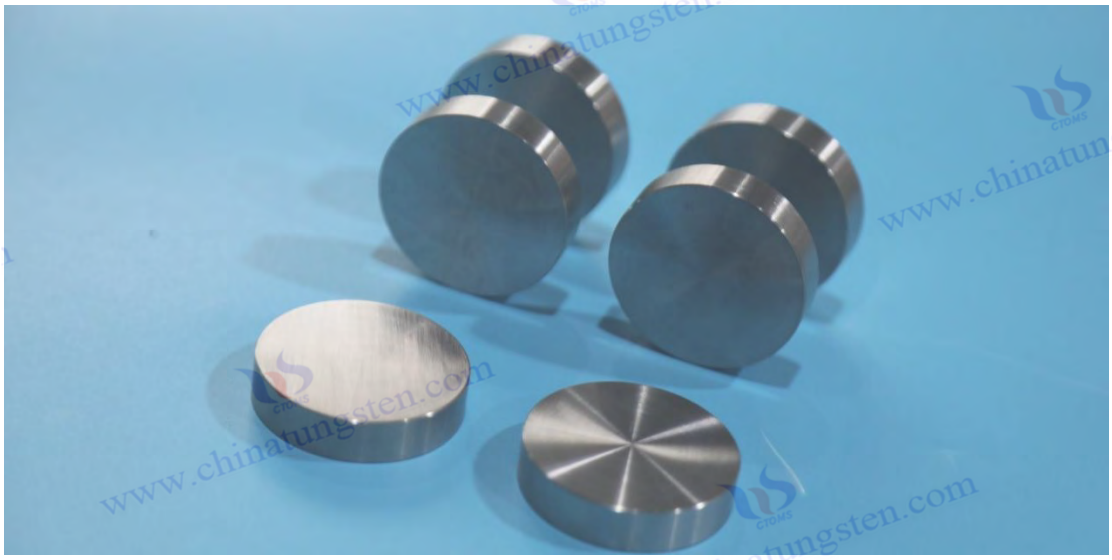
Durante el proceso de preparación, se utiliza una aleación de tungsteno, níquel y cobre para fabricar piezas de ajuste de equilibrio mediante MIM o pulvimetalurgia, cumpliendo así con los requisitos de los equipos de rehabilitación para formas complejas y alta precisión. La tecnología MIM forma diminutas piezas mediante moldeo por inyección, mientras que la sinterización en fase líquida y el prensado isostático en caliente aumentan la densidad, eliminan los microporos y mejoran las propiedades mecánicas y la conductividad térmica. El mecanizado de precisión (como la electroerosión o el rectificado CNC) logra formas geométricas complejas, y las tolerancias se controlan a nivel micrométrico para garantizar el ajuste preciso de las piezas de ajuste a la estructura del dispositivo. El tratamiento superficial (como el recubrimiento DLC o la pasivación química) mejora la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad, reduce la fricción con la piel del paciente y previene la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

oxidación en un entorno esterilizado. El procesamiento debe realizarse en un entorno de alta limpieza para evitar que la contaminación por polvo afecte el rendimiento del componente.

En aplicaciones de equipos de rehabilitación, los ajustadores de equilibrio de tungsteno-níquel-cobre mejoran significativamente los resultados del entrenamiento y la fiabilidad del equipo. Por ejemplo, en los andadores, los ajustadores de alta densidad optimizan el centro de gravedad del dispositivo y mejoran la estabilidad durante el entrenamiento; en los equipos de rehabilitación de fuerza, los ajustadores no magnéticos evitan la interferencia de los sistemas de control electrónico y mejoran la precisión de las trayectorias de movimiento. Las líneas de optimización incluyen optimizar la distribución del peso mediante el diseño de microestructuras (como los ajustadores de densidad de gradiente), el uso de nanorrecubrimientos para mejorar la durabilidad y la biocompatibilidad, o la combinación de tecnología de fabricación aditiva para lograr estructuras de ajuste personalizadas. El control de calidad verifica el rendimiento de los ajustadores mediante la medición de la densidad, pruebas de vibración y pruebas de biocompatibilidad para garantizar el cumplimiento de las normas médicas (como la ISO 13485).





CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Tungsten Nickel Copper Alloy Introduction

1. Overview of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten nickel copper alloy is an alloy composed of tungsten with added nickel and copper, typically in a nickel-to-copper ratio of 3:2. This alloy is non-ferromagnetic, exhibits relatively good electrical and thermal conductivity, and is commonly used in specialized applications such as gyroscope rotors, components for devices and instruments operating under magnetic fields, electrical contacts for high-voltage switches, and electrodes for certain electrical machining processes.

2. Features of Tungsten Nickel Copper Alloy

High Density: Typically 16.5 – 18.75 g/cm³

High Thermal Conductivity: Approximately 5 times that of mold steel

Compared to tungsten-nickel-iron alloy, since copper does not have the sintering activation effect of nickel and iron on tungsten, tungsten-nickel-copper alloy has a slightly lower sintered density, lower strength and plasticity, and is generally not subjected to heat treatment or deformation processing.

3. Production Methods for Tungsten Nickel Copper Alloy

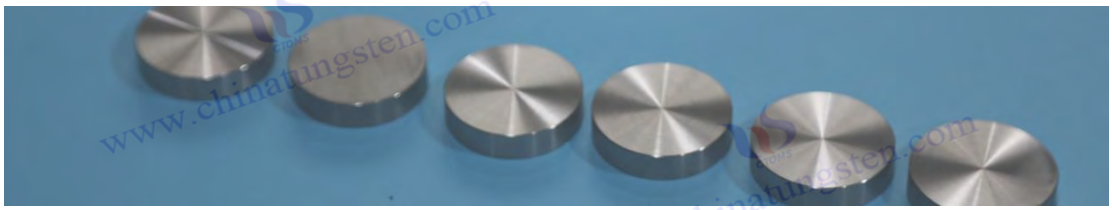
Tungsten-nickel-copper alloy is typically produced using powder metallurgy. First, high-purity tungsten, nickel, and copper powders are mixed in specific proportions, often using equipment like a ball mill to achieve uniform mixing. The mixture is then pressed into shape, commonly using cold isostatic pressing technology under a specific pressure to form a green compact. Subsequently, sintering is performed, generally in a hydrogen protective atmosphere, using a two-step sintering process to address collapse and deformation issues caused by liquid-phase sintering, ensuring the product's density.

4. Applications of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy, with its high density and excellent thermal and electrical conductivity, has a wide range of applications. In the aerospace sector, it can be utilized to manufacture components such as rocket engine nozzles and gas rudders. In the medical field, due to its strong radiation absorption capability and non-magnetic properties, it is suitable for radiation shielding in magnetic resonance imaging rooms. Additionally, it can serve as a counterweight material for precision instruments.

5. Purchasing Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.tungsten-alloy.com



CTIA GROUP LTD tungsten nickel copper alloy

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

Capítulo 10 Comparación entre la aleación de tungsteno, níquel y cobre y otros materiales

La aleación de tungsteno-níquel-cobre ha demostrado tener un amplio valor aplicativo en los sectores aeroespacial, médico, de la información electrónica, de defensa nacional y energético gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Preparada mediante pulvimetalurgia, la aleación de tungsteno-níquel-cobre combina la alta densidad del tungsteno con la tenacidad y la conductividad térmica de la fase de enlace níquel-cobre para satisfacer las necesidades de diversos escenarios de alta demanda. Sin embargo, en aplicaciones reales, la aleación de tungsteno-níquel-cobre se compara a menudo con otros materiales de alto rendimiento, como la aleación de tungsteno-níquel-hierro y la aleación de cobre-tungsteno, para evaluar sus ventajas de rendimiento y aplicabilidad. Las propiedades físicas y químicas, los procesos de preparación y las diferencias de coste de los distintos materiales determinan su competitividad en aplicaciones específicas.

10.1 Análisis de materiales competitivos de aleación de tungsteno, níquel y cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre (W-Ni-Cu) se usa ampliamente en componentes de peso, disipación de calor, blindaje y protección debido a su alta densidad (15-18 g/cm³), propiedades no magnéticas, buena conductividad térmica y biocompatibilidad. Sin embargo, tiene diferencias significativas en rendimiento y costo con respecto al tungsteno-níquel-hierro (W-Ni-Fe) y al cobre-tungsteno (W-Cu). Las aleaciones de tungsteno-níquel-hierro tienen una ventaja en los campos militar e industrial debido a su alta resistencia y bajo costo, pero su magnetismo limita las aplicaciones con altos requisitos de compatibilidad electromagnética. Las aleaciones de cobre-tungsteno sobresalen en los campos de la electrónica y la gestión térmica debido a su excelente conductividad térmica y eléctrica, pero tienen baja densidad y poca tenacidad. La selección de materiales competitivos debe sopesarse frente a los requisitos de la aplicación (como propiedades no magnéticas, conductividad térmica o costo).

10.1.1 Comparación con la aleación de tungsteno-níquel-hierro

El tungsteno-níquel-hierro (W-Ni-Fe) es una aleación común de alta densidad, ampliamente utilizada en la industria militar (como núcleos perforantes), contrapesos aeroespaciales y equipos industriales. Sus principales componentes incluyen tungsteno (85-98%), níquel y hierro, y su rango de densidad es similar al de la aleación de tungsteno-níquel-cobre. En comparación con esta aleación, la aleación de tungsteno-níquel-cobre presenta diferencias significativas en cuanto a propiedades mecánicas, costo y aplicaciones.

Comparación de rendimiento : La resistencia y la dureza de la aleación de tungsteno-níquel-hierro son generalmente superiores a las de la aleación de tungsteno-níquel-cobre. La adición de hierro mejora las propiedades mecánicas de la fase de enlace níquel-hierro, lo que la hace más ventajosa en aplicaciones resistentes a impactos y al desgaste (como núcleos de proyectiles perforantes o contrapesos mecánicos). Sin embargo, la adición de hierro la hace débilmente magnética, lo que limita su uso en aplicaciones con altos requisitos de compatibilidad electromagnética (como equipos de resonancia magnética y equipos de contramedidas electrónicas). La naturaleza no magnética de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es su principal ventaja, y es adecuada para aplicaciones donde se debe evitar la interferencia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

electromagnética, como equipos médicos y sistemas de radar. La conductividad térmica de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es ligeramente superior a la de la aleación de tungsteno-níquel-hierro. Debido a que el cobre tiene mejor conductividad térmica que el hierro, es adecuado para aplicaciones de disipación de calor (como disipadores de calor electrónicos). Los coeficientes de expansión térmica de ambos son similares, y ambos pueden proporcionar una buena estabilidad dimensional.

Comparación de los procesos de preparación : Ambas aleaciones se preparan mediante pulvimetalurgia, que incluye la mezcla de polvos, el prensado y la sinterización en fase líquida. Sin embargo, la temperatura de sinterización de la aleación de tungsteno-níquel-hierro es ligeramente inferior y el coste del proceso es menor, ya que el precio del hierro es mucho menor que el del cobre. La preparación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre requiere un control ambiental más estricto (como argón de alta pureza o vacío) para evitar la oxidación del cobre, lo que aumenta los costes de producción. El rendimiento de procesamiento de la aleación de tungsteno-níquel-hierro es ligeramente inferior, ya que su mayor dureza puede provocar desgaste de la herramienta, mientras que la tenacidad de la aleación de tungsteno-níquel-cobre facilita la obtención de formas complejas en el mecanizado de precisión (como el mecanizado MIM o CNC).

Escenarios aplicables y ventajas y desventajas : La aleación de tungsteno-níquel-hierro se usa ampliamente en el campo militar (como núcleos perforantes, contrapesos de misiles) y contrapesos industriales (como supresores de vibraciones) debido a su alta resistencia y bajo costo, pero su magnetismo débil la hace inadecuada para entornos sensibles electromagnéticos. La aleación de tungsteno-níquel-cobre tiene más ventajas en medicina (contrapesos de MRI, blindaje de radioterapia), información electrónica (módulos de radiofrecuencia 5G) y armas aeroespaciales (contrapesos de control de actitud). Sus propiedades no magnéticas y biocompatibilidad cumplen con los requisitos de alta precisión y seguridad. La desventaja de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es su alto costo, que afecta su eficiencia económica, especialmente cuando fluctúan los precios del cobre. Las direcciones de optimización incluyen mejorar el rendimiento ajustando la relación níquel-cobre o utilizando fabricación aditiva para reducir los costos de procesamiento.

10.1.2 Comparación con la aleación de cobre y tungsteno

La aleación de cobre-tungsteno (W-Cu) es un material compuesto con tungsteno como matriz y cobre como fase aglutinante. Se utiliza ampliamente en disipación de calor electrónica, contacto eléctrico y componentes de alta temperatura. Su composición típica incluye tungsteno (70-90%) y cobre, y su densidad oscila entre 12 y 17 g/cm³. En comparación con la aleación de tungsteno-níquel-cobre, la aleación de cobre-tungsteno presenta diferencias significativas en conductividad térmica, conductividad eléctrica y escenarios de aplicación.

Comparación de rendimiento : La conductividad térmica y eléctrica de la aleación de cobre-tungsteno es superior a la de la aleación de tungsteno-níquel-cobre. Su mayor contenido de cobre (10%-30%) mejora la eficiencia de la conducción de calor y electricidad, lo que la hace excelente para la disipación de calor en electrónica de alta potencia (como sustratos de semiconductores de potencia y disipadores de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

calor para servidores) y materiales de electrodos. Sin embargo, la densidad de la aleación de cobre-tungsteno es menor que la de la aleación de tungsteno-níquel-cobre, lo que limita su aplicación en aplicaciones que requieren un alto equilibrio de peso (como contrapesos aeroespaciales y componentes de equilibrio de misiles). Las propiedades mecánicas de la aleación de cobre-tungsteno son deficientes, y su tenacidad y resistencia al impacto no son tan buenas como las de la aleación de tungsteno-níquel-cobre. Debido a la falta de efecto reforzante del níquel, es fácil de romper bajo alta tensión. La naturaleza no magnética de la aleación de tungsteno-níquel-cobre es su ventaja, lo que la hace adecuada para entornos sensibles a las interferencias electromagnéticas. Si bien la aleación de cobre-tungsteno también es no magnética, su menor densidad reduce ligeramente su capacidad de apantallamiento. Los coeficientes de expansión térmica de ambos son similares y ambos son adecuados para escenarios que requieren estabilidad dimensional.

Comparación de los procesos de preparación : Tanto las aleaciones de cobre-tungsteno como las de tungsteno-níquel-cobre se preparan mediante pulvimetalurgia, pero la aleación de cobre-tungsteno suele prepararse mediante infiltración (primero se sinteriza el esqueleto de tungsteno y luego se infiltra cobre líquido), lo cual es complejo y consume mucha energía. La aleación de tungsteno-níquel-cobre utiliza sinterización en fase líquida, que es más flexible y permite lograr formas complejas mediante MIM, lo que la hace adecuada para componentes miniaturizados (como colimadores médicos y contrapesos MEMS). La aleación de cobre-tungsteno es difícil de procesar debido a su alta dureza y a la fase de cobre blanda, que puede dar lugar fácilmente a superficies irregulares, mientras que la tenacidad de la aleación de tungsteno-níquel-cobre la hace más ventajosa en el mecanizado de precisión. La aleación de cobre-tungsteno tiene un alto contenido de cobre, y la atmósfera de sinterización debe controlarse estrictamente para evitar la oxidación, lo que aumenta el coste del proceso.

Escenarios aplicables y ventajas y desventajas : La aleación de cobre-tungsteno se usa ampliamente en la industria electrónica (como encapsulados de semiconductores de potencia, contactos eléctricos) y en componentes de alta temperatura (como revestimientos de toberas de cohetes) debido a su excelente conductividad térmica y eléctrica, pero su menor densidad y tenacidad limitan su aplicación en contrapesos de alta densidad o escenarios de alto impacto. La aleación de tungsteno-níquel-cobre tiene más ventajas en medicina (blindaje de radioterapia, contrapesos de resonancia magnética), defensa nacional y vehículos de nueva energía (contrapesos de motor). Su alta densidad y tenacidad cumplen con requisitos mecánicos y electromagnéticos complejos. El costo de la aleación de cobre-tungsteno fluctúa mucho debido a su alto contenido de cobre, mientras que el costo de la aleación de tungsteno-níquel-cobre se ve afectado por los precios del níquel y el cobre, y la relación debe optimizarse para reducir la presión económica. Las direcciones de optimización incluyen la mejora de la tenacidad de las aleaciones de cobre y tungsteno a través de recubrimientos compuestos o el uso de polvo de tungsteno a escala nanométrica para mejorar el rendimiento de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre.

10.2 Investigación y desarrollo de tecnología de vanguardia para la aleación de tungsteno, níquel y cobre

A medida que crece la demanda de materiales de alto rendimiento, la investigación y el desarrollo de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aleaciones de tungsteno-níquel-cobre están evolucionando desde la optimización tradicional del rendimiento hacia el diseño de microestructuras y la innovación funcional. Las aleaciones nanoestructuradas mejoran significativamente la resistencia, la tenacidad y la conductividad térmica de los materiales al reducir el tamaño de las partículas de polvo a la nanoescala, lo que las hace idóneas para aplicaciones de alta precisión en entornos extremos. Los materiales de gradiente funcional logran un rendimiento personalizado mediante la introducción de una distribución gradual de la composición o estructura dentro de la aleación para satisfacer necesidades complejas y multifuncionales. Estas tecnologías promueven nuevas aplicaciones de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en los sectores médico, electrónico, de defensa y energético mediante procesos de preparación avanzados, lo que respalda la próxima generación de componentes de alto rendimiento.

10.2.1 Aleaciones nanoestructuradas

Las aleaciones nanoestructuradas de tungsteno, níquel y cobre se preparan utilizando polvos nanométricos de tungsteno, níquel y cobre, lo que mejora significativamente su microestructura y propiedades . Las partículas nanométricas presentan una alta área superficial específica y actividad superficial, lo que permite formar una microestructura más uniforme durante la sinterización, reducir la porosidad y mejorar la densidad, la resistencia y la tenacidad. En comparación con las aleaciones tradicionales de tungsteno, níquel y cobre a escala micrométrica, las propiedades mecánicas de las aleaciones nanoestructuradas mejoran significativamente, ya que el efecto de refuerzo de los límites de grano de las nanopartículas mejora la resistencia al impacto y a la fatiga. Conservan sus propiedades no magnéticas, lo que las hace adecuadas para aplicaciones con altos requisitos de compatibilidad electromagnética (como equipos de resonancia magnética y sistemas de radar). Además, la distribución uniforme de las partículas nanométricas mejora la conductividad térmica, lo que optimiza el rendimiento de la aleación en aplicaciones de disipación de calor (como sustratos de semiconductores de potencia y módulos de radiofrecuencia 5G). Los granos finos de la nanoestructura también reducen el coeficiente de expansión térmica, lo que mejora aún más la estabilidad dimensional.

Método de preparación : Las aleaciones nanoestructuradas se preparan generalmente mediante molienda de bolas de alta energía, deposición química en fase de vapor (CVD) o un método asistido por plasma para preparar polvos a escala nanométrica. Posteriormente, se forman aleaciones densas mediante procesos de pulvimetalurgia (como la sinterización en fase líquida o la sinterización por plasma de chispa, SPS). La molienda de bolas de alta energía refina las partículas de polvo a escala nanométrica mediante molienda mecánica, y el tiempo y el entorno de molienda (argón de alta pureza o vacío) deben controlarse para evitar la introducción de impurezas. La tecnología SPS utiliza alto voltaje y corriente pulsada para sinterizar rápidamente nanopolvos , acortar el tiempo de sinterización, inhibir el crecimiento del grano y mantener las características de la nanoestructura. El prensado isostático en caliente (HIP) mejora aún más la densidad y elimina los microporos. El mecanizado de precisión (como el micromaquinado láser) logra formas complejas, y el tratamiento superficial mejora la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad. El proceso de preparación requiere un control estricto de la pureza del polvo y las condiciones de sinterización para garantizar la estabilidad y la consistencia del rendimiento de la nanoestructura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Aplicaciones y ventajas : Las aleaciones nanoestructuradas de tungsteno, níquel y cobre ofrecen ventajas significativas en aplicaciones de alta precisión. Por ejemplo, en el campo médico, se utilizan en componentes de colimadores de radioterapia para mejorar la eficiencia del blindaje radiológico y la precisión dimensional; en el campo de la información electrónica, la excelente conductividad térmica de las nanoaleaciones las hace adecuadas para bases de disipación de calor de servidores de alta potencia; en el campo de la defensa, las nanoaleaciones de alta resistencia se pueden utilizar en componentes de equilibrio de misiles para mejorar la resistencia al impacto. Las líneas de optimización incluyen el desarrollo de una tecnología de preparación de nanopolvos más eficiente , el uso de nanorrecubrimientos compuestos para mejorar aún más el rendimiento o la combinación de la fabricación aditiva para lograr nanoestructuras complejas. El desafío radica en el alto costo de los nanopolvos y el control de la oxidación durante el proceso de preparación, lo que requiere el uso de equipos automatizados y tecnología de monitoreo en línea para mejorar la eficiencia de la producción.

10.2.2 Materiales clasificados funcionalmente

Los materiales con grado funcional (FGM) logran una transición fluida de alta densidad a alta conductividad térmica o alta tenacidad mediante la introducción de una distribución gradual de la composición o estructura dentro de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre para satisfacer las necesidades de componentes multifuncionales. La composición uniforme de las aleaciones tradicionales de tungsteno-níquel-cobre limita su adaptabilidad en condiciones de trabajo complejas, mientras que los FGM optimizan el rendimiento mediante un diseño de gradiente (como un cambio gradual en el contenido de tungsteno de alto a bajo, o un cambio regional en la relación níquel-cobre). Por ejemplo, las áreas con alto contenido de cobre cerca de la superficie pueden mejorar la conductividad térmica y son adecuadas para las necesidades de disipación de calor; las áreas internas con alto contenido de tungsteno proporcionan alta densidad para cumplir con los requisitos de peso. Las propiedades no magnéticas del FGM se conservan, lo que lo hace adecuado para entornos electromagnéticamente sensibles; la estructura de gradiente también mejora la resistencia al choque térmico y la unión de la interfaz, lo que lo hace adecuado para escenarios de alta temperatura o alta tensión.

Método de preparación : Las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre FGM se preparan generalmente mediante apilamiento de polvos en capas, combinado con sinterización en fase líquida o tecnología de fabricación aditiva. El apilamiento de polvos en capas forma una estructura en gradiente mediante la colocación de polvos de tungsteno, níquel y cobre con diferentes proporciones de composición en un molde capa por capa (por ejemplo, un gradiente desde una capa con alto contenido de tungsteno hasta una con alto contenido de cobre), y posteriormente se forma dicha estructura mediante sinterización en fase líquida. La temperatura y la atmósfera deben controlarse con precisión durante el proceso de sinterización para garantizar la unión de la interfaz. La fabricación aditiva (como la fusión selectiva por láser, SLM) construye directamente una estructura en gradiente mediante la deposición de polvos de diferentes composiciones capa por capa, lo cual resulta adecuado para piezas con formas complejas. El prensado isostático en caliente mejora aún más la densidad y elimina los microporos en la interfaz del gradiente. El mecanizado de precisión (como el fresado CNC o el mecanizado por electrochispa) logra una geometría precisa, y el tratamiento superficial (como la pasivación química o el recubrimiento PVD)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

mejora la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad. El proceso de preparación requiere la optimización de la distribución del polvo y de los parámetros de sinterización para evitar la concentración de tensiones en la interfaz del gradiente.

Aplicaciones y ventajas : Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre con gradiente funcional presentan ventajas significativas en componentes multifuncionales. Por ejemplo, en el sustrato de disipación de calor de los paquetes de baterías de vehículos de nueva energía, el alto contenido de cobre en la superficie mejora la conductividad térmica, y el alto contenido de tungsteno en el interior proporciona soporte estructural; en las cubiertas de blindaje para radioterapia médica, la estructura de gradiente optimiza el blindaje contra la radiación y reduce el peso; en los componentes de las boquillas de armas aeroespaciales, el diseño de gradiente mejora la resistencia al choque térmico. Las líneas de optimización incluyen el desarrollo de tecnologías de control de gradiente más precisas (como la impresión 3D multimaterial), el uso de recubrimientos compuestos para mejorar las propiedades superficiales o la optimización de la distribución de gradiente mediante simulación. El desafío radica en el alto costo de preparación y la estabilidad de la interfaz de gradiente, que debe reducirse mediante la producción automatizada y la monitorización en línea.

10.3 Tecnología de fabricación ecológica de aleaciones de tungsteno, níquel y cobre

Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre implican procesos de pulvimetalurgia de alta energía y tratamientos químicos, que pueden generar gases residuales, líquidos residuales y residuos sólidos, lo que supone una carga para el medio ambiente. La tecnología de fabricación ecológica reduce significativamente el impacto ambiental al mejorar los procesos de preparación y desarrollar métodos eficientes de reciclaje de residuos, a la vez que mejora la utilización de recursos y la eficiencia de la producción. Los procesos de preparación respetuosos con el medio ambiente logran una producción limpia al optimizar los procesos de producción, reducir el uso de productos químicos nocivos y el consumo de energía; la tecnología de reciclaje de residuos reduce el desperdicio de recursos y la contaminación ambiental mediante el reciclaje de residuos y piezas desechadas en la producción. Estas tecnologías no solo cumplen con los requisitos de la normativa ambiental, sino que también mejoran la competitividad de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en el mercado de sectores como la medicina, la electrónica y la defensa, abriendo un nuevo camino hacia la fabricación sostenible.

10.3.1 Proceso de preparación respetuoso con el medio ambiente

El proceso de preparación ecológico busca crear un proceso de fabricación limpio y eficiente mediante la optimización del proceso de producción de la aleación de tungsteno, níquel y cobre, reduciendo el consumo de energía, las emisiones de escape y el uso de productos químicos nocivos. Los procesos tradicionales de pulvimetalurgia implican sinterización de alta energía y limpieza química, que pueden generar óxido en los gases de escape o líquidos residuales ácidos. Este proceso de preparación ecológico reduce significativamente el impacto ambiental mediante la adopción de tecnología de sinterización de baja energía, aglutinantes ecológicos y métodos de procesamiento limpios. La tecnología de sinterización de baja energía utiliza métodos de sinterización rápidos, como la sinterización por plasma de chispa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

(SPS), que se calienta rápidamente mediante corriente pulsada y alta presión para acortar el tiempo de sinterización y reducir el consumo de energía, manteniendo al mismo tiempo la densidad y el rendimiento de la aleación. Los aglutinantes ecológicos utilizan materiales degradables o no tóxicos para sustituir los aglutinantes tradicionales de parafina o polímeros, reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en el moldeo por inyección de metal (MIM) y la contaminación por gases de escape durante el desengrasado. Los métodos de procesamiento limpio reducen los líquidos residuales nocivos durante el procesamiento al utilizar refrigerantes a base de agua en lugar de refrigerantes a base de aceite, al tiempo que optimizan los procesos de mecanizado de precisión para reducir la generación de polvo y desechos.

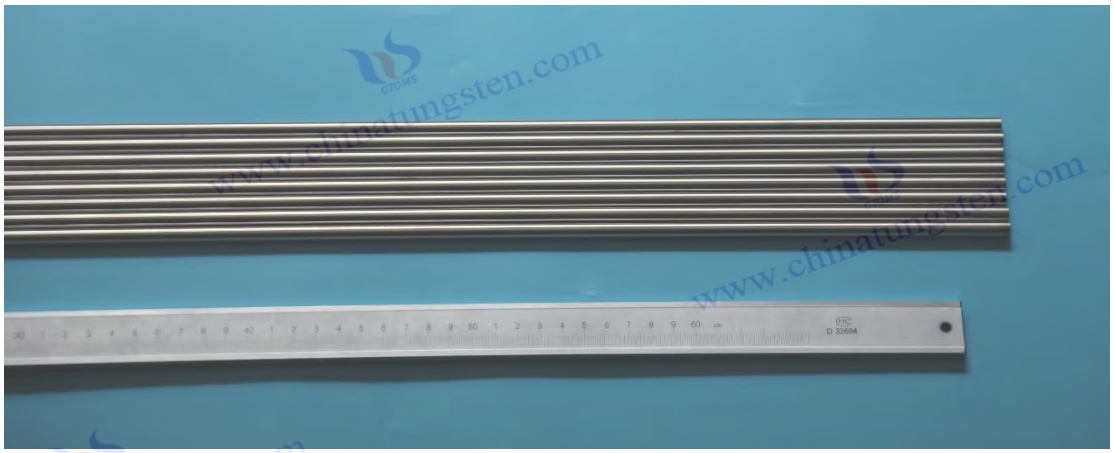
Los procesos de preparación respetuosos con el medio ambiente también se centran en el control del entorno de producción. Mediante la sinterización y el procesamiento en un entorno de gas inerte de alta pureza o al vacío, se previene la oxidación de polvos de tungsteno, níquel y cobre y se reduce la generación de gases residuales de óxido. El sistema de tratamiento de aguas residuales recoge y purifica el fluido de limpieza durante la producción para reducir el desperdicio de agua y la contaminación ambiental. La optimización de procesos también incluye el uso de sistemas de control automatizados para controlar con precisión la temperatura y la atmósfera de sinterización, mejorar la consistencia de la producción y reducir los residuos causados por errores de proceso. La ventaja de los procesos de preparación respetuosos con el medio ambiente es que, a la vez que reducen el consumo de energía y las emisiones, mantienen la alta densidad, la no magnetidad y la conductividad térmica de la aleación para satisfacer las necesidades de blindaje de radioterapia médica, sustratos de disipación de calor electrónico y componentes de contrapeso de defensa nacional. Las líneas de optimización incluyen el desarrollo de una tecnología de sinterización rápida más eficiente, la exploración de la aplicación de aglutinantes de origen biológico y la integración de sistemas de fabricación inteligentes para mejorar aún más la eficiencia de la producción.

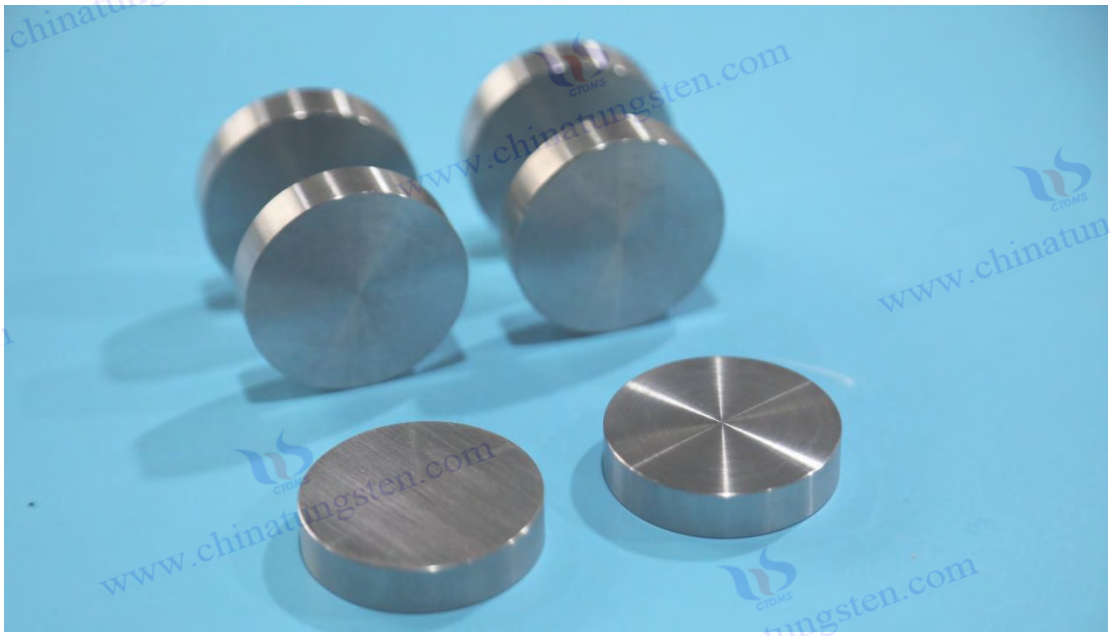
10.3.2 Tecnología de reciclaje de residuos

Reduce el desperdicio de recursos y la contaminación ambiental, y mejora la economía y la sostenibilidad de los materiales mediante el reciclaje de materiales de desecho (como polvos, virutas) y piezas desechadas (como piezas de blindaje médico y contrapesos) en la producción de aleaciones de tungsteno, níquel y cobre. Los métodos tradicionales de reciclaje pueden implicar fundición de alta energía o tratamiento químico, que produce contaminación secundaria. La tecnología de reciclaje de residuos verdes logra altas tasas de recuperación y bajo impacto ambiental mediante la separación física, la purificación química y los procesos de reutilización eficientes. La separación física utiliza molienda mecánica y cribado para separar inicialmente los componentes de tungsteno, níquel y cobre en los residuos, lo que reduce la necesidad de tratamiento químico. La purificación química utiliza disolventes respetuosos con el medio ambiente (como soluciones a base de agua o líquidos ácidos de baja toxicidad) para separar y purificar los componentes metálicos, evitando el gas residual y el líquido residual generado por la fundición tradicional con ácido fuerte o de alta temperatura. El proceso de reutilización eficiente reproporciona el polvo metálico recuperado para los procesos de pulvimetalurgia o MIM para preparar nuevas piezas de aleación y mantener la consistencia del rendimiento. La tecnología de reciclaje de residuos también incluye el reciclaje de piezas desechadas. Mediante el desmontaje y la clasificación de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

colimadores médicos, disipadores de calor electrónicos o contrapesos de defensa desechados, se extraen materiales utilizables de tungsteno, níquel y cobre, que posteriormente se limpian, muelen y resinterizan para convertirlos en materias primas en polvo de alta calidad. El proceso de reciclaje debe llevarse a cabo en un entorno limpio para evitar la contaminación por impurezas que afectan la no magnetización y la biocompatibilidad de la aleación. Se utiliza tecnología avanzada de monitorización en línea para detectar la composición y la pureza del polvo reciclado y garantizar que cumpla con los estándares de producción. La ventaja de la tecnología de reciclaje de residuos es que reduce significativamente la dependencia de minerales primarios de tungsteno, níquel y cobre, reduce el impacto ambiental de la minería y el refinado, y disminuye la acumulación de residuos sólidos. Las líneas de optimización incluyen el desarrollo de tecnologías de separación más eficientes (como la clasificación electromagnética o la clasificación láser), la exploración de sistemas de reciclaje de circuito cerrado y la integración de la tecnología de fabricación aditiva para utilizar directamente los polvos reciclados en la producción de componentes complejos.





CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Capítulo 11 Problemas comunes y soluciones de la aleación de tungsteno, níquel y cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre se utiliza ampliamente en los sectores aeroespacial, médico, de la información electrónica, de defensa y energético gracias a su alta densidad, propiedades no magnéticas, excelente conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Preparada mediante pulvimetalurgia, esta aleación combina la alta densidad del tungsteno con la tenacidad y la conductividad térmica de la fase de enlace níquel-cobre para satisfacer las necesidades de alta precisión y entornos hostiles. Sin embargo, durante el proceso de preparación pueden presentarse diversos problemas, como defectos de sinterización, composición irregular o dificultades de procesamiento, que afectan el rendimiento y la fiabilidad de la aleación. Para solucionar estos problemas es necesario optimizar los flujos de proceso, mejorar el control de los equipos y adoptar tecnologías avanzadas para garantizar la alta calidad y consistencia de la aleación.

11.1 Proceso de preparación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

La aleación de tungsteno-níquel-cobre se basa principalmente en procesos de pulvimetalurgia, que incluyen la mezcla de polvos, el prensado, la sinterización y el posprocesamiento. Pueden surgir problemas en cada etapa debido a materias primas, equipos o parámetros de proceso inadecuados. La sinterización, como paso clave, afecta directamente la densidad, la microestructura y el rendimiento de la aleación, pero es propensa a defectos como porosidad, grietas o segregación de componentes. Estos problemas pueden provocar una disminución de las propiedades mecánicas, una conductividad térmica insuficiente o la pérdida de las propiedades no magnéticas de la aleación, lo que afecta su aplicación en componentes de blindaje médico, sustratos de disipación de calor electrónico o componentes de contrapesos de defensa nacional. La solución a los problemas del proceso de preparación requiere comenzar con la selección de la materia prima, la optimización del proceso y el control de calidad para garantizar que el rendimiento de la aleación satisfaga las necesidades de las aplicaciones de alta demanda.

11.1.1 Soluciones de defectos de sinterización

Los defectos de sinterización son problemas comunes en el proceso de preparación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, que se manifiestan principalmente como poros, grietas, segregación de la composición o sinterización irregular. Estos defectos reducen la densidad, las propiedades mecánicas y la conductividad térmica de la aleación, lo que afecta su fiabilidad en aplicaciones de alta precisión. La porosidad suele deberse a un relleno incompleto de los huecos entre las partículas de polvo o al gas residual, lo que puede provocar una densidad insuficiente y debilitar el blindaje contra la radiación o el efecto de contrapeso. Las grietas suelen deberse a la tensión térmica o a una velocidad de enfriamiento irregular durante la sinterización, lo que afecta a la tenacidad y la durabilidad de la aleación. La segregación de la composición se debe a una distribución irregular de los polvos de tungsteno, níquel y cobre, o a una fluidez insuficiente durante la sinterización en fase líquida, lo que puede provocar propiedades locales inconsistentes, como una conductividad térmica reducida o propiedades no magnéticas deterioradas. La sinterización irregular se relaciona con un gradiente de temperatura o un control de la atmósfera inadecuados en el horno, lo que afecta a la uniformidad de la microestructura de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

la aleación.

Solución : Los defectos de sinterización se pueden solucionar optimizando la selección de la materia prima, mejorando el proceso de sinterización y reforzando el control del proceso. Utilice polvos de tungsteno, níquel y cobre de alta pureza y tamaño de partícula uniforme para garantizar la consistencia de su composición química y propiedades físicas, y reducir la porosidad y la segregación. Utilice tecnología de molienda de bolas de alta energía o aleación mecánica para mezclar los polvos, mejorando la uniformidad y el área de contacto de las partículas, y promoviendo el efecto de humectación y relleno de las fases de níquel y cobre durante la sinterización en fase líquida. Optimice los parámetros del proceso de sinterización, adopte una estrategia de sinterización con aumento gradual de temperatura y caliente lentamente hasta alcanzar la temperatura de sinterización en fase líquida para que la fase líquida de níquel y cobre pueda fluir completamente, rellenar los huecos entre las partículas de tungsteno y reducir la formación de poros. Al mismo tiempo, controle la velocidad de enfriamiento para evitar grietas causadas por tensión térmica. Utilice un gas inerte de alta pureza (como argón) o un entorno de vacío para la sinterización, a fin de prevenir la formación de óxido y mantener la conductividad térmica y no magnética de la aleación. Introducir tecnología de sinterización rápida, como la sinterización por plasma de chispa (SPS), que utiliza corriente pulsada y alta presión para calentar rápidamente, acortar el tiempo de sinterización, inhibir el crecimiento del grano y reducir la porosidad y la segregación.

Reforzar el control de calidad durante el proceso de sinterización y utilizar un sistema de monitorización en línea para detectar la temperatura, la atmósfera y la presión en el horno en tiempo real, garantizando así la estabilidad de las condiciones de sinterización. El prensado isostático en caliente (HIP) se utiliza como proceso de posprocesamiento para eliminar aún más los poros y microfisuras residuales mediante altas temperaturas y altas presiones, mejorar la densidad y la uniformidad de la aleación y es especialmente adecuado para aplicaciones de alta demanda, como colimadores médicos o componentes de contrapeso aeroespaciales. Calibrar periódicamente el equipo de sinterización para garantizar un campo de temperatura uniforme en el horno y evitar una sinterización desigual causada por sobrecalentamiento local o zonas frías. Además, combinar la tecnología de simulación para optimizar los parámetros de sinterización, predecir el flujo de la fase líquida y la distribución de tensiones, y reducir los costes de ensayo y error. La ventaja de esta solución es que mejora significativamente la densidad, las propiedades mecánicas y la consistencia del rendimiento de la aleación para cumplir con los estrictos requisitos de los sectores médico, electrónico y de defensa. Las líneas de optimización incluyen el desarrollo de equipos de sinterización rápida más eficientes, la exploración de sistemas de control automatizados para mejorar la estabilidad del proceso y la integración de tecnología de fabricación aditiva para preparar directamente formas complejas y reducir los defectos de procesamiento posteriores. En el futuro, al combinarse con tecnología de fabricación ecológica, el proceso de sinterización puede reducir aún más el consumo de energía y las emisiones, y promover el desarrollo sostenible de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre.

11.1.2 Control de uniformidad de la composición

El problema de la uniformidad de la composición es un desafío común en la preparación de aleaciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de tungsteno-níquel-cobre. Se refiere a la distribución desigual de los componentes de tungsteno, níquel y cobre en la aleación, lo que puede provocar diferencias locales de densidad, una conductividad térmica reducida o propiedades no magnéticas deterioradas. La falta de homogeneidad en la composición suele deberse a una mezcla insuficiente de polvos, diferencias en el tamaño de las partículas o una baja fluidez durante la sinterización en fase líquida. La alta densidad del tungsteno facilita la sedimentación durante el proceso de mezcla de polvos, mientras que la distribución desigual de la fase de unión de níquel-cobre puede causar segregación local después de la sinterización, lo que afecta la consistencia del rendimiento de la aleación. Por ejemplo, en piezas de blindaje de radioterapia médica, una composición desigual puede reducir el efecto de blindaje contra la radiación; en disipadores de calor electrónicos, puede causar conductividad térmica inestable y afectar la eficiencia de disipación de calor.

Solución : Para garantizar la uniformidad de la composición, esto se puede resolver optimizando la selección del polvo, mejorando el proceso de mezcla de polvos y fortaleciendo el control de sinterización. Seleccione polvos de tungsteno, níquel y cobre de alta pureza con un tamaño de partícula constante para reducir la sedimentación de partículas y la tendencia a la estratificación, y asegurar la uniformidad en la etapa inicial de mezcla. Utilice molienda de bolas de alta energía o tecnología de aleación mecánica para mezclar el polvo. A través de la molienda de alta intensidad a largo plazo, las partículas de tungsteno, níquel y cobre se dispersan completamente, se mejora la uniformidad de contacto entre partículas y se evita la introducción de impurezas. Utilice equipos de mezcla de polvo tridimensionales o mezcla de polvo asistida por ultrasonidos para mejorar aún más la dispersión y fluidez del polvo y reducir la sedimentación. Optimice el proceso de sinterización en fase líquida y controle la fusión y el flujo de la fase líquida de níquel-cobre mediante una estrategia de calentamiento por etapas para asegurar que humedezca completamente las partículas de tungsteno, rellene los espacios entre partículas y reduzca la segregación. Utilice un gas inerte de alta pureza o un entorno de vacío durante el proceso de sinterización para evitar que la oxidación del cobre provoque un desequilibrio en la composición.

Reforzar el control del proceso es clave para garantizar la uniformidad de la composición. Un sistema de monitorización en línea detecta en tiempo real el grado de mezcla del polvo y la distribución de la composición durante la sinterización. Esta uniformidad se verifica mediante análisis de fluorescencia de rayos X o microscopía electrónica. El prensado isostático en caliente es un proceso de posprocesamiento que elimina la segregación local y los microporos mediante altas temperaturas y presiones, mejora la densidad y la consistencia de la composición de la aleación y es especialmente adecuado para aplicaciones de alta precisión, como contrapesos aeroespaciales o colimadores médicos. Calibre periódicamente los equipos de mezcla y sinterización de polvo para garantizar la estabilidad de los parámetros del proceso y evitar la heterogeneidad de la composición causada por desviaciones del equipo. Además, se combina tecnología de simulación para optimizar los parámetros de mezcla y sinterización de polvo, predecir el flujo de líquido y la distribución de la composición, y reducir los costes de las pruebas. La ventaja de esta solución es que mejora significativamente la consistencia del rendimiento de la aleación para cumplir con los estrictos requisitos de los sectores médico, electrónico y de defensa. Las direcciones de optimización incluyen el desarrollo de un sistema automatizado de mezcla de polvos , la exploración de polvos a escala nanométrica para mejorar aún más la uniformidad y la integración de tecnología de fabricación aditiva para controlar directamente la distribución de la composición.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

11.2 Análisis de fallas de aplicación de la aleación de tungsteno-níquel-cobre

Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre pueden fallar en aplicaciones exigentes (como blindaje de radioterapia médica, sustratos de disipación de calor electrónico y componentes de contrapeso de defensa) debido a defectos de material, factores ambientales o uso inadecuado, lo que resulta en una degradación del rendimiento o daños en los componentes. Los fallos en la aplicación pueden manifestarse como propiedades mecánicas insuficientes, conductividad térmica reducida, corrosión superficial o inestabilidad dimensional, lo que afecta la seguridad y la fiabilidad del equipo. Por ejemplo, en equipos médicos, los fallos pueden reducir la eficacia del blindaje contra la radiación; en dispositivos electrónicos, pueden producirse fallos por sobrecalentamiento; en equipos de defensa, la precisión del contrapeso o la resistencia al impacto pueden verse afectadas. Analizar las causas de los fallos y proponer soluciones es clave para mejorar la fiabilidad de las aplicaciones de las aleaciones, comenzando por la preparación del material, la adaptabilidad ambiental y las condiciones de uso.

Causas y soluciones de fallas : Las causas comunes de fallas en aplicaciones incluyen defectos de preparación, erosión ambiental y sobrecarga mecánica. Los defectos de preparación como poros, grietas o composición irregular debilitan directamente las propiedades mecánicas y la conductividad térmica de la aleación. Los defectos se pueden eliminar optimizando el proceso de sinterización (como la sinterización por plasma de chispa) o utilizando prensado isostático en caliente para asegurar una microestructura densa y uniforme. La erosión ambiental es causada principalmente por la humedad, la desinfección química o la oxidación a alta temperatura, lo que lleva a la corrosión superficial o la degradación del rendimiento, especialmente en equipos médicos o entornos marinos. Las soluciones incluyen el uso de tratamientos superficiales resistentes a la corrosión como recubrimientos PVD TiN o pasivación química para formar una capa protectora densa para mejorar la resistencia a la oxidación y la corrosión; al mismo tiempo que se optimiza la composición de la aleación y se aumenta la relación níquel-cobre para mejorar la resistencia a la corrosión. La sobrecarga mecánica es común en escenarios de alto impacto o vibración (como contrapesos de misiles, protección de blindaje), que puede causar grietas o deformación. La resistencia al impacto se puede mejorar mejorando la tenacidad de la aleación (por ejemplo, utilizando un diseño nanoestructurado) u optimizando la geometría del componente (por ejemplo, agregando filetes o estructuras de gradiente).

La adaptabilidad ambiental es el enfoque principal del análisis de fallos. En entornos de alta temperatura o ciclos térmicos, la tensión térmica puede causar inestabilidad dimensional o desprendimiento de la interfaz, lo que afecta el rendimiento de los sustratos de disipación de calor o los componentes de blindaje. Las soluciones incluyen el uso de un diseño de formulación con bajo coeficiente de expansión térmica, combinado con materiales de gradiente funcional (FGM) para optimizar la distribución de la tensión térmica. La interferencia electromagnética puede causar fallos no magnéticos, especialmente en equipos de resonancia magnética o sistemas de radar, lo cual se puede garantizar mediante un control estricto del contenido de impurezas de hierro y pruebas de magnetización en línea. El uso inadecuado, como la operación con sobrecarga o una instalación que no cumpla con los requisitos de diseño, puede causar fallos en los componentes. Es necesario reducir los errores humanos mediante la capacitación de los usuarios y procesos de instalación estandarizados. El control de calidad utiliza microscopía electrónica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

de barrido para analizar la microestructura, pruebas de niebla salina para verificar la resistencia a la corrosión y pruebas de vibración para evaluar las propiedades mecánicas y garantizar que los componentes cumplan con los estándares de aplicación. La ventaja de esta solución es mejorar integralmente la fiabilidad y la vida útil de la aleación para satisfacer los exigentes requisitos de los sectores médico, electrónico y de defensa. Las direcciones de optimización incluyen el desarrollo de recubrimientos autorreparadores para hacer frente a la erosión ambiental, la exploración de tecnología de monitoreo inteligente para detectar riesgos de fallas en tiempo real y la integración de tecnología de fabricación aditiva para personalizar estructuras anti-fallas.

11.2.1 Soluciones a fallos del ciclo térmico

El fallo por ciclo térmico es un modo de fallo común en las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en entornos de alta temperatura o con diferencias de temperatura. Se manifiesta como microfisuras, desprendimiento de la interfaz o deformación dimensional causada por la expansión y contracción térmica repetidas, lo que afecta la integridad estructural y la estabilidad del rendimiento de la aleación. El fallo por ciclo térmico se debe principalmente a la tensión térmica. Cuando la aleación experimenta cambios bruscos de temperatura en condiciones de funcionamiento a alta temperatura o con diferencias extremas de temperatura, se produce una concentración de tensión dentro del material o en la interfaz con la matriz debido a las diferencias en los coeficientes de expansión térmica, lo que puede provocar la propagación de grietas o el fallo de los componentes. Por ejemplo, en el blindaje del detector de un equipo de TC médico, el ciclo térmico puede deformar el componente de blindaje y reducir el efecto de protección contra la radiación.

Solución : El fallo por ciclo térmico se puede solucionar optimizando la composición de la aleación, mejorando la microestructura y adoptando procesos avanzados. Ajuste la relación níquel-cobre y aumente el contenido de cobre para mejorar la conductividad térmica, acelerar la dispersión del calor, reducir las diferencias locales de temperatura y la acumulación de tensión térmica. Utilice el diseño de material de gradiente funcional (FGM) para optimizar la correspondencia del coeficiente de expansión térmica y aliviar la tensión de la interfaz mediante la introducción de una distribución gradual del contenido de tungsteno, níquel y cobre dentro de la aleación. Es especialmente adecuado para sustratos de disipación de calor o piezas de protección combinadas con silicio, cerámica y otros sustratos. Introduzca aleaciones nanoestructuradas y aproveche el efecto de refuerzo del límite de grano de las nanopartículas para mejorar la resistencia a la fatiga térmica y reducir la formación de microfisuras. Optimice el proceso de sinterización y utilice la sinterización por plasma de chispa (SPS) para formar rápidamente una estructura densa y reducir los poros y los puntos de concentración de tensión; el prensado isostático en caliente (HIP) elimina aún más los microporos y mejora la resistencia al choque térmico de la aleación.

El tratamiento superficial es una medida importante para abordar las fallas por ciclos térmicos. La aplicación de recubrimientos de alto rendimiento para formar una capa de barrera térmica puede reducir el impacto del choque térmico en la superficie de la aleación, a la vez que mejora la fuerza de unión interfacial para evitar el desprendimiento. Optimice el diseño geométrico de los componentes, como el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

aumento de los filetes o el espesor del gradiente, para dispersar la tensión térmica y reducir el riesgo de grietas. El control de calidad simula las condiciones reales de uso mediante pruebas de ciclos térmicos, combinadas con microscopía electrónica de barrido para analizar microgrietas y verificar la estabilidad térmica de la aleación. La ventaja de esta solución es que mejora significativamente la fiabilidad de la aleación en entornos con altas temperaturas y diferencias de temperatura, cumpliendo con los estrictos requisitos de los sectores médico, electrónico y aeroespacial. Las líneas de optimización incluyen el desarrollo de recubrimientos adaptativos para aliviar dinámicamente la tensión térmica y la exploración de la tecnología de impresión 3D para fabricar estructuras de gradiente complejas.

11.2.2 Protección contra la corrosión ambiental

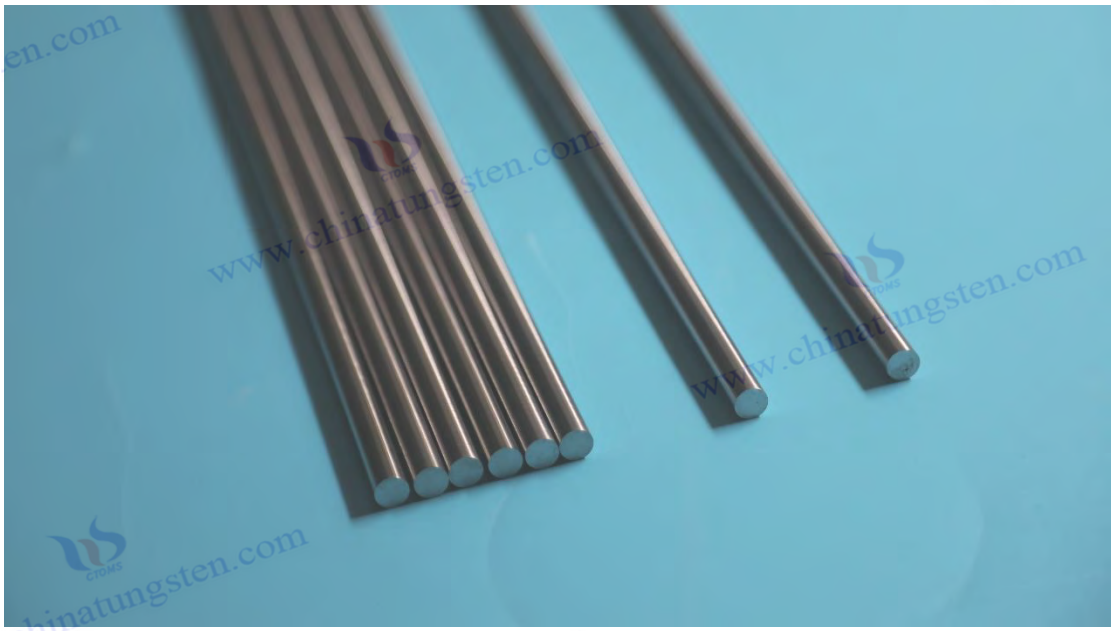
La corrosión ambiental es un modo de fallo común de las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en entornos húmedos, químicamente esterilizados o con alta temperatura de oxidación, que se manifiesta como oxidación superficial, picaduras de corrosión o degradación del material, afectando el rendimiento y la vida útil de la aleación. La corrosión es causada principalmente por factores ambientales como la humedad, la niebla salina o los agentes químicos de limpieza, especialmente en equipos médicos (se requiere desinfección frecuente), entornos marinos (como contrapesos de radar a bordo) o aplicaciones de alta temperatura (como componentes de toberas de cohetes). El cobre como fase de unión es susceptible a la oxidación o al ataque químico, lo que resulta en rugosidad superficial, disminución de la conductividad térmica o deterioro de las propiedades no magnéticas. Por ejemplo, en cubiertas de blindaje de radioterapia médica, la corrosión puede reducir el efecto de blindaje contra la radiación; en contrapesos de motores de vehículos de nueva energía, puede causar desgaste superficial y afectar el equilibrio dinámico.

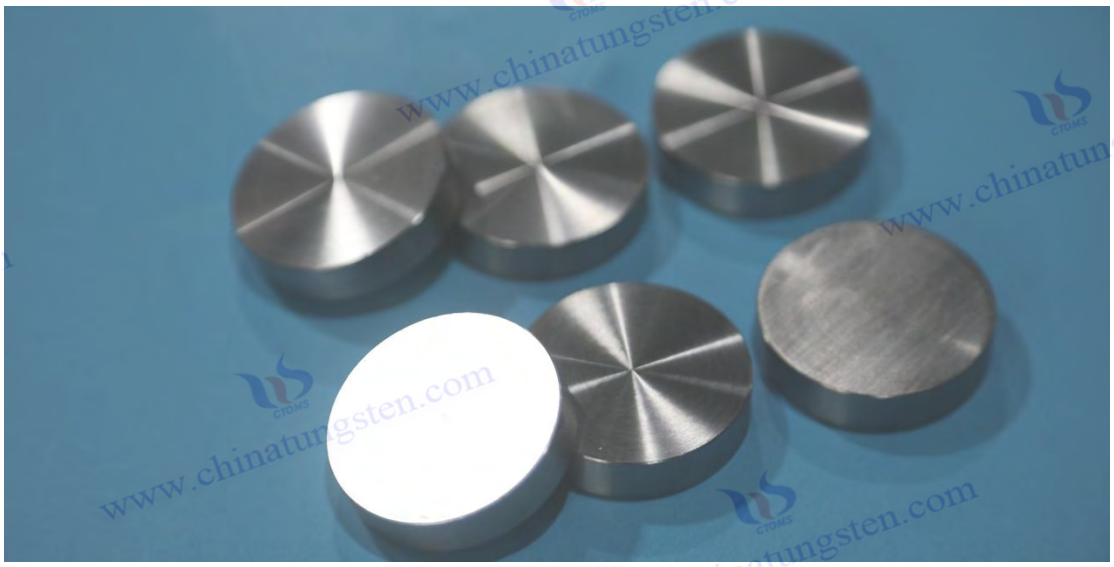
Solución : La corrosión ambiental se puede solucionar optimizando la composición de la aleación, aplicando recubrimientos protectores y mejorando la gestión ambiental. Aumentar el contenido de níquel o optimizar la relación níquel-cobre puede mejorar la resistencia a la corrosión de la fase de unión y reducir la tendencia a la oxidación del cobre en ambientes húmedos o con exposición a sustancias químicas. Las tecnologías de tratamiento de superficies, como el recubrimiento PVD TiN o CrN , se pueden utilizar para formar una capa protectora densa que aísla el oxígeno, la humedad y las sustancias químicas, mejorando significativamente la resistencia a la corrosión. El tratamiento de pasivación química puede mejorar aún más la resistencia a la oxidación y la biocompatibilidad mediante la formación de una película protectora de óxido sobre la superficie, ideal para prótesis médicas o componentes de navegación quirúrgica. El pulido electroquímico optimiza el acabado superficial, reduce los puntos de inicio de la corrosión y mejora la resistencia a la corrosión.

Mejore el proceso de preparación para reducir la sensibilidad a la corrosión. Utilice materias primas de alta pureza y un entorno de sinterización limpio (como vacío o argón de alta pureza) para evitar la introducción de impurezas (como hierro u oxígeno) y mantener las propiedades no magnéticas y resistentes a la corrosión de la aleación. El prensado isostático en caliente (HIP) aumenta la densidad de la aleación y reduce la posibilidad de poros como punto de inicio de la corrosión. Optimice la gestión del entorno de uso, por ejemplo, utilizando desinfectantes neutros en lugar de limpiadores ácidos y alcalinos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

fuertes en equipos médicos para reducir la corrosión química; combine el diseño de sellado en entornos marinos para aislar la niebla salina y la humedad. El control de calidad verifica la resistencia a la corrosión mediante pruebas de niebla salina, pruebas de ciclo de calor húmedo y análisis de superficie (SEM o XPS) para garantizar el cumplimiento de los estándares médicos y militares. La ventaja de la solución es que extiende significativamente la vida útil de la aleación en entornos hostiles y cumple con los requisitos de confiabilidad de los campos médico, electrónico y de defensa. Las direcciones de optimización incluyen el desarrollo de recubrimientos autorreparadores para reparar dinámicamente los daños por corrosión, la exploración de recubrimientos nanocompuestos para mejorar la eficiencia de la protección y la integración de tecnología de monitoreo en línea para evaluar el estado de la corrosión en tiempo real.





CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Tungsten Nickel Copper Alloy Introduction

1. Overview of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten nickel copper alloy is an alloy composed of tungsten with added nickel and copper, typically in a nickel-to-copper ratio of 3:2. This alloy is non-ferromagnetic, exhibits relatively good electrical and thermal conductivity, and is commonly used in specialized applications such as gyroscope rotors, components for devices and instruments operating under magnetic fields, electrical contacts for high-voltage switches, and electrodes for certain electrical machining processes.

2. Features of Tungsten Nickel Copper Alloy

High Density: Typically 16.5 – 18.75 g/cm³

High Thermal Conductivity: Approximately 5 times that of mold steel

Compared to tungsten-nickel-iron alloy, since copper does not have the sintering activation effect of nickel and iron on tungsten, tungsten-nickel-copper alloy has a slightly lower sintered density, lower strength and plasticity, and is generally not subjected to heat treatment or deformation processing.

3. Production Methods for Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy is typically produced using powder metallurgy. First, high-purity tungsten, nickel, and copper powders are mixed in specific proportions, often using equipment like a ball mill to achieve uniform mixing. The mixture is then pressed into shape, commonly using cold isostatic pressing technology under a specific pressure to form a green compact. Subsequently, sintering is performed, generally in a hydrogen protective atmosphere, using a two-step sintering process to address collapse and deformation issues caused by liquid-phase sintering, ensuring the product's density.

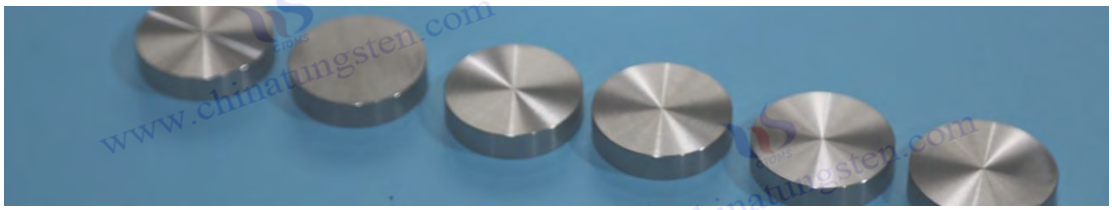
4. Applications of Tungsten Nickel Copper Alloy

Tungsten-nickel-copper alloy, with its high density and excellent thermal and electrical conductivity, has a wide range of applications. In the aerospace sector, it can be utilized to manufacture components such as rocket engine nozzles and gas rudders. In the medical field, due to its strong radiation absorption capability and non-magnetic properties, it is suitable for radiation shielding in magnetic resonance imaging rooms. Additionally, it can serve as a counterweight material for precision instruments.

5. Purchasing Information

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

Website: www.tungsten-alloy.com



CTIA GROUP LTD tungsten nickel copper alloy

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

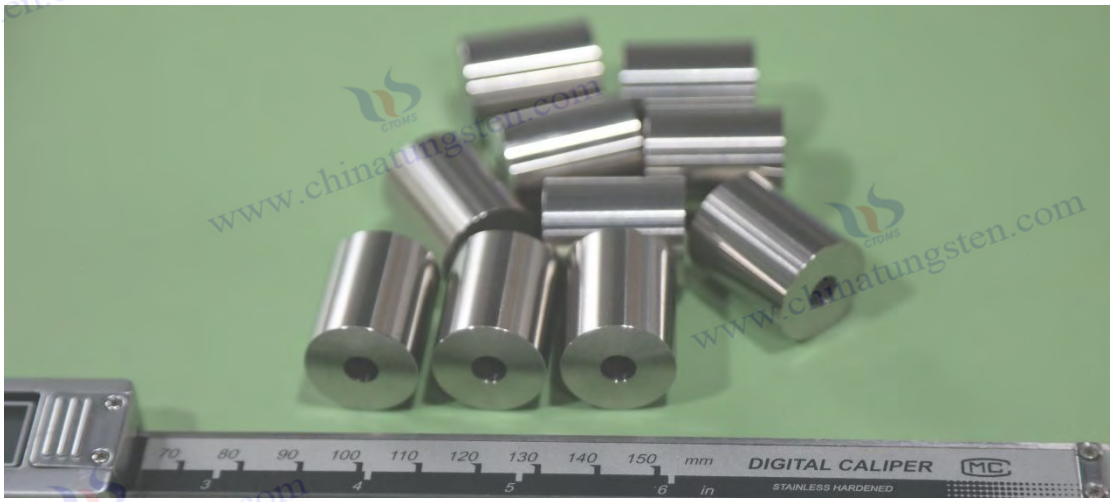
Apéndice

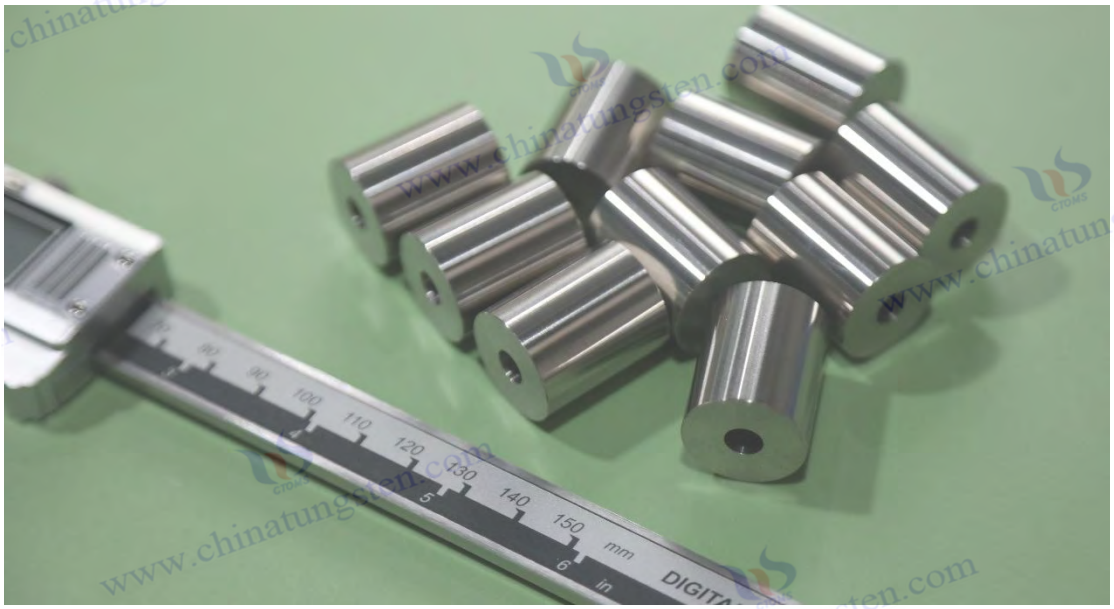
Terminología de las aleaciones de tungsteno, níquel y cobre

El término	Definición y explicación
Metalurgia de polvos	Proceso de preparación de materiales metálicos mediante mezcla de polvos metálicos, prensado y sinterización para la producción de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre, asegurando alta densidad y microestructura homogénea.
Sinterización en fase líquida	Durante el proceso de sinterización, la fase de níquel-cobre se funde a alta temperatura para formar un líquido, que humedece las partículas de tungsteno y llena los huecos, mejorando así la densidad y el rendimiento de la aleación.
Prensado isostático en caliente (HIP)	Un proceso que trata aleaciones a alta temperatura y alta presión bajo presión omnidireccional para eliminar microporos y defectos y mejorar la densidad y las propiedades mecánicas.
Moldeo por inyección de metal (MIM)	Un proceso para preparar piezas de formas complejas y de alta precisión mediante la mezcla de polvo metálico con un aglutinante, desligando y sinterizando después del moldeo por inyección, adecuado para aplicaciones de miniaturización.
Densidad alta	Las aleaciones de tungsteno-níquel-cobre se refieren a su alta masa por unidad de volumen, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de contrapeso y blindaje, como piezas de blindaje de radioterapia médica y contrapesos aeroespaciales.
No magnético	La aleación no genera campos magnéticos ni se ve perturbada por ellos, lo que la hace adecuada para entornos sensibles al electromagnetismo, como equipos de resonancia magnética y sistemas de radar.
Conductividad térmica	La capacidad de la aleación para transferir calor y la adición de la fase de cobre la hacen sobresalir en aplicaciones de disipación de calor (como disipadores de calor electrónicos, sustratos de baterías).
Bajo coeficiente de expansión térmica	El pequeño cambio dimensional de la aleación bajo los cambios de temperatura garantiza la estabilidad geométrica durante los ciclos térmicos y es adecuada para componentes de alta precisión.
Materiales de clasificación funcional (FGM)	Materiales con rendimiento optimizado a través del diseño de gradiente estructural o compositivo, como la combinación de un núcleo de alta densidad y una capa superficial de alta conductividad térmica.
Aleaciones nanoestructuradas	La aleación está hecha de polvo a escala nanométrica y tiene una estructura de grano fino, lo que mejora la resistencia, la tenacidad y la conductividad térmica.
Defectos de sinterización	Los poros, grietas o segregaciones de componentes producidos durante el proceso de sinterización afectan al rendimiento y pueden solucionarse optimizando el proceso y el postratamiento.
Uniformidad de la	La distribución uniforme de tungsteno, níquel y cobre en la aleación garantiza

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

composición	un rendimiento constante, que se controla mediante molienda de bolas de alta energía y monitoreo en línea.
Falla del ciclo térmico	Las grietas o el desprendimiento de la interfaz provocados por cambios repetidos de temperatura se pueden aliviar mediante un diseño y recubrimiento en gradiente.
Corrosión ambiental	La oxidación o degradación de la superficie causada por ambientes húmedos o químicos se puede proteger de forma óptima mediante recubrimientos y componentes resistentes a la corrosión.
Biocompatibilidad	No provoca reacciones adversas al entrar en contacto con tejido humano, lo que lo hace adecuado para aplicaciones médicas como prótesis y componentes de navegación quirúrgica.





CTIA GROUP LTD Aleación de tungsteno, níquel y cobre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Referencias chinas

[1] Zhang Li, Wang Yong. Investigación sobre la preparación y el rendimiento de aleaciones de alta densidad a base de tungsteno . Revista de Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2019.
[2] Li Xiao, Liu Zhi. Avances en la aplicación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en la disipación de calor electrónico. Materiales y Tecnología Electrónica, 2020.
[3] Chen Hui, Zhao Ming. Aplicación de tecnología de fabricación ecológica en la producción de aleaciones de tungsteno. China Materials Progress, 2021.
[4] Wang Qiang, Zhang Hua. Preparación y optimización del rendimiento de aleaciones de tungsteno nanoestructuradas. Nanotecnología e Ingeniería de Precisión, 2022.
[5] Sun Wei, Li Qiang. Aplicación de materiales de gradiente funcional en componentes de aleaciones de tungsteno de alta precisión. Journal of Composite Materials, 2023.
[6] Liu Yang, Zhang Wei. Investigación sobre el blindaje radiológico de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en equipos médicos. Medical Device Research, 2021.
[7] Zhou Ping, Xu Feng. Aplicación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre en contrapesos aeroespaciales. Journal of Aeronautical Materials, 2020.
[8] Yang Fan, Wang Lei. Estrategia de control de defectos de sinterización en la preparación de aleaciones de tungsteno-níquel-cobre. Powder Metallurgy Technology, 2022.
[9] Zhang Tao, Li Na. Tecnología de recuperación y reciclaje de residuos de aleación de tungsteno-níquel-cobre. Economía Circular y Materiales, 2023.
[10] He Ming, Sun Li. Aplicación y desafíos de la aleación de tungsteno-níquel-cobre en el campo de la defensa nacional y la industria militar. Tecnología de Defensa Nacional, 2021.

Referencias en inglés

[1] Smith, J., y Brown, T. Aleaciones de alta densidad para aplicaciones aeroespaciales y médicas. Journal of Materials Science, Springer, 2020.
[2] Zhang, L., y Wang, Y. Avances en pulvimetalurgia para aleaciones a base de tungsteno. Materials Today, Elsevier, 2019.
[3] Kumar, R., y Singh, A. Aleaciones de tungsteno no magnéticas en entornos electromagnéticos. Revista de Física Aplicada, AIP Publishing, 2021.
[4] Li, X., et al. Materiales de gestión térmica para aplicaciones electrónicas y energéticas. Advanced Materials Research, Wiley, 2022.
[5] Chen, H., y Liu, Z. Técnicas de fabricación ecológica para aleaciones de alto rendimiento. Materiales y tecnologías sostenibles, Elsevier, 2023.
[6] Wang, Q., y Zhao, M. Materiales de gradiente funcional en aplicaciones de alta precisión. Composites Science and Technology, Elsevier, 2021.
[7] Lee, S., et al. Aleaciones de tungsteno nanoestructuradas para entornos extremos. Nanotechnology Reviews, De Gruyter, 2023.
[8] Johnson, P., y Taylor, R. Aleaciones de tungsteno en el blindaje radiológico de dispositivos médicos. Física Médica, AAPM, 2020.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved