

# Enciclopedia de anillos de aleación de tungsteno

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

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

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

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



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

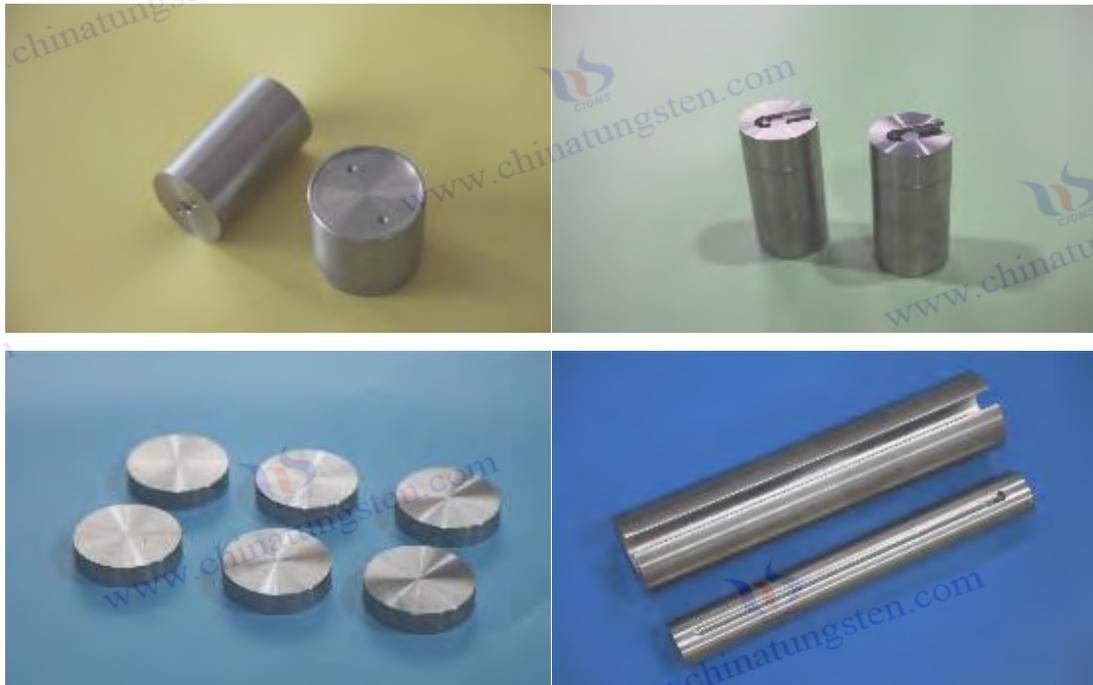
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Tabla de contenido

### Capítulo 1: Descripción general de los anillos de aleación de tungsteno

- 1.1 Definición e historia del desarrollo de los anillos de aleación de tungsteno
- 1.2 Clasificación y características principales de los anillos de aleación de tungsteno
- 1.3 Descripción general de los campos de aplicación de los anillos de aleación de tungsteno

### Capítulo 2: Base material y propiedades de los anillos de aleación de tungsteno

- 2.1 Composición química y microestructura de los anillos de aleación de tungsteno
- 2.2 Propiedades físicas de los anillos de aleación de tungsteno
- 2.3 Propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno
- 2.4 Resistencia a la corrosión y a altas temperaturas de los anillos de aleación de tungsteno

### Capítulo 3: Tecnología de preparación de anillos de aleación de tungsteno

- 3.1 Preparación de materias primas para anillos de aleación de tungsteno y fundamentos de la pulvimetalurgia
- 3.2 Tecnología de conformado de anillos de aleación de tungsteno (moldeo, prensado isostático, etc.)
- 3.3 Tecnología de sinterización de anillos de aleación de tungsteno
- 3.4 Mecanizado de precisión de anillos de aleación de tungsteno
- 3.5 Tecnología de tratamiento de superficies y mejora del rendimiento de anillos de aleación de tungsteno

### Capítulo 4: Métodos de inspección de calidad y caracterización de anillos de aleación de tungsteno

- 4.1 Inspección de la precisión dimensional y geométrica de los anillos de aleación de tungsteno
- 4.2 Métodos de análisis de la composición de anillos de aleación de tungsteno
- 4.3 Prueba de propiedades mecánicas de anillos de aleación de tungsteno
- 4.4 Microestructura y detección de defectos en anillos de aleación de tungsteno

### Capítulo 5: Tecnología de aplicación y casos de anillos de aleación de tungsteno

- 5.1 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en la industria aeroespacial
- 5.2 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en las industrias energética y nuclear
- 5.3 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en la fabricación de maquinaria y equipos militares
- 5.4 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en dispositivos electrónicos y médicos

### Capítulo 6: Normas internacionales y especificaciones de la industria para anillos de aleación de tungsteno

- 6.1 Principales normas internacionales para anillos de aleación de tungsteno
- 6.2 Normas nacionales y especificaciones de prueba para anillos de aleación de tungsteno
- 6.3 Estándares de calidad para anillos de aleación de tungsteno fabricados por CTIA GROUP

### Capítulo 7: Análisis económico y de mercado de los anillos de aleación de tungsteno

- 7.1 Estructura del mercado global de anillos de aleación de tungsteno
- 7.2 Análisis de los principales países productores y la cadena de suministro de anillos de aleación de tungsteno
- 7.3 Tendencia de precios y estructura de costos de los anillos de aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 8: Tendencias futuras de desarrollo de los anillos de aleación de tungsteno

- 8.1 Nuevos materiales y sistemas de aleación para anillos de aleación de tungsteno
- 8.2 Tecnologías de fabricación avanzada para anillos de aleación de tungsteno (fabricación aditiva, etc.)
- 8.3 Tecnologías de reciclaje y reutilización de anillos de aleación de tungsteno
- 8.4 Aplicaciones potenciales de los anillos de aleación de tungsteno en tecnologías de vanguardia

### Apéndice

- Apéndice 1: Datos físicos y químicos comunes de los anillos de aleación de tungsteno
- Apéndice 2: Tabla comparativa de normas internacionales para anillos de aleación de tungsteno
- Apéndice 3: Glosario de términos y abreviaturas en inglés para anillos de aleación de tungsteno



## Capítulo 1 Descripción general de los anillos de aleación de tungsteno

### 1.1 Definición e historia del desarrollo del anillo de aleación de tungsteno

#### 1. Definición de anillo de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno son componentes estructurales anulares compuestos principalmente de tungsteno (W), con ciertos porcentajes de níquel (Ni), hierro (Fe), cobre (Cu) y otros elementos metálicos añadidos mediante procesos como la pulvimetalurgia, la sinterización al vacío y el prensado isostático en caliente. Los anillos de aleación de tungsteno suelen contener **entre un 85 % y un 98 % de tungsteno** en masa, lo que resulta en una densidad extremadamente alta (16,5 a 19,3 g/cm<sup>3</sup>), excelente resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas y buena maquinabilidad.

En comparación con el tungsteno puro, los anillos de aleación de tungsteno tienen mayor tenacidad y resistencia al impacto a través de la aleación; en comparación con los materiales de acero tradicionales, su densidad es casi el doble, por lo que tienen ventajas irremplazables en **contrapesos de alta densidad, equilibrio mecánico de precisión, piezas inerciales giratorias de alta velocidad, sistemas de control inercial aeroespacial y otros campos.**

Además, los anillos de aleación de tungsteno se pueden dividir en los siguientes tipos según los diferentes entornos de aplicación:

1. **Anillos de aleación de tungsteno de peso pesado (W-Ni-Fe/W-Ni-Cu):** se utilizan para contrapeso, reducción de vibraciones y control de inercia.
2. **Anillos de aleación de tungsteno resistentes a altas temperaturas** (serie W-Re, serie W-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HfC ): se utilizan en entornos extremos como motores aeroespaciales y reactores nucleares.

3. **Anillos de aleación de tungsteno resistentes a la corrosión** (sistema W-Cu): se utilizan en el sellado de equipos químicos, equipos de exploración de aguas profundas y otros campos.

## 2. Origen y desarrollo temprano de los anillos de aleación de tungsteno

Los materiales de aleación de tungsteno se remontan a **principios del siglo XX** , pero los componentes estructurales anulares de aleación de tungsteno no aparecieron realmente hasta las **décadas de 1940 y 1950**. Esto se debió principalmente al rápido desarrollo de las industrias militar y aeronáutica, en particular durante la Segunda Guerra Mundial y los inicios de la Guerra Fría, lo que provocó un fuerte aumento de la demanda de materiales metálicos de alta densidad y resistencia a altas temperaturas.

- **de 1940 a 1950 : los países europeos y americanos utilizaron por primera vez aleaciones de tungsteno de alta densidad** en frenos de boca de artillería, volantes giratorios y anillos de equilibrio para reemplazar el plomo y el acero.
- **1960 : la NASA y la Agencia Espacial Soviética introdujeron** anillos de aleación de tungsteno en motores de cohetes y sistemas de control de actitud de satélites, utilizando su alta densidad para mejorar la capacidad de almacenamiento de energía cinética de los giroscopios y las ruedas de inercia.
- **Década de 1970 a 1980** : Los países industriales como Japón y Alemania utilizaron anillos de aleación de tungsteno como contrapesos para husillos mecánicos de precisión para reducir la vibración y el ruido en equipos giratorios de alta velocidad.

Durante este período, el proceso de fabricación de anillos de aleación de tungsteno era relativamente rudimentario, y se basaba principalmente en **el método de moldeo por compresión y sinterización en fase líquida** . El rendimiento del producto estaba limitado por el tamaño de las partículas de polvo y la densidad de sinterización.

## 3. Etapas de desarrollo de los anillos modernos de aleación de tungsteno

Desde finales **del siglo XX hasta principios del siglo XXI** , con la madurez de la tecnología de pulvimetalurgia, la tecnología de nanomateriales, la sinterización al vacío y los equipos de prensado isostático en caliente (HIP), los anillos de aleación de tungsteno entraron en una etapa de rápido desarrollo:

### 1. Alta purificación y homogeneización

- La pureza del polvo de tungsteno se ha incrementado del 99,8% a más del 99,95%, reduciendo eficazmente el contenido de impurezas como oxígeno, carbono y nitrógeno, y mejorando significativamente la ductilidad y la vida útil por fatiga del material.
- El tamaño de las partículas de polvo se controla entre 1 y 3  $\mu\text{m}$  , lo que hace que la microestructura después de la sinterización sea más uniforme y densa .

### 2. Aleación compuesta

- elementos de tierras raras (La, Ce, Y) y fases de fortalecimiento ( HfC , TiC ) para mejorar las propiedades de fluencia a alta temperatura y la resistencia al desgaste.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Hemos desarrollado anillos de aleación multicomponente como W-Ni-Fe-Co y W-Cu-Re para satisfacer las necesidades de condiciones de trabajo extremas.
- 3. **Mecanizado de precisión e ingeniería de superficies**
  - Utilizando **torneado CNC, rectificado y mecanizado por descarga eléctrica (EDM)**, la tolerancia dimensional se puede controlar dentro de  $\pm 0,01$  mm.
  - **el revestimiento PVD, CVD y láser** para mejorar aún más la resistencia a la corrosión y al desgaste.
- 4. **Diseño personalizado y modular**
  - Los fabricantes de equipos de aviación, aeroespaciales y de aguas profundas pueden personalizar anillos de aleación de tungsteno con diferentes densidades, formas de sección transversal y espesores de pared según los requisitos de carga para lograr la optimización estructural y la distribución del peso.

#### 4. Tendencia de desarrollo futuro del anillo de aleación de tungsteno

En los próximos 10 a 20 años, los anillos de aleación de tungsteno se desarrollarán en tres direcciones: **alto rendimiento, peso ligero e inteligencia:**

1. **Alto rendimiento** : a través de tecnologías como el polvo de nanotungsteno, el prensado isostático en caliente al vacío y la sinterización compuesta, la resistencia a la flexión del anillo de aleación de tungsteno supera los 1200 MPa y la densidad está cerca del valor teórico de  $19,3 \text{ g/cm}^3$ .
2. **Aligeramiento y optimización estructural** : el análisis de elementos finitos (FEA) y la optimización topológica se utilizan para reducir el material en áreas no estresadas y mejorar la relación entre el rendimiento inercial y la resistencia estructural.
3. **Integración funcional** : los sensores y elementos de calentamiento están integrados en anillos de aleación de tungsteno para lograr un monitoreo en tiempo real y una adaptación ambiental, lo que es particularmente adecuado para los sistemas de control de actitud de naves espaciales.

### 1.2 Clasificación y características principales de los anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente como componentes estructurales, materiales funcionales y aplicaciones especializadas. Su clasificación y características determinan directamente sus escenarios de aplicación y rendimiento. Gracias a la alta densidad del tungsteno, su elevado punto de fusión y sus excelentes propiedades mecánicas, los anillos de aleación de tungsteno no solo ofrecen un excelente rendimiento en entornos extremos como altas temperaturas, corrosión severa e impactos fuertes, sino que también presentan diversas propiedades según el sistema de aleación.

#### 1.2.1 Clasificación por sistema de aleación

Los anillos de aleación de tungsteno se pueden dividir en las siguientes categorías según los diferentes sistemas de aleación:

1. **Anillos pesados de aleación de tungsteno (sistema W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Se forma añadiendo níquel, hierro o cobre al tungsteno como matriz, con una densidad de 16,8~18,8 g/cm<sup>3</sup>.
  - Se caracteriza por su alta resistencia, buena ductilidad y un mejor rendimiento de procesamiento que el tungsteno puro. Es adecuado para aplicaciones como contrapesos, anillos de equilibrio, volantes de inercia, etc., que requieren alta inercia y alta capacidad de absorción de energía.
2. **Anillo de aleación de cobre y tungsteno (sistema W-Cu)**
- por la infiltración de esqueleto de tungsteno y cobre, y tiene el alto punto de fusión del tungsteno y la alta conductividad eléctrica y térmica del cobre.
  - Se utiliza comúnmente en anillos de contacto eléctrico, anillos conductores resistentes a altas temperaturas y componentes de gestión térmica.
3. **Anillo de aleación de tungsteno-molibdeno (sistema W-Mo)**
- Agregar una cantidad adecuada de molibdeno al tungsteno puede reducir la fragilidad del material y mejorar su plasticidad a alta temperatura.
  - Se utiliza principalmente para piezas de alta temperatura, como anillos de calentamiento de hornos de vacío y soportes resistentes al calor.
4. **Anillos de aleación de carburo de tungsteno (sistema WC-Co / WC-Ni)**
- Es un anillo de carburo cementado con una dureza extremadamente alta (HRA 85 y superior) y una excelente resistencia al desgaste.
  - Se utiliza comúnmente en anillos de sellado, anillos de revestimiento resistentes al desgaste, piezas de maquinaria minera, etc.

### 1.2.2 Clasificación por proceso de fabricación

- **Anillo de aleación de tungsteno de pulvimetalurgia** : fabricado mediante prensado de polvo, sinterización y mecanizado posterior, es adecuado para la producción en masa y tiene una estructura de material uniforme.
- **Anillo de aleación de tungsteno forjado** : Mejora la microestructura a través de la deformación plástica a alta temperatura para obtener mayor densidad y propiedades mecánicas.
- **Anillo de aleación de tungsteno compuesto de sinterización-infiltración** : como el anillo W-Cu, W-Ag, primero sinteriza el esqueleto de tungsteno y luego infiltra el metal de bajo punto de fusión.

### 1.2.3 Características principales del anillo de aleación de tungsteno

1. **Alta densidad y alta gravedad específica**
- El tungsteno tiene una densidad de hasta 19,3 g/cm<sup>3</sup>, lo que permite que el anillo de aleación de tungsteno proporcione mayor inercia y efecto de contrapeso en un volumen pequeño.
2. **Excelente rendimiento a altas temperaturas**
- El tungsteno tiene un punto de fusión de 3.422 °C y mantiene la estabilidad estructural en entornos de alta temperatura, lo que lo hace menos susceptible a la fluencia o al ablandamiento.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Buena resistencia al desgaste y a la corrosión.**
  - Es adecuado para trabajos de larga duración en entornos de fricción, impacto, ácidos y alcalinos y tiene una larga vida útil.
4. **Rendimiento personalizable**
  - Ajustando la relación de aleación y los parámetros del proceso, se pueden obtener productos con diferente resistencia, dureza, conductividad térmica y conductividad eléctrica.
5. **Rendimiento de resistencia y protección a la radiación**
  - Su elevado número atómico y densidad lo hacen importante para aplicaciones en blindaje contra la radiación nuclear y anillos de protección.

Los anillos de aleación de tungsteno no solo afectan sus propiedades físicas y mecánicas, sino que también determinan su aplicación en industrias como la aeroespacial, la militar, la energética, la de fabricación de maquinaria y la electrónica. En ingeniería, suele ser necesario seleccionar el sistema de aleación y el proceso de fabricación adecuados en función de la temperatura, la carga, los medios corrosivos y los requisitos de procesamiento del entorno de trabajo para maximizar las ventajas de rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno.

### 1.3 Descripción general de las aplicaciones de los anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en la industria moderna gracias a su alta densidad, alta dureza, excelente resistencia al desgaste y excelente rendimiento a altas temperaturas. Sus propiedades físicas y químicas únicas permiten su uso no solo en la fabricación de maquinaria convencional, sino también mantener un rendimiento estable en entornos extremos. Por consiguiente, se utilizan ampliamente en diversos sectores, como el aeroespacial, el energético, el militar, el médico y el electrónico. A continuación, se presenta una descripción general de las aplicaciones de los anillos de aleación de tungsteno desde la perspectiva de industrias clave.

#### (1) Aeroespacial.

En equipos aeroespaciales, los anillos de aleación de tungsteno se utilizan a menudo como anillos de contrapeso de rotores de giroscopios, contrapesos de control de actitud de aeronaves y componentes clave en sistemas de navegación inercial. Gracias a su altísima densidad (cerca de 19 g/cm<sup>3</sup>), los anillos de aleación de tungsteno pueden proporcionar un mayor momento de inercia con el mismo volumen, lo que ayuda a reducir el tamaño del componente y a mejorar la sensibilidad y la estabilidad del sistema. Además, su buena resistencia a la fatiga y estabilidad térmica les permiten funcionar de forma estable durante largos periodos en entornos de alta velocidad y alta temperatura.

#### (2)

Los anillos de aleación de tungsteno también desempeñan un papel importante en equipos militares, como los giroestabilizadores en los sistemas de control de tiro, los componentes inerciales en los sistemas de control de cañones de tanques y los anillos de contrapesos en buques y submarinos. En la tecnología de municiones y misiles, los anillos de aleación de tungsteno pueden utilizarse como anillos estabilizadores de proyectiles o de cola, lo que no solo mejora la precisión de vuelo, sino que

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

también mantiene la integridad estructural durante la penetración del blindaje y el impacto de alta energía cinética.

### **(3) Industria Energética y Nuclear.**

En el campo de la energía nuclear, los anillos de aleación de tungsteno se utilizan a menudo en componentes de control de reactores, anillos de protección radiológica y contrapesos de mecanismos de giro. Su alta densidad y elevado número atómico les confieren excelentes propiedades de blindaje contra rayos gamma y rayos X, reduciendo eficazmente las fugas de radiación. En turbinas eólicas y dispositivos de energía oceánica, los anillos de aleación de tungsteno también se pueden utilizar como contrapesos para componentes giratorios de alta velocidad para reducir la vibración y mejorar la estabilidad.

### **(4) Protección médica y radiológica.**

En equipos de imagenología y tratamiento médico, los anillos de aleación de tungsteno se utilizan en rotores y componentes de blindaje de equipos como escáneres CT, aceleradores lineales y bisturíes gamma. Su alta densidad no solo reduce la fuga de radiación, sino que también mantiene el equilibrio durante la rotación, mejorando la calidad de la imagen y la precisión del tratamiento. Además, los anillos de aleación de tungsteno también se pueden utilizar para equilibrar el movimiento y posicionar con precisión los equipos médicos.

### **(5) Industria de Maquinaria de Precisión y Electrónica.**

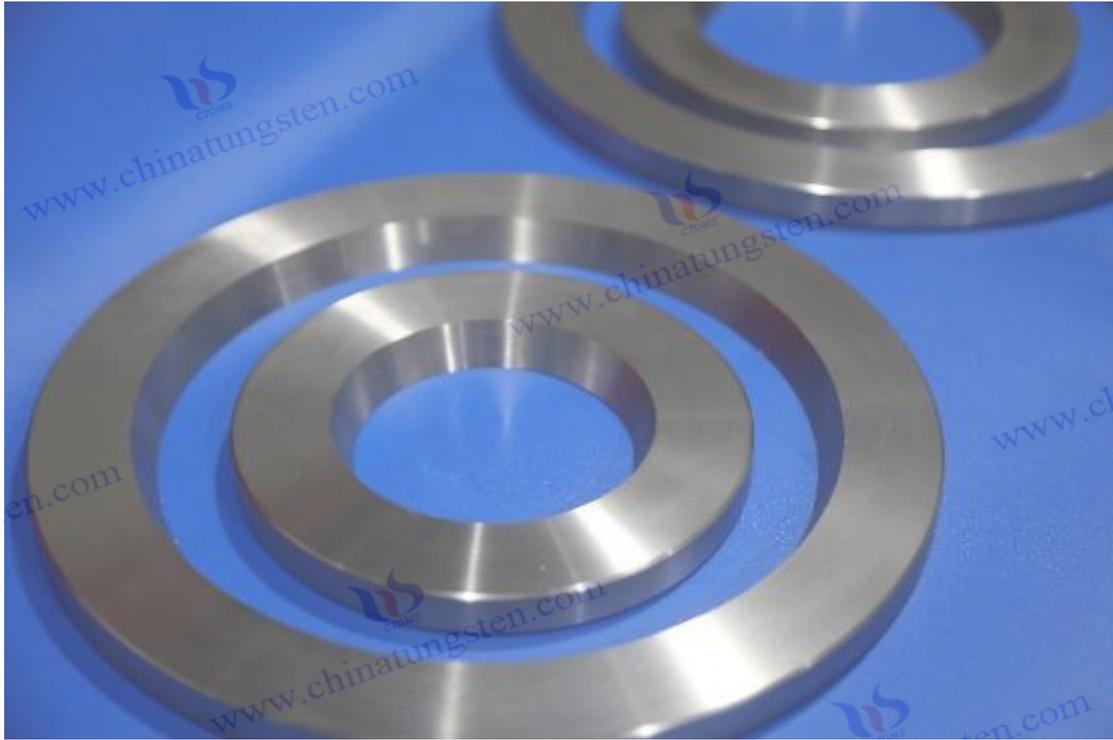
En máquinas herramienta de precisión de alta velocidad, equipos de fabricación de semiconductores e instrumentos de prueba de alta gama, los anillos de aleación de tungsteno se pueden utilizar como volantes de inercia, anillos de inercia o contrapesos para estabilizar piezas de alta velocidad y reducir las vibraciones. En la industria electrónica, también se utiliza como componente estabilizador para equipos de alta frecuencia y sistemas de microondas, aprovechando su alta densidad y buena conductividad térmica para garantizar un funcionamiento fiable y duradero del sistema.

### **(6) Equipos especiales de investigación industrial y científica.**

Los anillos de aleación de tungsteno también se utilizan en escenarios especiales, como detectores de aguas profundas, equipos de exploración geológica y aceleradores de partículas. Por ejemplo, en sumergibles de aguas profundas, los anillos de aleación de tungsteno pueden utilizarse como lastre para mantener el equilibrio entre la inmersión y la superficie; en aceleradores de partículas, pueden emplearse en dispositivos de control de haces de iones para ajustar con precisión la distribución del campo magnético.

En general, los anillos de aleación de tungsteno, gracias a sus amplias ventajas de rendimiento, se han convertido en componentes clave indispensables en equipos de alta gama en diversas industrias. Con el continuo desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación y formulaciones de aleaciones, sus áreas de aplicación seguirán expandiéndose, especialmente en nuevas energías, fabricación de alta gama y operaciones en entornos extremos, donde desempeñarán un papel aún más importante en el futuro.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Capítulo 2 Base material y propiedades de los anillos de aleación de tungsteno

### 2.1 Composición química y microestructura del anillo de aleación de tungsteno

de los anillos de aleación de tungsteno están determinadas en gran medida por estos. Estos dos aspectos no solo determinan la densidad, dureza y resistencia al desgaste del material, sino que también afectan directamente su resistencia a la corrosión, ductilidad y rendimiento a altas temperaturas. Los anillos de aleación de tungsteno suelen diseñarse para lograr alta densidad, alta resistencia y buena procesabilidad, lo que exige un control riguroso de la composición y la microestructura.

#### 1. Características de la composición química:

El tungsteno (W) es el componente principal, con una fracción másica que suele oscilar entre el 85 % y el 97 %, representando la mayor parte de la aleación. El tungsteno tiene un punto de fusión extremadamente alto (3422 °C), una alta densidad (19,25 g/cm<sup>3</sup>) y una buena resistencia a la corrosión, lo que lo convierte en un elemento clave para conferir alta densidad y dureza a los anillos de aleación de tungsteno. Para mejorar la tenacidad, optimizar el rendimiento del procesamiento o conferir funciones especiales, se suele añadir una cierta proporción de elementos de aleación, entre ellos:

1. **Níquel (Ni)** : El elemento de endurecimiento más común. Forma una fase de enlace dúctil al usarse con hierro o cobre. El níquel se suele añadir en cantidades del 3 % al 7 % y mejora significativamente la plasticidad y la resistencia al impacto de la aleación.
2. **Hierro (Fe)** : a menudo combinado con níquel (aleaciones W-Ni-Fe), mejora la tenacidad al mismo tiempo que mejora la resistencia y la resistencia al desgaste del material.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. **Cobre (Cu)** : como agente endurecedor para reemplazar el hierro (aleación W-Ni-Cu), se utiliza principalmente en aplicaciones que requieren alta conductividad y propiedades no magnéticas.
4. **Cobalto (Co)** : se utiliza como fase aglutinante en algunas aleaciones especiales para mejorar la resistencia al calor y la resistencia a la fluencia, pero su costo es relativamente alto.
5. **carbono (C), molibdeno (Mo) y cromo (Cr)** : se utilizan para mejorar la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión o la estabilidad estructural de la aleación en entornos de alta temperatura.

El diseño de la relación varía según el propósito del anillo de aleación de tungsteno. Por ejemplo, el material del anillo utilizado en la industria aeroespacial prioriza la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación, mientras que el material del anillo utilizado en instrumentos de precisión prioriza la estabilidad de la densidad y la precisión dimensional.

## 2. Características microestructurales

La microestructura de los anillos de aleación de tungsteno suele presentar una estructura bifásica o multifásica:

1. **Fase de partículas de tungsteno (fase W)** : presenta un color gris claro o blanco y se presenta en forma de partículas esféricas o poliédricas uniformemente distribuidas al microscopio. Es la principal fase portante de la aleación, lo que le confiere al material alta densidad y dureza.
2. **Fase aglutinante (fase de matriz metálica)** : compuesta por elementos como níquel, hierro y cobre, distribuidos entre partículas de tungsteno, desempeña la función de conexión, transferencia de tensión y amortiguación de la fractura frágil.
3. **Límites de grano y poros** : inevitablemente se forman algunos poros durante el proceso de sinterización, pero los anillos de aleación de tungsteno de alta calidad pueden reducir la porosidad a un nivel extremadamente bajo a través de la sinterización en fase líquida a alta temperatura o el tratamiento de prensado isostático en caliente (HIP), mejorando así la resistencia y la tenacidad.

La uniformidad microestructural es crucial para el rendimiento general de los anillos de aleación de tungsteno. Las partículas de tungsteno sobredimensionadas o distribuidas de forma irregular pueden provocar la propagación prematura de grietas en los puntos de concentración de tensiones. Una continuidad insuficiente de la fase aglutinante reduce la ductilidad, lo que hace que el anillo sea susceptible a agrietarse durante el procesamiento. Por lo tanto, el proceso de preparación requiere un control estricto de la distribución del tamaño de las partículas de polvo, la uniformidad de la mezcla, el perfil de temperatura y el tiempo de mantenimiento durante el proceso de sinterización.

## 3. Influencia de la composición y la organización en el rendimiento

- **Densidad** : Determinada principalmente por el contenido de tungsteno. Cuanto mayor sea la proporción de tungsteno, más cercana estará la densidad al límite teórico.
- **Resistencia y tenacidad** : Dependen de la distribución de las partículas de tungsteno y de

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la proporción de la fase aglutinante. Una proporción adecuada de Ni/Fe o Ni/Cu puede mejorar significativamente la tenacidad al impacto.

- **Resistencia al desgaste y a la corrosión** : el alto contenido de tungsteno y la microestructura densa ayudan a resistir el desgaste abrasivo y la corrosión química.
- **Rendimiento a altas temperaturas** : el alto punto de fusión y la estabilidad del tungsteno le permiten mantener la resistencia estructural a altas temperaturas, pero la estabilidad térmica de la fase aglutinante es igualmente crítica.

En resumen, la composición química y la microestructura de los anillos de aleación de tungsteno son la base para determinar su rendimiento. El diseño científico de las aleaciones y el control preciso de la microestructura son los enfoques técnicos fundamentales para garantizar que satisfagan las necesidades de las aplicaciones industriales de alta gama.

## 2.2 Propiedades físicas del anillo de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno son una de las razones clave de su amplia adopción en numerosos sectores industriales. Estas propiedades se derivan no solo de la singular estructura atómica del tungsteno, sino también de la proporción optimizada de elementos de aleación y el control preciso del proceso de fabricación. Los anillos de aleación de tungsteno presentan ventajas significativas en densidad, punto de fusión, estabilidad térmica, conductividad térmica, conductividad eléctrica y resistencia a la radiación, lo que les permite mantener una estructura y un rendimiento estables incluso en condiciones extremas.

### 2.2.1 Características de alta densidad

El tungsteno es uno de los metales más densos de la naturaleza (aproximadamente 19,3 g/cm<sup>3</sup>). Los anillos de aleación de tungsteno suelen tener una densidad de entre 17,0 y 18,5 g/cm<sup>3</sup>, significativamente mayor que la de metales estructurales comunes como el acero y las aleaciones de cobre. Esta alta densidad confiere a los anillos de aleación de tungsteno excelentes propiedades inerciales y capacidad de absorción de energía cinética, lo que los hace especialmente eficaces en estructuras que requieren equilibrio, contrapeso o reducción de vibraciones. Esta alta densidad también implica que, para una masa dada, los anillos de aleación de tungsteno pueden ser más pequeños, lo que facilita diseños compactos en estructuras con espacio limitado.

### 2.2.2 Alto punto de fusión y estabilidad a alta temperatura

El tungsteno tiene un punto de fusión de 3422 °C, el más alto entre los metales. Si bien el punto de fusión de los anillos de aleación de tungsteno disminuye ligeramente tras la aleación, pueden mantener una estructura y resistencia estables durante largos periodos por encima de los 1000 °C sin ablandamiento ni deformación significativos. Esta característica les confiere ventajas únicas en aplicaciones como moldes de alta temperatura, dispositivos de tratamiento térmico al vacío y sistemas de canal caliente.

### 2.2.3 Bajo coeficiente de expansión térmica

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La expansión de los anillos de aleación de tungsteno suele estar entre  $(4,5 \text{ y } 6,0) \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$ , significativamente menor que la de metales como el acero y el aluminio. Esta baja expansión permite que los anillos mantengan dimensiones precisas incluso en entornos con fluctuaciones drásticas de temperatura, minimizando las variaciones de holgura causadas por la expansión y contracción térmica. Esto es especialmente importante para instrumentos de precisión, anillos de sellado de alta temperatura y componentes estructurales sujetos a ciclos térmicos.

#### 2.2.4 Excelente conductividad térmica

Si bien la conductividad térmica del tungsteno es inferior a la del cobre y la plata, se mantiene relativamente alta entre los metales estructurales de alta densidad (aproximadamente  $160 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ). Los anillos de aleación de tungsteno conducen eficazmente el calor, evitando el sobrecalentamiento localizado y garantizando un rendimiento estable en aplicaciones de alta potencia sujetas a frecuentes choques térmicos. Esto es crucial para dispositivos de calentamiento de alta temperatura y estructuras de refrigeración electrónica.

#### 2.2.5 Propiedades eléctricas

La resistividad del anillo de aleación de tungsteno es de  $(5,0 \text{ a } 6,0) \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , superior a la de la mayoría de las aleaciones de alta temperatura y metales termorresistentes. En contactos eléctricos especiales que requieren mantener la conductividad eléctrica a altas temperaturas, los anillos de aleación de tungsteno satisfacen las necesidades de resistencia térmica y conductividad.

#### 2.2.6 Alta dureza y resistencia al desgaste

Los anillos de aleación de tungsteno suelen tener una dureza de entre 300 y 500 HV, que puede aumentarse mediante tratamiento térmico o endurecimiento superficial. Esta alta dureza les confiere una excelente resistencia al desgaste, lo que les permite una mayor vida útil en aplicaciones como sellos rotativos, soportes de rodamientos y contrapesos resistentes a impactos.

#### 2.2.7 Resistencia a la radiación

Debido al alto número atómico (74) y la alta densidad del tungsteno, los anillos de aleación de tungsteno ofrecen una protección mucho mejor que el plomo contra rayos X y gamma. Se consideran materiales seguros y respetuosos con el medio ambiente en la protección médica, la industria nuclear y las estructuras de protección contra la radiación aeroespacial.

#### 2.2.8 Alta resistencia y rigidez

Los anillos de aleación de tungsteno suelen tener una resistencia a la tracción de 700-1200 MPa, un alto límite elástico y una plasticidad moderada, lo que les permite soportar cargas e impactos elevados sin presentar inestabilidad estructural. Esta resistencia se mantiene relativamente estable tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas, lo que los hace adecuados para componentes críticos sometidos a entornos de tensión complejos.

### 2.3 Propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno está directamente relacionado con su fiabilidad y vida útil en diversas aplicaciones industriales y de alta gama. Las propiedades mecánicas incluyen principalmente la resistencia a la tracción, el límite elástico, la tenacidad a la fractura, el módulo de elasticidad, la resistencia a la fatiga y la tenacidad al impacto. Estos indicadores de rendimiento reflejan la capacidad de deformación, la capacidad de carga y la resistencia al daño del anillo de aleación de tungsteno al ser sometido a fuerzas externas.

### 2.3.1 Resistencia a la tracción y límite elástico

la tracción de los anillos de aleación de tungsteno suele oscilar entre 700 y 1200 megapascales (MPa), dependiendo de la composición de la aleación, el proceso de preparación y el tratamiento térmico. Esta alta resistencia a la tracción permite que los anillos mantengan su integridad estructural bajo cargas elevadas sin romperse ni deformarse excesivamente. El límite elástico, ligeramente inferior a la resistencia a la tracción, suele oscilar entre 550 y 950 MPa y refleja el nivel de tensión al que el material entra en la fase de deformación plástica tras la deformación elástica. El alto límite elástico de los anillos de aleación de tungsteno garantiza que sean menos susceptibles a la deformación permanente bajo tensión, manteniendo su tamaño y forma precisos.

### 2.3.2 Tenacidad a la fractura

La tenacidad a la fractura es un indicador clave de la capacidad de un anillo de aleación de tungsteno para resistir la propagación de grietas y la fractura. Si bien son inherentemente frágiles debido a su alta densidad y dureza, los anillos de aleación de tungsteno pueden mejorarse significativamente mediante la microaleación, el refuerzo nanoestructural y la optimización del tratamiento térmico. La tenacidad a la fractura típica de los anillos de aleación de tungsteno oscila entre 10 y 25  $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0,5}$ . Esta tenacidad superior proporciona una gran resistencia a la fractura bajo cargas dinámicas e impacto, lo que reduce el riesgo de rotura por fractura.

### 2.3.3 Módulo elástico

Los anillos de aleación de tungsteno tienen un módulo elástico de aproximadamente 380 a 410 GPa, lo que demuestra su excepcional rigidez. Esto significa que experimentan una deformación elástica mínima al ser sometidos a tensión, lo que resulta en una excelente estabilidad dimensional y retención de forma, haciéndolos ideales para su uso en estructuras mecánicas de alta precisión y componentes acoplados complejos. Este alto módulo elástico ayuda a mejorar la velocidad de respuesta de la estructura y la resistencia a las vibraciones.

### 2.3.4 Resistencia a la fatiga

de los anillos de aleación de tungsteno bajo cargas cíclicas es crucial para su vida útil. Gracias a la optimización de procesos y al diseño de materiales, los anillos de aleación de tungsteno pueden presentar un alto límite de fatiga, típicamente entre el 40 % y el 60 % de su resistencia a la tracción. Esta excelente resistencia a la fatiga garantiza la estabilidad de los anillos de aleación de tungsteno en entornos con vibración mecánica, ciclos térmicos y cargas de choque, lo que previene fallas en los equipos debido a fracturas por fatiga.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 2.3.5 Tenacidad al impacto

La resistencia al impacto de los anillos de aleación de tungsteno está estrechamente relacionada con su tenacidad. Si bien los materiales a base de tungsteno son algo frágiles, un diseño de aleación adecuado y un tratamiento térmico adecuado pueden mejorar su capacidad para absorber la energía del impacto. La tenacidad al impacto de los anillos de aleación de tungsteno les permite mantener un alto grado de resistencia a la fractura al ser sometidos a cargas repentinas, impactos mecánicos y bombardeo de partículas de alta energía, lo que los hace adecuados para su uso como materiales estructurales de protección y amortiguación.

### 2.3.6 Comportamiento de fractura y modo de falla

Los anillos de aleación de tungsteno generalmente presentan fractura frágil, especialmente a bajas temperaturas y en zonas de alta concentración de tensiones. Para mejorar la tenacidad a la fractura, se suelen emplear ajustes en las proporciones de los elementos de aleación, procesos pulvimetalúrgicos optimizados y tratamientos térmicos multietapa para lograr un refinamiento uniforme de la microestructura y reducir las tensiones internas y las fuentes de defectos. Los modos de fallo incluyen principalmente la propagación de grietas, la coalescencia de microporos y la separación interfacial. Comprender estos mecanismos puede ayudar a mejorar el diseño de materiales y el control de procesos.

En resumen, los anillos de aleación de tungsteno poseen excelentes propiedades mecánicas. Poseen alta resistencia y rigidez, y mediante mejoras en los procesos, su tenacidad y resistencia a la fatiga se han mejorado considerablemente, haciéndolos adecuados para aplicaciones industriales complejas y exigentes. En el futuro, con el desarrollo de la nanotecnología, la microaleación y los procesos de fabricación inteligentes, las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno se mejorarán aún más.

## 2.4 Resistencia a la corrosión y a altas temperaturas del anillo de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en numerosos sectores industriales de alta gama y entornos extremos. Su resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas son indicadores clave de rendimiento que garantizan su funcionamiento estable y larga vida útil. Los anillos de aleación de tungsteno poseen una excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión química, a la vez que mantienen buenas propiedades mecánicas y estabilidad estructural a altas temperaturas, lo que los hace ampliamente utilizados en la energía nuclear, la industria aeroespacial, la militar y la química.

### 2.4.1 Resistencia a la corrosión del anillo de aleación de tungsteno

El tungsteno posee una estabilidad química extremadamente alta, mostrando una excepcional resistencia a la corrosión en diversos medios ácidos y alcalinos. El contenido de tungsteno en los anillos de aleación de tungsteno suele representar la mayor parte de la aleación, lo que proporciona la base para una excelente resistencia a la corrosión. La selección y proporción de metales aglutinantes, como el níquel y el hierro, influyen significativamente en la resistencia a la corrosión

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de la aleación. Un diseño adecuado de la aleación puede maximizar la resistencia general a la corrosión.

- **Resistencia a la oxidación** : Los anillos de aleación de tungsteno forman una película protectora densa y estable de óxido de tungsteno ( $WO_3$ ) en su superficie, tanto en el aire como en entornos oxidantes. Esta película previene eficazmente la oxidación y la corrosión, aumentando así la durabilidad del material. La capacidad autorreparadora de la película proporciona una protección antioxidante duradera, especialmente en entornos de baja y media temperatura.
- **Resistencia a la corrosión química** : Los anillos de aleación de tungsteno presentan una alta resistencia a la corrosión en la mayoría de las soluciones ácidas y alcalinas, manteniendo una tasa de corrosión particularmente baja en entornos fuertemente ácidos, como los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Esto los hace adecuados para su uso en las industrias química y nuclear, donde se imponen estrictos requisitos de protección contra la corrosión. Sin embargo, en ciertos entornos con sales de metales alcalinos fundidos a alta temperatura y oxidantes fuertes, la resistencia a la corrosión puede verse reducida, lo que requiere un recubrimiento superficial o un tratamiento especial para mejorar el nivel de protección.
- **Protección contra la corrosión localizada** : La baja porosidad y la estructura densa de los anillos de aleación de tungsteno previenen eficazmente la corrosión por picaduras y grietas. Los tratamientos superficiales, como la pulverización, el recubrimiento PVD y la pasivación química, mejoran aún más la resistencia a la corrosión, prolongando así su vida útil, especialmente en entornos marinos y con alta humedad.

#### 2.4.2 Resistencia a altas temperaturas del anillo de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno aún pueden mantener excelentes propiedades físicas y mecánicas en condiciones de alta temperatura y son un material importante para la fabricación de piezas estructurales y componentes funcionales de alta temperatura.

- **Alto punto de fusión y estabilidad térmica** : El punto de fusión del tungsteno alcanza los  $3422\text{ }^\circ\text{C}$ , superando con creces el de la mayoría de los metales, lo que hace que los anillos de aleación de tungsteno sean extremadamente resistentes a altas temperaturas. En entornos de alta temperatura, la microestructura del anillo se mantiene estable, lo que lo hace menos susceptible al crecimiento de grano y la degradación estructural, garantizando así las propiedades mecánicas del material a altas temperaturas.
- **Características de expansión térmica** : El coeficiente de expansión lineal del anillo de aleación de tungsteno es bajo, generalmente en el rango de  $4,5 \sim 5,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ , lo que garantiza su estabilidad dimensional en ciclos térmicos y entornos de alta fluctuación de temperatura, evitando la concentración de tensiones y daños estructurales causados por la expansión y contracción térmica.
- **Comportamiento de oxidación a alta temperatura** : Si bien la película de óxido formada en los anillos de aleación de tungsteno en entornos oxidantes de alta temperatura proporciona cierta protección, la velocidad de oxidación se acelera significativamente cuando la temperatura supera los  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , especialmente en atmósferas con alto contenido

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de oxígeno. Por esta razón, a menudo se requieren atmósferas protectoras, vacío o recubrimientos superficiales para inhibir el daño por oxidación en aplicaciones de alta temperatura.

- **Resistencia a la fatiga térmica y a la fluencia a alta temperatura** : Los anillos de aleación de tungsteno presentan una excelente resistencia a la fluencia en condiciones de tensión prolongada y alta temperatura, lo que retrasa la deformación plástica y la fractura. Mediante un diseño de aleación adecuado y la optimización del tratamiento térmico, su resistencia a la fatiga térmica puede prolongarse eficazmente para cumplir con los requisitos de servicio en entornos extremos, como motores de aeronaves y reactores nucleares.

### 2.4.3 Optimización coordinada de la resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas

En la práctica, los anillos de aleación de tungsteno suelen requerir una excelente resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas. Los siguientes métodos permiten lograr una mejora sinérgica de ambas:

- **Control de la composición de la aleación** : ajuste la proporción de elementos como tungsteno, níquel y hierro, agregue trazas de elementos de tierras raras o fases de fortalecimiento para mejorar la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación, al tiempo que mejora la resistencia general a la corrosión.
- **Modificación de la superficie** : El recubrimiento antioxidante de alta temperatura (como el recubrimiento cerámico), la pasivación química y la implantación de iones se utilizan para mejorar significativamente la resistencia a la corrosión de la superficie y la resistencia al calor de los anillos de aleación de tungsteno.
- **Tecnología de preparación avanzada** : utilice procesos de alta densificación como sinterización al vacío y prensado isostático en caliente para reducir la porosidad del material, inhibir la penetración de medios corrosivos y mejorar la estabilidad del tejido y la resistencia a altas temperaturas.

En resumen, los anillos de aleación de tungsteno, con su excepcional resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas, desempeñan un papel fundamental en la protección contra altas temperaturas, el blindaje nuclear, la industria aeroespacial y la química. Con el avance de la ciencia de los materiales y la tecnología de ingeniería de superficies, la resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas de los anillos de aleación de tungsteno se mejorará aún más para cumplir con los requisitos de aplicación más exigentes del futuro.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

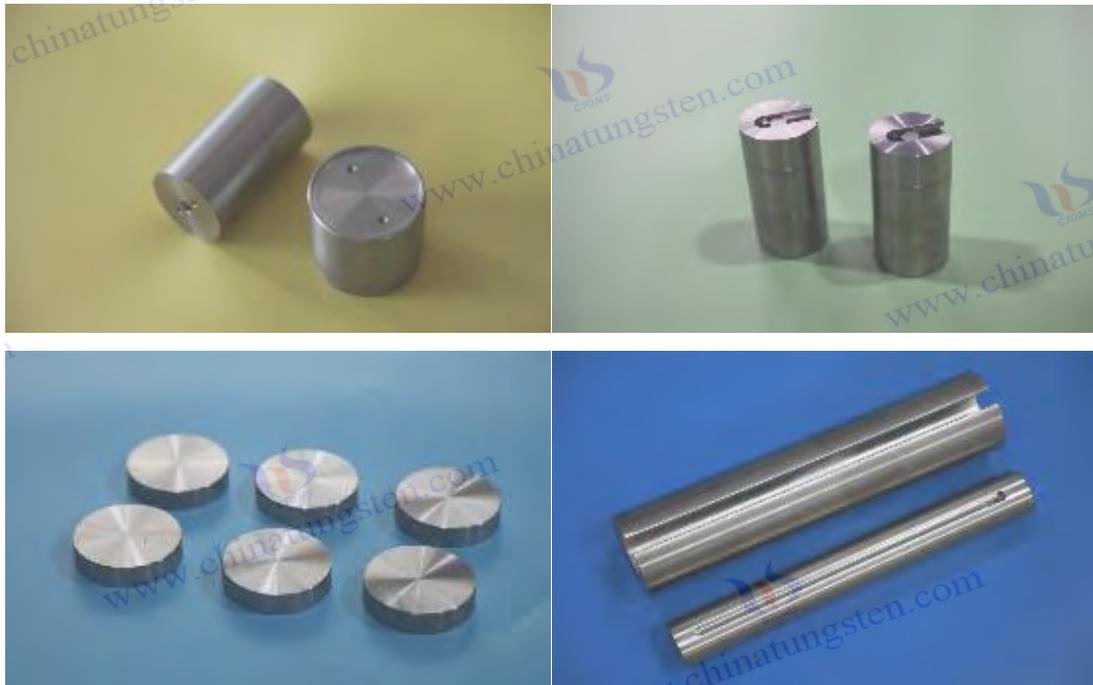
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



### Capítulo 3 Tecnología de preparación del anillo de aleación de tungsteno

#### 3.1 Preparación de materias primas para anillos de aleación de tungsteno y pulvimetalurgia básica

Los anillos de aleación de tungsteno son un paso clave para garantizar su excelente rendimiento y calidad estable. La preparación de la materia prima y el proceso de pulvimetalurgia son la base de todo el proceso de fabricación. El polvo de aleación de tungsteno de alta calidad y la tecnología pulvimetalúrgica científica y razonable influyen directamente en la densidad, la microestructura, las propiedades mecánicas y la calidad superficial de los anillos de aleación de tungsteno.

##### 3.1.1 Selección y preparación de materias primas para anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se componen principalmente de polvo de tungsteno de alta pureza y un aglutinante de aleación (generalmente polvos metálicos como níquel, hierro o cobre). La pureza, la distribución del tamaño de partícula, la morfología y la composición química de las materias primas influyen significativamente en el rendimiento del producto final.

- **Preparación del polvo de tungsteno** : El polvo de tungsteno es el componente principal de los anillos de aleación de tungsteno. Los métodos de preparación más comunes incluyen la reducción y la precipitación química. El método de reducción utiliza tungstato de sodio para producir polvo de tungsteno de tamaño uniforme, a menudo con partículas esféricas o

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

subesféricas, lo que facilita el prensado y la sinterización posteriores. La precipitación química puede producir polvo de tungsteno ultrafino, adecuado para la fabricación de anillos de aleación de tungsteno de alto rendimiento .

- **Polvo aglutinante de aleación** : El polvo de níquel y el polvo de hierro son los principales materiales aglutinantes y deben poseer alta pureza y una distribución uniforme del tamaño de partícula. El polvo de níquel proporciona excelentes propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, mientras que el polvo de hierro mejora la dureza y la resistencia de la aleación. El polvo de cobre se utiliza a menudo en aleaciones especializadas de tungsteno y cobre para mejorar la conductividad térmica.
- **Pretratamiento del polvo** : Los polvos de materia prima deben tamizarse, secarse y mezclarse antes de su uso para garantizar un tamaño de partícula uniforme y evitar la aglomeración y el exceso de humedad. El polvo de tungsteno y el polvo aglutinante también se mezclan uniformemente mediante métodos mecánicos, como el molino de bolas, para lograr una dispersión óptima y promover la densificación por sinterización.

### 3.1.2 Proceso básico de pulvimetalurgia

se basan principalmente en la tecnología de pulvimetalurgia, que incluye la mezcla de polvos, el moldeo, la sinterización, el prensado isostático en caliente y otros pasos. Estos pasos, en conjunto, determinan la microestructura y las macropropiedades de los anillos de aleación de tungsteno.

- **Mezcla de polvo** : El polvo de tungsteno se dispersa uniformemente con aglutinantes como níquel y hierro mediante molienda de bolas o mezclado mecánico. La uniformidad de la mezcla influye decisivamente en la densidad y el rendimiento del anillo de aleación de tungsteno. Debe evitarse la oxidación excesiva o la contaminación del polvo.
- **Proceso de moldeo** : El moldeo consiste en prensar un polvo mezclado uniformemente para obtener la forma deseada. Los métodos más comunes incluyen el moldeo por compresión y el prensado isostático. El moldeo por compresión es adecuado para anillos simples de aleación de tungsteno, mientras que el prensado isostático permite producir anillos con mayor densidad y formas complejas.
- **Sinterización: La sinterización es el paso más crítico en el proceso de pulvimetalurgia** . El calentamiento provoca la difusión y la unión entre las partículas de polvo para formar una estructura densa. Los anillos de aleación de tungsteno se suelen sinterizar al vacío a altas temperaturas, que alcanzan los 1400-1600 °C. Esto reduce eficazmente las impurezas y mejora la densidad y las propiedades mecánicas de la aleación.
- **Prensado isostático en caliente (HIP)** : Para mejorar la densificación y las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno, los anillos de aleación de tungsteno sinterizados suelen someterse a prensado isostático en caliente (HIP). El proceso HIP utiliza alta temperatura y alta presión para promover la densificación del material, eliminar la porosidad interna y los defectos, y mejorar la uniformidad y la resistencia del material.

### 3.1.3 Efecto de la pulvimetalurgia en las propiedades de los anillos de aleación de tungsteno

El proceso básico de la pulvimetalurgia tiene un profundo impacto en el rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno. Un diseño y control adecuados de los parámetros del proceso pueden

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mejorar significativamente el rendimiento integral del material.

- **Densidad y resistencia** : Los productos pulvimetalúrgicos de alta densidad presentan mayor resistencia mecánica y tenacidad. La temperatura de sinterización y el tiempo de mantenimiento deben controlarse con precisión para lograr el mejor efecto de densificación.
- **Uniformidad de la microestructura** : el proceso uniforme de mezcla y sinterización de polvo puede evitar la segregación de componentes y la desigualdad estructural, y reducir defectos como grietas y agujeros.
- **Calidad de la superficie y rendimiento del procesamiento** : el polvo de alta calidad y el proceso de moldeo razonable ayudan a obtener anillos de aleación de tungsteno con una superficie lisa y dimensiones estables, lo que es conveniente para el mecanizado y el tratamiento de la superficie posteriores.

En resumen, la preparación de la materia prima y el proceso de pulvimetalurgia de los anillos de aleación de tungsteno son fundamentales para garantizar su alto rendimiento y larga vida útil. Con el desarrollo de la tecnología de nanopulvos, equipos de moldeo avanzados y un control inteligente de procesos, la tecnología de preparación de los anillos de aleación de tungsteno seguirá optimizándose para satisfacer las necesidades de aplicaciones más complejas y exigentes.

### 3.2 Proceso de formación de anillos de aleación de tungsteno (moldeo, prensado isostático, etc.)

Los anillos de aleación de tungsteno son cruciales para determinar su forma final, precisión dimensional y densidad interna. La selección y optimización adecuadas de los métodos de conformado no solo influyen en las propiedades mecánicas y la vida útil del material, sino que también influyen directamente en la eficiencia de la producción y el control de costos. Actualmente, el moldeo por compresión y el prensado isostático son las dos técnicas de conformado más utilizadas para anillos de aleación de tungsteno.

#### 3.2.1 Proceso de moldeo por compresión

El moldeo por compresión es un método que utiliza un molde especial para comprimir polvo de aleación de tungsteno en una cavidad. El proceso incluye principalmente el llenado del polvo, el pre-prensado, el prensado final y el desmoldeo.

- **Llenado de polvo** : el polvo de aleación de tungsteno premezclado se carga en la cavidad del molde para garantizar que el polvo se distribuya uniformemente para evitar una densidad desigual del producto terminado.
- **Etapas de precompactación** : utilice una presión más baja para realizar una compactación preliminar sobre el polvo para mejorar la estabilidad del polvo y reducir los defectos de moldeo.
- **Etapas principales de prensado** : Aplicar mayor presión para compactar completamente el polvo. Normalmente, la presión puede alcanzar cientos de MPa para mejorar la densidad del material verde.
- **Desmoldeo** : Tras finalizar el prensado, el molde debe desmoldarse cuidadosamente para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

evitar grietas o deformaciones en la pieza bruta. La pieza bruta del anillo de aleación de tungsteno formada pasará al proceso de sinterización.

Las ventajas del moldeo por compresión son la inversión relativamente baja en equipos y los procesos operativos avanzados, lo que lo hace adecuado para producir anillos de aleación de tungsteno con estructuras simples y lotes grandes. Sin embargo, sus desventajas son que la presión de moldeo desigual puede generar gradientes de densidad, lo que afecta las propiedades mecánicas. Además, el moldeo de anillos con formas complejas o paredes delgadas es más difícil.

### 3.2.2 Proceso de prensado isostático

El prensado isostático en frío (CIP) es un método para compactar polvos dentro de un molde cerrado y flexible mediante la aplicación de una presión uniforme en todas las direcciones con un líquido o gas. El proceso incluye el embolsado del polvo, su colocación en una prensa isostática, la presurización y el desempaqueado.

- **Embolsado de polvo** : coloque el polvo de aleación de tungsteno mezclado de manera uniforme en una bolsa flexible de goma o plástico, asegurándose de que no queden burbujas y que el polvo fluya en la bolsa.
- **Prensado isostático** : El polvo embolsado se coloca en una cámara de prensado isostático y se utiliza un sistema hidráulico para aplicarle presión uniformemente. El rango de presión generalmente es de 100 a 400 MPa.
- **Desembolsado** : después de la presurización y el moldeo, se retira la bolsa flexible y el cuerpo verde formado tiene **una** alta densidad y una densidad uniforme.

La principal ventaja del prensado isostático reside en la presión de conformado uniforme, que produce un tocho de alta densidad con una distribución uniforme de la densidad. Este proceso es especialmente adecuado para anillos de aleación de tungsteno con formas complejas y grandes variaciones de espesor de pared. Además, reduce eficazmente los defectos de conformado, mejorando la eficiencia de la sinterización y el mecanizado posteriores, y la calidad del producto final.

### Efecto de los parámetros del proceso de conformado en las propiedades de los anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se ven afectados por muchos parámetros:

- **Presión de moldeo** : Cuanto mayor sea la presión, mayor será la densidad del cuerpo verde, pero una presión demasiado alta puede provocar daños en el molde y un flujo de polvo deficiente.
- **Tamaño y distribución de partículas de polvo** : El polvo fino y distribuido uniformemente ayuda a lograr un moldeo denso y a reducir los poros y las grietas.
- **Diseño del molde** : La estructura razonable del molde y el diseño de descarga de polvo garantizan un llenado uniforme del polvo, evitando la concentración de tensión y el gradiente de densidad.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Velocidad de moldeo** : una velocidad de prensado demasiado rápida durante el proceso de moldeo puede provocar aglomeración de polvo y grietas, por lo que la velocidad de prensado debe controlarse razonablemente.

### 3.2.4 Otras tecnologías auxiliares de conformado

- **en caliente** : Un método de formación que combina calentamiento y presión para promover la difusión y la unión entre partículas de polvo, mejorando así la densidad y las propiedades mecánicas del cuerpo verde.
- **Conformado por laminación** : El polvo de aleación de tungsteno se forma utilizando equipos de laminación, que son adecuados para fabricar productos tubulares o con forma de anillo.
- **Moldeo por inyección (MIM)** : la tecnología de moldeo por inyección de metal combinada con el proceso de moldeo por inyección de plástico es adecuada para la producción en lotes de alta precisión de anillos de aleación de tungsteno de formas complejas, pero tiene altos requisitos de equipos y procesos.

## 3.3 Tecnología de sinterización de anillos de aleación de tungsteno

La sinterización de anillos de aleación de tungsteno es un paso crucial para lograr la densificación del polvo, mejorar las propiedades mecánicas y la integridad estructural. Durante el proceso de sinterización, el tungsteno y sus polvos de aleación se someten a altas temperaturas, lo que provoca la unión por difusión entre las partículas y forma una matriz metálica continua y densa que confiere a los anillos de aleación de tungsteno una excelente resistencia, dureza y resistencia al desgaste. Un proceso de sinterización de alta calidad no solo influye en la microestructura y la estabilidad del rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno, sino que también determina la vida útil y la fiabilidad del producto final.

### 3.3.1 Principios básicos del proceso de sinterización

La sinterización es un proceso de tratamiento térmico que permite que las partículas de polvo se difundan y se unan entre sí a temperaturas inferiores al punto de fusión del material, formando un cuerpo resistente y denso. Los anillos de aleación de tungsteno se sinterizan típicamente mediante sinterización en fase sólida, que implica la unión de partículas de polvo a altas temperaturas mediante difusión en estado sólido y reacciones físicas y químicas entre partículas. Este proceso incluye etapas como la activación de la superficie de las partículas, la formación de cuellos, el crecimiento de partículas y el cierre de poros.

El elevado punto de fusión del tungsteno (aproximadamente 3422 °C) requiere temperaturas de sinterización superiores a 1800 °C, con un rango típico de 1500 °C a 1800 °C. La temperatura específica depende de la composición de la aleación y de los requisitos de rendimiento deseados. Parámetros como la temperatura de sinterización, el tiempo y la atmósfera influyen decisivamente en la densidad y la microestructura.

### 3.3.2 Métodos comunes de sinterización

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **La sinterización al vacío**  
utiliza un entorno de alto vacío para evitar la oxidación y la contaminación por gases contaminantes, lo que ayuda a mantener la pureza del material y a reducir los defectos superficiales. La sinterización al vacío puede mejorar la densidad y las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno y es una técnica de sinterización comúnmente utilizada en la producción industrial.
- **La sinterización en atmósfera reductora de hidrógeno**  
aprovecha las propiedades reductoras de esta atmósfera para eliminar la capa de óxido de la superficie del polvo, promover la unión por difusión entre partículas, reducir la temperatura de sinterización y mejorar la estructura y las propiedades de la aleación. Sin embargo, la pureza y el caudal del hidrógeno deben controlarse estrictamente para evitar fenómenos adversos como la fragilización por hidrógeno.
- **La sinterización en atmósfera inerte**  
utiliza gases inertes como el argón y el nitrógeno para proteger el entorno de sinterización, prevenir la oxidación y mejorar la calidad superficial de la aleación. Es adecuada para anillos de aleaciones de tungsteno complejas con altos requisitos de atmósfera.
- **El prensado isostático en caliente (HIP)**  
combina la sinterización a alta temperatura y presión isostática para promover el cierre de poros y la homogeneización microestructural mediante la aplicación de presión, mejorando significativamente la densidad y las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno. La tecnología HIP es idónea para la fabricación de anillos de aleación de tungsteno de alto rendimiento y alta fiabilidad.

### **Efecto de los parámetros del proceso de sinterización en las propiedades de los anillos de aleación de tungsteno**

- **Control de temperatura:**  
Si la temperatura es demasiado baja, la difusión es insuficiente, lo que resulta en una reducción de la densidad y la resistencia; si es demasiado alta, se produce fácilmente el engrosamiento del grano, lo que reduce la tenacidad y la resistencia al desgaste. Un control adecuado de la temperatura es fundamental para garantizar la calidad de la sinterización.
- **Un tiempo de retención**  
garantiza una difusión suficiente entre las partículas y el cierre de los poros, pero un tiempo de retención demasiado prolongado puede provocar el crecimiento del grano y la degradación estructural.
- **Tasas de calentamiento y enfriamiento**  
Una tasa de calentamiento adecuada puede reducir el estrés térmico y la deformación y evitar el agrietamiento de la pieza en bruto; la tasa de enfriamiento afecta la estabilidad estructural y la liberación de tensión interna.
- **Selección de atmósfera y pureza**  
: La protección de la atmósfera adecuada evita la oxidación y la decarburación, y mantiene la pureza del material y la calidad de la superficie.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### 3.3.4 Defectos de sinterización y control de calidad

Los defectos comunes de sinterización incluyen porosidad, grietas, inclusiones y falta de homogeneidad del grano. Estos defectos pueden reducir las propiedades mecánicas y la durabilidad de los anillos de aleación de tungsteno. Mediante la optimización de la calidad del polvo, el control estricto de los parámetros de sinterización y la adopción de tecnologías auxiliares (como la sinterización HIP y el prensado en caliente), se pueden reducir eficazmente los defectos y mejorar la consistencia del producto.

## 3.4 Mecanizado de precisión de anillos de aleación de tungsteno

La fabricación de anillos de aleación de tungsteno es un paso crucial para transformar piezas brutas de aleación de tungsteno sinterizadas en formas y tamaños acabados que cumplen con los requisitos de diseño. Debido a la alta densidad, dureza, punto de fusión y baja plasticidad de los materiales de aleación de tungsteno, su mecanizado es complejo y requiere técnicas de mecanizado especializadas y parámetros de proceso para garantizar la calidad, mejorar la eficiencia de la producción y prolongar la vida útil de la herramienta.

### 3.4.1 Desafíos en el mecanizado de anillos de aleación de tungsteno

- Los anillos de aleación de tungsteno presentan una **alta** dureza tras la sinterización, lo que puede provocar fácilmente el desgaste y la rotura de las herramientas. Además, el material es muy frágil, lo que puede causar fácilmente grietas y colapso de los bordes durante el procesamiento. Se deben evitar fuerzas de corte excesivas y tensiones térmicas.
- **La alta densidad implica una alta carga de mecanizado**  
. La alta densidad de la aleación de tungsteno (generalmente 17-19 g/cm<sup>3</sup>) aumenta la carga de corte, por lo que los equipos y herramientas de procesamiento deben ser altamente rígidos y duraderos.
- **Baja conductividad térmica y fácil acumulación de calor**  
. La aleación de tungsteno tiene baja conductividad térmica. El calor generado durante el procesamiento es difícil de disipar rápidamente, lo que puede provocar fácilmente un sobrecalentamiento de la superficie de la pieza y la herramienta, causando deformaciones durante el procesamiento y un deterioro de la calidad de la superficie.

### 3.4.2 Principales procesos de mecanizado de anillos de aleación de tungsteno

- **El desbaste y el acabado**  
suelen realizarse primero para eliminar la mayor parte del exceso de material, seguidos del acabado para lograr la precisión dimensional y el acabado superficial requeridos. El desbaste utiliza parámetros de corte más amplios para garantizar la eficiencia, mientras que el acabado requiere un ajuste fino de los parámetros para reducir las fuerzas de corte y los efectos térmicos.
- **El torneado**  
es un método común en el procesamiento de anillos de aleación de tungsteno y es adecuado

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para el mecanizado de círculos internos y externos. Se utilizan herramientas de carburo o de diamante en combinación con fluidos refrigerantes y lubricantes, y se controlan la velocidad de corte y el avance para obtener una calidad superficial y una precisión dimensional óptimas.

- **El rectificado**

se utiliza para el dimensionamiento de alta precisión y el tratamiento superficial de anillos de aleación de tungsteno. Es especialmente adecuado para superficies curvas complejas y dimensiones pequeñas que son difíciles de mecanizar. Las muelas de diamante se utilizan a menudo como herramientas de rectificado, combinadas con sistemas de refrigeración eficientes para evitar el sobrecalentamiento de la pieza de trabajo.

- **El mecanizado por descarga (EDM)**

es adecuado para anillos de aleación de tungsteno con formas complejas y zonas difíciles de mecanizar. Permite lograr alta precisión y una buena calidad superficial, y es menos dependiente de la dureza del material. Sin embargo, su velocidad de procesamiento es lenta, lo que lo hace adecuado como tecnología de procesamiento auxiliar.

- **El pulido**

es un proceso importante para mejorar el acabado superficial de los anillos de aleación de tungsteno. Se utiliza a menudo para mejorar la resistencia a la corrosión y la apariencia de la superficie. Se pueden aplicar técnicas de pulido mecánico, químico y electrolítico. El método adecuado se selecciona en función de los requisitos de la pieza de trabajo.

### 3.4.3 Parámetros clave de procesamiento y optimización del proceso

- **La velocidad de corte**

generalmente se controla a una velocidad de corte más baja dentro del rango de 30~100 m/min para reducir el desgaste de la herramienta y la temperatura de la pieza de trabajo.

- **Avance y profundidad de corte.**

El avance debe ser moderado para evitar una fuerza de corte excesiva. La profundidad de corte suele ser baja para garantizar la calidad superficial y la estabilidad dimensional de la pieza.

- **enfriamiento y**

lubricación, se utiliza una gran cantidad de refrigerante o gas de enfriamiento para mejorar la eficiencia de disipación de calor, reducir el estrés térmico y el desgaste de la herramienta y extender la vida útil de la herramienta.

- **La selección del material de la herramienta**

utiliza principalmente herramientas de diamante, herramientas de nitruro de boro cúbico (CBN) o herramientas de carburo, teniendo en cuenta tanto la dureza como la tenacidad para garantizar el efecto de corte.

### 3.4.4 Control de calidad e inspección de procesamiento

- **Las pruebas de precisión dimensional**

utilizan equipos de medición de alta precisión, como máquinas de medición de tres coordenadas (CMM), medidores de diámetro interno y micrómetros de diámetro externo,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para garantizar que las dimensiones y la coaxialidad cumplan con los requisitos de diseño.

- **La inspección de la calidad de la superficie**  
utiliza un medidor de rugosidad de superficie y un microscopio para detectar la textura y los defectos de la superficie para garantizar que la superficie procesada esté libre de grietas y astillas y logre la suavidad requerida.
- **La detección de defectos internos**  
combina tecnología de pruebas no destructivas (ultrasonicas, rayos X, etc.) para detectar nuevas grietas o defectos internos durante el proceso de procesamiento para garantizar la integridad estructural.

### 3.5 Tecnología de tratamiento de superficies y mejora del rendimiento de anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, resistencia y resistencia a altas temperaturas, se utilizan ampliamente en las industrias aeroespacial, militar, de energía nuclear y de maquinaria de alta gama. Para mejorar aún más el rendimiento general de los anillos de aleación de tungsteno, especialmente su resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la vida útil, la tecnología de tratamiento de superficies se ha convertido en un paso clave. Mediante procesos adecuados de modificación de superficies, no solo se puede mejorar la calidad superficial de los anillos de aleación de tungsteno, sino también sus propiedades mecánicas y su adaptabilidad ambiental.

#### 3.5.1 Objetivos principales del tratamiento de la superficie del anillo de aleación de tungsteno

- **Mayor resistencia al desgaste:**  
Los anillos de aleación de tungsteno están sujetos a un desgaste superficial severo en entornos de alta fricción e impacto. El uso de tecnología de recubrimiento duro o endurecimiento superficial puede prolongar eficazmente su vida útil.
- **Mayor resistencia a la corrosión.**  
En entornos nucleares y químicos, los anillos de aleación de tungsteno pueden dañarse por oxidación, corrosión o radiación. La capa protectora superficial puede formar una barrera protectora estable que evita que el material base se dañe.
- **Mejore la rugosidad de la superficie y la estabilidad dimensional**  
mediante pulido, rectificado y otros procesos para lograr un mayor acabado de la superficie, reducir el coeficiente de fricción, mejorar el rendimiento del sellado y la precisión del ensamblaje.
- **Mejora la adhesión y la resistencia de unión de la interfaz.**  
El pretratamiento de la superficie fortalece la unión entre el recubrimiento y el sustrato, evitando que el recubrimiento se desprenda o se agriete.

#### 3.5.2 Tecnología típica de tratamiento de superficies de anillos de aleación de tungsteno

- **El pulido y el rectificado mecánicos**  
eliminan óxidos e imperfecciones superficiales mediante métodos mecánicos como el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rectificado y el pulido con muela abrasiva para crear una superficie uniforme y lisa. Son adecuados para mejorar la rugosidad de la superficie y prepararla para el procesamiento posterior.

- **El pulido y decapado químico**  
utiliza reactivos químicos específicos para eliminar óxidos e impurezas de la superficie, formando una capa superficial uniforme y densa a la vez que mejora la limpieza de la superficie.
- **Tecnología de galvanoplastia:**  
Los anillos de aleación de tungsteno suelen recubrirse con metales como níquel y cromo galvanizado para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión. Controlar el espesor y la uniformidad del recubrimiento es crucial para garantizar que las tolerancias dimensionales no se vean afectadas.
- **La deposición física de vapor (PVD) y la deposición química de vapor (CVD)**  
utilizan tecnología de deposición por evaporación o reacción química en un entorno de vacío para formar un recubrimiento cerámico duro (como TiN , CrN , TiC , etc.) en la superficie de los anillos de aleación de tungsteno, mejorando significativamente la dureza de la superficie y la resistencia al desgaste.
- **El revestimiento de superficie y la modificación de fusión por láser**  
utilizan un rayo láser de alta energía para revestir localmente o solidificar rápidamente la superficie del anillo de aleación de tungsteno para formar una capa densa resistente al desgaste, mejorando así la resistencia de unión de la superficie y la resistencia a la corrosión.
- **La pulverización de plasma**  
utiliza plasma de alta temperatura para pulverizar polvo metálico o cerámico para preparar recubrimientos funcionales, logrando múltiples mejoras de rendimiento en resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y resistencia al desgaste.

### 3.5.3 Mecanismo de mejora del rendimiento de la tecnología de mejora de superficies

- **Mejora de la dureza:**  
a través de un recubrimiento duro o una aleación de superficie, se puede mejorar significativamente la dureza de la superficie de los anillos de aleación de tungsteno, mejorando así la resistencia al rayado y la resistencia a la fatiga.
- **El revestimiento de barrera resistente a la corrosión**  
forma una película protectora densa y estable que aísla el oxígeno, la humedad y los medios corrosivos y retrasa la corrosión del sustrato.
- **El efecto antifricción**  
optimiza la rugosidad de la superficie y el coeficiente de fricción del revestimiento, reduce la fricción y el desgaste entre las partes móviles y mejora la eficiencia mecánica.
- **Estabilidad térmica mejorada:**  
a través del revestimiento resistente al desgaste de alta temperatura y la modificación de la superficie, se mejoran la estabilidad y la vida útil de los anillos de aleación de tungsteno en entornos de alta temperatura.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.5.4 Control del proceso de tratamiento de superficies e inspección de calidad

- **La optimización de los parámetros del proceso**  
incluye la selección del material de recubrimiento, la temperatura de deposición, la presión, el tiempo y el proceso de posprocesamiento para garantizar que la uniformidad del recubrimiento, la adhesión y las propiedades físicas y químicas cumplan con los requisitos.
- **La prueba de rugosidad de la superficie**  
utiliza equipos como un medidor de rugosidad y un microscopio electrónico de barrido (SEM) para evaluar la planitud y los defectos de la superficie.
- **Las pruebas de espesor y adhesión del recubrimiento**  
garantizan la calidad del recubrimiento mediante análisis de microsecciones, pruebas de rayado y pruebas de adhesión a la tracción.
- **Las pruebas de resistencia al desgaste y a la corrosión**  
utilizan máquinas de prueba de fricción y desgaste, pruebas de niebla salina, etc. para simular las condiciones de trabajo reales y verificar el efecto del tratamiento de la superficie.

### 3.5.5 Tendencias futuras del desarrollo

- **La tecnología de tratamiento de superficies ecológica y respetuosa con el medio ambiente**  
adopta un proceso de tratamiento de superficies inocuo con baja contaminación y bajo consumo de energía, que cumple con las normas de protección ambiental.
- **Los procesos inteligentes y precisos**  
utilizan el control digital y el monitoreo en línea para lograr una optimización inteligente y una trazabilidad de la calidad de los procesos de tratamiento de superficies.
- **La tecnología de recubrimiento de gradiente funcional**  
logra un cambio gradual en el rendimiento del recubrimiento desde el sustrato hasta la superficie, teniendo en cuenta tanto la fuerza de unión como la funcionalidad de la superficie.
- **El desarrollo de nano-recubrimientos compuestos**  
combina múltiples nanomateriales para preparar recubrimientos compuestos de alto rendimiento para satisfacer requisitos de servicio más exigentes.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Capítulo 4 Métodos de inspección de calidad y caracterización de anillos de aleación de tungsteno

### 4.1 Prueba de precisión dimensional y geométrica de anillos de aleación de tungsteno

Como componentes estructurales y funcionales de alto rendimiento, un control estricto de la precisión dimensional y geométrica es fundamental para garantizar que los anillos de aleación de tungsteno cumplan con los requisitos de diseño y mantengan un rendimiento estable en aplicaciones prácticas. Debido a la alta densidad, la alta dureza y las características de procesamiento complejo de la aleación de tungsteno, una inspección dimensional y geométrica precisa es crucial para la optimización de procesos y el control de calidad.

#### 4.1.1 Importancia de la inspección dimensional

- **de aleación**  
de tungsteno se utilizan frecuentemente en maquinaria de alta gama, energía nuclear y sectores aeroespaciales. La precisión de los diámetros interior y exterior, así como el grosor y la anchura del anillo, influyen directamente en la precisión del montaje y la seguridad operativa.
- **Control de errores de fabricación y deformaciones.**  
La aleación de tungsteno es propensa a tensiones y deformaciones durante el procesamiento. La inspección dimensional ayuda a detectar y corregir desviaciones a tiempo, previniendo problemas de calidad en procesos posteriores.
- **Mejore la consistencia y la estabilidad del producto**  
A través de pruebas dimensionales estandarizadas, logre una calidad de producto

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

controlable y consistente en la producción en masa.

#### 4.1.2 Contenido de la prueba de precisión geométrica

- **Los diámetros interior y exterior**

del anillo de aleación de tungsteno se miden utilizando un calibre de diámetro interno de alta precisión, un micrómetro externo o una máquina de medición de coordenadas (CMM) para garantizar que las dimensiones cumplan con las tolerancias de diseño.

- **La uniformidad del espesor de pared**

mide el espesor de la pared del anillo para garantizar que el espesor de la pared se distribuya uniformemente dentro del rango de diseño, evitando así una resistencia insuficiente o una concentración de tensión causada por un espesor desigual local.

- **La prueba de redondez y concentricidad**

utiliza un medidor de redondez y una máquina de medición de coordenadas tridimensionales para evaluar la redondez y la concentricidad de los diámetros interno y externo del anillo de aleación de tungsteno para garantizar la precisión circular y la estabilidad estructural del anillo.

- **La prueba de planitud y perpendicularidad de la cara del extremo**

verifica si las dos caras del extremo del anillo son paralelas y si la perpendicularidad entre la cara del extremo y el eje del cuerpo del anillo cumple con los requisitos para garantizar el rendimiento de instalación y sellado.

#### 4.1.3 Principales equipos y tecnologías de prueba

- **La máquina de medición de coordenadas tridimensionales (MMT) permite realizar mediciones de alta precisión de toda la gama de dimensiones y formas geométricas**

de anillos de aleación de tungsteno mediante la medición de coordenadas tridimensionales. Los datos se pueden almacenar digitalmente para facilitar el seguimiento de la calidad.

- **Los perfilómetros ópticos y los escáneres láser**

utilizan tecnología de medición sin contacto para obtener el perfil de la superficie y la morfología de los anillos de aleación de tungsteno, que son adecuados para medir superficies complejas y pequeñas deformaciones.

- **Los calibres de diámetro interior y los micrómetros de diámetro exterior son**

herramientas de medición de precisión tradicionales, ideales para la detección rutinaria de tamaños. Son fáciles de usar y adecuados para una inspección rápida en el taller.

- **Los probadores de redondez y los instrumentos de medición de forma**

se utilizan especialmente para probar la redondez, la concentricidad y la planitud para garantizar la precisión geométrica de los anillos de aleación de tungsteno.

#### 4.1.4 Proceso de prueba y control de calidad

1. **Preparación de la pieza de trabajo**

: Limpie la superficie del anillo de aleación de tungsteno para eliminar el aceite y las impurezas para evitar afectar la precisión de la medición.

2. **Diseño del plan de medición:**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desarrollar planes de inspección basados en dibujos de diseño y determinar las dimensiones clave y los requisitos de tolerancia.

3. **Recopilación de datos**

Utilice equipo de medición apropiado para medir dimensiones y geometría y recopilar datos detallados.

4. **Análisis y juicio de datos:**

Se realiza un análisis estadístico de los resultados de la medición para determinar si cumplen con las especificaciones de diseño y proceso.

5. **Retroalimentación y ajuste de calidad:**

retroalimentación de la línea de producción en función de los resultados de las pruebas para ajustar los parámetros de procesamiento y optimizar el proceso de fabricación.

#### 4.1.5 Problemas comunes y soluciones

- **La desviación dimensional causada por la deformación del procesamiento**

se resuelve adoptando un soporte de fijación razonable y un procesamiento paso a paso para reducir la tensión del procesamiento.

- **Fuentes de error de medición**

Asegúrese de que la temperatura del entorno de medición sea estable, calibre el equipo de medición y seleccione un método de medición apropiado.

- **La rugosidad de la superficie afecta la precisión de la medición**

. Mejore la precisión de la medición puliendo y limpiando la superficie.

#### 4.2 Método de análisis de la composición del anillo de aleación de tungsteno

determinan directamente sus propiedades físicas y mecánicas clave, así como su resistencia a la corrosión. Por lo tanto, un análisis de composición preciso y exhaustivo es crucial para garantizar una calidad estable y un rendimiento excelente. Este artículo presenta sistemáticamente las técnicas de análisis de composición más utilizadas para anillos de aleación de tungsteno y sus características de aplicación.

##### 4.2.1 Importancia del análisis de ingredientes

- **Asegúrese de la precisión de la fórmula. El rendimiento de**

los anillos de aleación de tungsteno depende de una proporción adecuada de tungsteno (W), níquel (Ni), hierro (Fe) y otros elementos. Un análisis preciso de la composición ayuda a verificar la correcta aplicación de la fórmula de la aleación.

- **Control de impurezas:**

Un contenido excesivo de elementos como el oxígeno (O), el carbono (C), el azufre (S), etc., afectará gravemente la densidad y las propiedades mecánicas del material. El análisis de composición ayuda a detectar y controlar los niveles de impurezas.

- **Guiar la optimización del proceso**

a través del análisis de cambios de composición para guiar el ajuste de los parámetros del proceso, como la preparación del polvo, la sinterización y el tratamiento térmico, para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

lograr una mejora del rendimiento.

#### 4.2.2 Técnicas de análisis de composición comúnmente utilizadas

##### 1. Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)

- **Principio:**

Después de que se disuelve la muestra, se utiliza el plasma para excitar los elementos para que emitan espectros característicos, y el contenido de elementos se determina analizando la intensidad espectral.

- **Ventajas:**

Alta sensibilidad de detección, capaz de determinar múltiples elementos simultáneamente, especialmente adecuado para análisis precisos de trazas de impurezas y elementos principales.

- **Aplicación:**

Adecuado para la detección cuantitativa de tungsteno, níquel, hierro y elementos de impurezas en anillos de aleación de tungsteno, ampliamente utilizado en control de calidad y verificación de fórmulas.

##### 2. Espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF)

- **Principio:**

Se utilizan rayos X para excitar la muestra y se mide la intensidad de los rayos X fluorescentes característicos emitidos por los elementos para determinar el tipo y el contenido de los elementos.

- **Ventajas**

: No es necesario disolver la muestra, detección rápida, adecuado para análisis no destructivo de muestras sólidas.

- **Aplicación:**

Se utiliza para detectar rápidamente los principales elementos de aleación y su contenido aproximado en anillos de aleación de tungsteno, adecuado para análisis rápido en sitio o en líneas de producción.

##### 3. Analizador de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno (ONH)

- **Principio:**

Se utiliza el método de combustión o pirólisis a alta temperatura para medir el contenido de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno en la muestra.

- **Ventajas:**

Puede determinar con precisión elementos de impurezas difíciles de controlar y garantizar la pureza y el rendimiento estable de la aleación.

- **Aplicación**

: Detecta el contenido de oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y otras impurezas en anillos de aleación de tungsteno para evitar que el rendimiento del material se reduzca debido a las impurezas.

##### 4. Microanálisis con sonda electrónica (EPMA)

- **Principio:**

La muestra se excita con un haz de electrones y se analizan los rayos X característicos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

emitidos para obtener la información sobre la distribución y el contenido de elementos en el área micro.

- **Ventajas:**  
Alta resolución espacial, capaz de detectar composición local y distribución desigual de elementos.
- **Aplicación:**  
Se utiliza para estudiar la distribución microscópica de elementos de aleación y el grado de aleación en anillos de aleación de tungsteno.

## 5. Espectrometría de masas (como ICP-MS)

- **Principio:**  
Al ionizar los elementos de muestra y medir la masa de iones, el contenido de elementos se analiza cuantitativamente con una sensibilidad extremadamente alta.
- **Ventajas**  
: Detecta elementos en concentraciones extremadamente bajas y es adecuado para el análisis de trazas de impurezas.
- **Aplicación:**  
Se utiliza para la detección de oligoelementos en anillos de aleación de tungsteno de alta pureza para garantizar la pureza del material.

### 4.2.3 Proceso de análisis de componentes

1. **Preparación de la muestra**  
De acuerdo con los requisitos del método de prueba, las muestras de anillo de aleación de tungsteno se tratan previamente cortándolas, moliéndolas, disolviéndolas o triturándolas para garantizar que la muestra sea uniforme y cumpla con los estándares de análisis.
2. **La calibración del instrumento**  
utiliza muestras estándar o soluciones de calibración para calibrar el instrumento y garantizar resultados de prueba precisos y confiables.
3. **Recopilación de datos**  
Recopilar datos cuantitativos o cualitativos de los elementos de acuerdo con los procedimientos de prueba estándar.
4. **El procesamiento de datos y el análisis de resultados**  
se utilizan para corregir y calcular los datos recopilados y evaluar si la composición cumple con las especificaciones según los requisitos de diseño de la aleación.
5. **Generación de informes y retroalimentación de calidad**  
Genere informes de pruebas detallados como base para los ajustes de producción y el control de calidad.

### 4.2.4 Desafíos y consideraciones del análisis de ingredientes

- **Representatividad de la muestra:**  
dado que la composición del material de los anillos de aleación de tungsteno puede tener diferencias locales, se requiere un muestreo de múltiples puntos para garantizar la representatividad de los resultados del análisis.
- **Límite de detección y sensibilidad**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

: se requieren instrumentos de alta sensibilidad para la detección de trazas de impurezas para evitar la desviación de los datos.

- **El impacto de la preparación de la muestra en los resultados**

La disolución incompleta o la contaminación de las muestras afectará la precisión de los resultados, y el proceso de preparación debe controlarse estrictamente.

#### 4.3 Prueba de propiedades mecánicas del anillo de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno están directamente relacionados con su fiabilidad y vida útil en diversos entornos hostiles y de alta intensidad. Por lo tanto, realizar pruebas sistemáticas y exhaustivas de sus propiedades mecánicas es fundamental para evaluar su calidad y rendimiento. Esta sección se centra en los elementos, métodos y normas de prueba de propiedades mecánicas más comunes para anillos de aleación de tungsteno.

##### 4.3.1 Importancia de las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan habitualmente en las industrias nuclear, militar, aeroespacial y de fabricación de maquinaria de alta gama. Estas aplicaciones exigen requisitos muy exigentes en cuanto a las propiedades mecánicas de los materiales, como resistencia, tenacidad, dureza, etc. Mediante pruebas de propiedades mecánicas, se puede:

- Confirmar si el anillo de aleación de tungsteno cumple con las condiciones de diseño;
- Comprender el comportamiento de deformación y fractura de los materiales en diferentes entornos;
- Guiar la optimización del proceso de preparación de materiales y mejorar el rendimiento integral;
- Garantizar la seguridad y estabilidad del producto.

##### 4.3.2 Principales elementos de ensayo de propiedades mecánicas

###### 1. La resistencia a la tracción

mide la capacidad máxima de soporte de un material bajo carga de tracción, lo que refleja la capacidad del anillo de aleación de tungsteno para resistir la rotura.

- Método de prueba: Utilice una máquina de prueba de tracción estándar de acuerdo con ASTM E8 o GB/T 228 y otras especificaciones.
- Preparación de muestras: De acuerdo con las características de la estructura anular, a menudo se utilizan muestras dobladas y estiradas o segmentos de anillos de corte para preparar muestras.

###### 2. El límite elástico

indica el valor de tensión a partir del cual un material comienza a experimentar deformación plástica. Es un indicador clave para el cálculo del margen de seguridad de diseño.

- La norma de prueba es la misma que la de resistencia a la tracción y está determinada por el punto de rendimiento en la curva de tracción.

###### 3. La tenacidad a la fractura

mide la capacidad de los anillos de aleación de tungsteno para resistir la propagación de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

grietas y refleja la tenacidad y el comportamiento a la fractura del material.

- Método de prueba: La prueba de tenacidad a la fractura se realiza utilizando muestras de tensión compacta o flexión de tres puntos de acuerdo con ASTM E399.
- Aplicación: Especialmente adecuado para evaluar el rendimiento de seguridad de los anillos de aleación de tungsteno en presencia de impacto o grietas.

#### 4. La dureza

caracteriza la capacidad de la superficie de un material para resistir la deformación plástica y comúnmente se prueba utilizando la dureza Rockwell (HR), la dureza Vickers (HV) o la dureza Brinell (HB).

- Equipo de ensayo: durómetro o microdurómetro.
- Los anillos de aleación con alta dureza suelen tener una excelente resistencia al desgaste y al rayado.

#### 5. La tenacidad al impacto

prueba la capacidad del material para absorber energía bajo carga de impacto y evalúa la resistencia del material al daño por impacto.

- Norma de prueba: Se utiliza la prueba de impacto Charpy (ASTM E23) y se deben diseñar muestras adecuadas especialmente.

#### 6. La resistencia a la fatiga

evalúa la durabilidad de los anillos de aleación de tungsteno bajo cargas cíclicas repetidas.

- Método de prueba: Utilice una máquina de prueba de fatiga para realizar pruebas de fatiga por flexión rotacional o por tensión y compresión.
- Anillos de aleación utilizados en entornos de vibración o carga alterna.

### 4.3.3 Proceso de prueba de propiedades mecánicas

#### 1. Preparación de la muestra: Debido a su forma especial,

los anillos de aleación de tungsteno deben cortarse o procesarse en muestras de tamaño estándar de acuerdo con los elementos de prueba para garantizar la validez y comparabilidad de los resultados de la prueba.

#### 2. La calibración de equipos y el control de condición

utilizan equipos de prueba que cumplen con los estándares y realizan pruebas a temperatura ambiente o a una temperatura especificada para evitar que los factores ambientales afecten los resultados.

#### 3. La adquisición y el procesamiento de datos

registran curvas de tensión-deformación, energía de impacto y otros datos en tiempo real y calculan indicadores de rendimiento utilizando métodos estándar.

#### 4. Evaluación e informes de resultados

: analizar los datos de prueba para determinar si cumplen con los requisitos de diseño o estándar de la industria y emitir un informe de prueba detallado.

### 4.3.4 Normas y especificaciones

De los anillos de aleación de tungsteno se refiere principalmente a las siguientes normas internacionales y nacionales:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Normas ASTM**
  - ASTM E8 (ensayo de tracción)
  - ASTM E23 (prueba de impacto)
  - ASTM E399 (tenacidad a la fractura)
- **Estándar GB/T**
  - GB/T 228 (Métodos de ensayo de tracción para materiales metálicos)
  - GB/T 229 (Método de prueba de impacto)
  - GB/T 6396 (ensayo de tenacidad a la fractura)
- **Normas ISO**
  - ISO 6892 (Ensayos de tensión de metales)
  - ISO 148-1 (prueba de impacto)

#### 4.3.5 Desafíos especiales de las pruebas de propiedades mecánicas

- **La preparación de muestras es compleja.**

Los anillos de aleación de tungsteno tienen formas complejas y una alta dureza, y su procesamiento para obtener muestras estándar requiere equipos y procesos de alta precisión.
- **Los equipos de prueba para materiales de alta densidad requieren que**

las aleaciones de tungsteno tengan alta densidad y altas cargas de prueba, y el equipo debe tener propiedades mecánicas suficientes.
- **Pruebas de rendimiento a altas temperaturas**

Dado que los anillos de aleación de tungsteno se utilizan a menudo en entornos de alta temperatura, las pruebas de rendimiento mecánico a altas temperaturas requieren sistemas de control y calentamiento especiales.

#### 4.4 Microestructura y detección de defectos del anillo de aleación de tungsteno

La microestructura y los defectos de los anillos de aleación de tungsteno son factores clave que afectan sus propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y vida útil. La observación de la microestructura y la detección de defectos proporcionan información sobre las características estructurales internas del material y los posibles problemas de calidad, lo que orienta la optimización de procesos y el control de calidad. A continuación, se detallan los métodos de análisis de microestructura y las técnicas de detección de defectos para anillos de aleación de tungsteno.

##### 4.4.1 Importancia de la microestructura del anillo de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno están compuestos por partículas de tungsteno de alta densidad y metales de unión como el níquel y el hierro. La uniformidad de la microestructura, el tamaño de las partículas y la calidad de la unión de la interfaz afectan directamente su resistencia mecánica y durabilidad. Una buena microestructura se manifiesta en:

- Las partículas de tungsteno son pequeñas y están distribuidas uniformemente;
- La fase de unión es continua y fuertemente ligada;
- No hay defectos internos evidentes como agujeros o grietas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El análisis microestructural ayuda a evaluar el grado de densificación por sinterización, los efectos del tratamiento térmico y la estabilidad del material.

#### 4.4.2 Método de análisis de microestructura

##### 1. Observación mediante microscopía óptica (MO)

- La observación se realizó en rodajas de muestra después del tratamiento de esmerilado, pulido y corrosión.
- Partículas de tungsteno, se puede identificar la uniformidad de la fase aglutinante y la porosidad.
- Se utiliza a menudo para la evaluación macroorganizacional preliminar.

##### 2. Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB)

- Observación de alta resolución de los detalles microestructurales del anillo de aleación de tungsteno.
- Se pueden observar límites de partículas, estados de enlace de la interfaz y pequeños defectos.
- La espectroscopia de energía dispersiva (EDS) se puede utilizar para analizar la distribución de componentes e identificar impurezas y segundas fases.

##### 3. Prueba de difracción de rayos X (DRX)

- Se utiliza para analizar la estructura cristalina y la composición de fases de los materiales.
- Determinar el estado de solución sólida y el cambio de fase del tungsteno y otros elementos.
- Ayuda a determinar los efectos del tratamiento térmico y la sinterización de materiales.

##### 4. Microscopía electrónica de transmisión (MET)

- de estructuras a nanoescala y límites de grano.
- Adecuado para estudiar microdefectos y distorsión reticular de anillos de aleación de tungsteno.

#### 4.4.3 Tecnología de detección de defectos

##### 1. Inspección óptica

- Los defectos macro como grietas y agujeros superficiales y cercanos a la superficie se descubren mediante un microscopio.

##### 2. Pruebas ultrasónicas (UT)

- Las ondas ultrasónicas pueden penetrar los materiales para detectar defectos internos como poros y grietas.
- anillos de aleación de tungsteno de paredes gruesas .

##### 3. Rayos X/Tomografía computarizada (TC)

- Detección de alta sensibilidad de poros, inclusiones y grietas en el interior de los materiales.
- Puede realizar imágenes tridimensionales de defectos y localizar con precisión el tamaño y la posición del defecto.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4. Prueba de partículas magnéticas (MT)

- Detección de grietas superficiales y subsuperficiales.
- Detección de defectos en anillos de aleación de tungsteno magnéticos.

#### 5. Pruebas de penetración (PT)

- Detecta microfisuras y agujeros superficiales, especialmente en materiales no magnéticos.
- Sencillo y rápido, pero sólo apto para defectos superficiales.

#### 4.4.4 Efectos de la microestructura y los defectos en el rendimiento

- **Porosidad y grietas** : reducen la densidad del material, se convierten en puntos de concentración de tensiones y conducen fácilmente a fracturas por fatiga y pérdida de resistencia.
- **Aglomeración de partículas y distribución desigual** : provocan propiedades mecánicas locales desiguales y reducen la consistencia general del rendimiento.
- **Mala unión de la interfaz** : afecta la eficiencia de transferencia de carga y reduce la resistencia y la tenacidad.
- **Precipitación de impurezas y segundas fases** : Puede provocar corrosión y degradación del rendimiento.

#### 4.4.5 Recomendaciones de control de calidad y optimización de procesos

- Optimice los procesos de preparación y mezcla de polvos para garantizar una composición uniforme.
- Controle la temperatura y el tiempo de sinterización para mejorar el nivel de densificación.
- Utilice un proceso de tratamiento térmico adecuado para mejorar la microestructura y la unión de la interfaz.
- Fortalezca las pruebas no destructivas para detectar y eliminar defectos de manera oportuna.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Capítulo 5 Tecnología de aplicación y casos de anillos de aleación de tungsteno

### 5.1 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en la industria aeroespacial

Los anillos de aleación de tungsteno se han convertido en un material indispensable en la industria aeroespacial gracias a su alta densidad, alta resistencia y excelente resistencia a altas temperaturas. Sus propiedades físicas y químicas únicas los hacen importantes en diversos componentes y sistemas clave, garantizando la seguridad, la estabilidad y el rendimiento de las aeronaves.

#### 5.1.1 Aplicación de anillos de contrapeso de alta densidad

La industria aeroespacial exige materiales de contrapeso extremadamente exigentes, que requieren un control preciso del peso y una buena resistencia a altas temperaturas y a la corrosión. Los anillos de aleación de tungsteno son un contrapeso ideal gracias a su alta gravedad específica y se utilizan comúnmente en las siguientes áreas:

- Los anillos de aleación de tungsteno se pueden utilizar como **contrapesos de equilibrio del rotor en** unidades de medición inercial (IMU) para garantizar la precisión de los giroscopios y acelerómetros y mejorar la estabilidad y confiabilidad de la navegación de las aeronaves.
- **El bloque de equilibrio del sistema de control de vuelo**, la superficie de control de la aeronave y el anillo de contrapeso en el servo ajustan eficazmente la distribución del peso, garantizan la sensibilidad y la velocidad de respuesta de la superficie de control y mejoran el rendimiento del vuelo.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 5.1.2 Anillos resistentes al desgaste por altas temperaturas

Los entornos de alta temperatura, como los motores de aviación, exigen una resistencia al calor y al desgaste extremadamente alta para los componentes. Los anillos de aleación de tungsteno ofrecen una excelente estabilidad a altas temperaturas y resistencia al desgaste, y son adecuados para:

- Los anillos de aleación de tungsteno **para cojinetes de alta temperatura en motores de turbinas de gas** se utilizan como cojinetes y sellos. Soportan entornos de operación de alta temperatura y alta velocidad, reducen el desgaste y prolongan la vida útil de los componentes.
- El sistema de guía del flujo de aire del motor utiliza **anillos guía y de sellado de alta temperatura**. Los anillos de aleación de tungsteno garantizan un sellado eficaz y la **estabilidad del flujo de aire, mejorando así la eficiencia del motor**.

### 5.1.3 Anillos antirradiación y de blindaje

Las naves espaciales y los satélites suelen estar expuestos a una intensa radiación cósmica. Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en:

- **El anillo de protección contra la radiación de la nave espacial** protege los equipos electrónicos y los instrumentos sensibles contra daños causados por partículas de alta energía y radiación, lo que garantiza el funcionamiento estable del equipo.
- **Anillos estructurales en sistemas de energía nuclear**  
En las naves espaciales de propulsión nuclear, se utilizan anillos de aleación de tungsteno como absorbedores de neutrones y anillos de protección contra la radiación para mejorar la seguridad del sistema.

### 5.1.4 Conexiones estructurales y fijaciones de alta resistencia

Las propiedades mecánicas de alta resistencia y alto módulo de los anillos de aleación de tungsteno los hacen adecuados para componentes de conexión estructural clave, incluidos:

- **El anillo de conexión de alta carga** soporta cargas mecánicas extremas y garantiza la resistencia general de la aeronave.
- **Los anillos amortiguadores antivibración** reducen la transmisión de vibraciones, mejorando la seguridad del vuelo y la comodidad durante el viaje.

### 5.1.5 Análisis de caso típico

- **Un cierto tipo de sistema de contrapeso de satélite militar** utiliza anillos de aleación de tungsteno como componentes centrales de contrapeso para lograr un control preciso de la actitud del satélite y mejorar la eficiencia del ajuste de la órbita.
- Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan para reemplazar los materiales tradicionales **en los anillos de sellado de alta temperatura de un cierto tipo de motor a reacción**, mejorando la resistencia a la temperatura de sellado y extendiendo el ciclo de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mantenimiento del motor.

- **El dispositivo de protección radiológica de la nave espacial**  
combina anillos de aleación de tungsteno y materiales compuestos para construir una estructura de protección multicapa para proteger eficazmente la radiación cósmica.

## 5.2 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en las industrias energética y nuclear

Los anillos de aleación de tungsteno se han convertido en un material indispensable e importante en las industrias energética y nuclear gracias a su alta densidad, alta resistencia y excelente resistencia a la radiación y a las altas temperaturas. Su uso generalizado en áreas clave como estructuras de reactores nucleares, absorbedores de neutrones y blindaje radiológico ha mejorado considerablemente la seguridad, la estabilidad y la vida útil de las instalaciones nucleares.

### 5.2.1 Anillos de absorción de neutrones en reactores nucleares

Los anillos de aleación de tungsteno tienen fuertes capacidades de absorción de neutrones y se utilizan a menudo en los sistemas de control y seguridad de los reactores nucleares:

- **En la fabricación de barras de control del reactor o barras de seguridad, los anillos de aleación de tungsteno**  
son materiales absorbentes importantes que regulan eficazmente la velocidad de reacción nuclear y garantizan la estabilidad y seguridad del funcionamiento del reactor.
- **anillos de protección contra la radiación**  
alrededor del área central del reactor para evitar fugas de neutrones y rayos gamma y proteger al personal y a los equipos circundantes de los peligros de la radiación.

### 5.2.2 Anillos estructurales de alta temperatura

Muchos equipos de la industria nuclear operan en entornos de alta temperatura durante largos periodos. Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en:

- **Los anillos de soporte del conjunto de combustible nuclear**  
se utilizan para sostener y fijar las barras de combustible nuclear, soportar la radiación y el estrés térmico y garantizar la integridad estructural del conjunto de combustible.
- **Los anillos guía y sellos de alta temperatura**  
se utilizan en sistemas de enfriamiento de reactores nucleares y equipos auxiliares para garantizar el guiado de fluidos y el rendimiento del sellado, y mejorar la eficiencia y la seguridad del equipo.

### 5.2.3 Anillos de protección en equipos de manipulación de residuos radiactivos

Los anillos de aleación de tungsteno desempeñan un importante papel protector en los equipos de procesamiento y almacenamiento de residuos radiactivos:

- **Los anillos de protección radiológica**  
se fabrican en diversas estructuras de protección radiológica para bloquear eficazmente las partículas de alta energía liberadas por sustancias radiactivas y garantizar la seguridad ambiental.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Los anillos de protección resistentes a la corrosión**  
se utilizan en áreas clave de los contenedores de almacenamiento de residuos para evitar la degradación del material causada por la corrosión y la radiación.

#### 5.2.4 Componentes clave en los sistemas de energía nuclear

Los anillos de aleación de tungsteno también se utilizan en la fabricación de componentes clave en centrales nucleares, como submarinos nucleares y sistemas de energía de portaaviones nucleares:

- **Los pesos de equilibrio dinámicos**  
garantizan un funcionamiento estable de piezas mecánicas giratorias a altas velocidades.
- **Las conexiones de alta resistencia y los anillos de sellado**  
soportan fuertes tensiones mecánicas y entornos de radiación, lo que garantiza la seguridad y la estabilidad del sistema.

#### 5.2.5 Casos típicos de aplicación

- **El anillo de aleación de tungsteno de una planta de energía nuclear** utiliza anillos de aleación de tungsteno de alta pureza para fabricar los componentes centrales de la barra de control, lo que puede lograr un control preciso de las reacciones nucleares y garantizar el funcionamiento seguro y estable de la planta de energía.
- **El anillo de protección contra la radiación del tanque de almacenamiento de residuos nucleares está hecho de**  
anillos de aleación de tungsteno, que forman una estructura de protección multicapa para aislar eficazmente la radiación y extender la vida útil del tanque de almacenamiento.
- **Los anillos de sellado de alta temperatura de los barcos de propulsión nuclear** mantienen un excelente rendimiento de sellado en entornos de alta temperatura, lo que garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de energía.

### 5.3 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en la fabricación mecánica y equipos militares

Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en la fabricación de maquinaria y equipo militar gracias a su alta densidad, alta resistencia y excelente resistencia al desgaste. Desempeñan un papel fundamental en el soporte estructural, el contrapeso y la protección, y cumplen con los estrictos requisitos de rendimiento del material en condiciones de trabajo complejas.

#### 5.3.1 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en la fabricación mecánica

- **de rodamientos mecánicos de alta resistencia**  
se utilizan para fabricar componentes clave en rodamientos mecánicos de alta carga. Gracias a su excelente resistencia al desgaste y alta densidad, mejoran eficazmente la durabilidad y la estabilidad de los rodamientos y se adaptan a condiciones de funcionamiento con cargas pesadas y alta velocidad.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Los anillos de contrapeso mecánicos de precisión**  
utilizan la alta gravedad específica de la aleación de tungsteno para fabricar anillos de contrapeso en equipos mecánicos para lograr el equilibrio dinámico de la máquina, reducir la vibración y mejorar la precisión y la estabilidad del funcionamiento del equipo.
- **Bujes y anillos de sellado resistentes al desgaste**  
Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan a menudo para fabricar bujes y anillos de sellado de piezas vulnerables en equipos mecánicos debido a su buena resistencia al desgaste, lo que extiende el ciclo de mantenimiento del equipo y reduce los costos operativos.
- **máquinas herramienta**  
de alta precisión para garantizar la precisión y estabilidad del mecanizado de las máquinas herramienta y cumplir con los altos estándares de rendimiento del material requeridos por la fabricación de precisión.

### 5.3.2 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en equipos militares

- **de proyectil perforante ,**  
El anillo de aleación de tungsteno es un material fundamental en las armas de defensa modernas debido a su alta dureza y alta densidad, lo que puede mejorar la penetración y el efecto destructivo.
- **Los anillos de contrapeso para misiles inerciales**  
se utilizan en sistemas de navegación inercial de misiles. Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan para contrapesos de precisión que garantizan la estabilidad del vuelo y la precisión del guiado. Son componentes esenciales en equipos militares de alta gama.
- **Anillos de blindaje y protección Los**  
anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en la estructura de blindaje de vehículos y equipos militares, proporcionando una protección eficaz contra la penetración y el impacto, y mejorando la capacidad de supervivencia del equipo.
- **Los componentes mecánicos en ojivas y sistemas de control de fuego**  
se utilizan para fabricar anillos mecánicos de precisión en sistemas de control de fuego, cumpliendo con los requisitos de alta resistencia y alta precisión en entornos extremos y asegurando el funcionamiento confiable de los sistemas de armas.

### 5.3.3 Casos militares típicos de anillos de aleación de tungsteno

- **El núcleo del anillo de aleación de tungsteno de un cierto tipo de proyectil perforante** adopta un material de anillo de aleación de tungsteno de alta dureza para mejorar el poder de penetración y la eficiencia de conversión de energía cinética del proyectil perforante, mejorando efectivamente la efectividad en el combate.
- **Contrapeso de anillo de aleación de tungsteno para sistemas de navegación inercial.** Los anillos de aleación de tungsteno se procesan con precisión para lograr uniformidad y precisión dimensional, garantizando así la precisión de los sistemas de guiado de misiles.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **de aleación** se utilizan como un componente clave en **la estructura protectora del vehículo blindado**, mejorando significativamente el rendimiento protector y la durabilidad del blindaje.

#### 5.4 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en dispositivos electrónicos y médicos

de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, excelentes propiedades mecánicas y superior resistencia a la radiación, se están convirtiendo en un componente funcional clave en dispositivos electrónicos y equipos médicos. No solo desempeñan un papel importante en la mejora del rendimiento del producto, sino que también cumplen con los estrictos requisitos de estabilidad y seguridad de las aplicaciones modernas de alta tecnología.

##### 5.4.1 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en dispositivos electrónicos

- de aleación de tungsteno se utilizan a menudo como materiales de blindaje en dispositivos electrónicos debido a su excelente resistencia a la radiación y capacidad de blindaje electromagnético. Especialmente en dispositivos de alta frecuencia y alta potencia, pueden reducir eficazmente la interferencia electromagnética (EMI) y garantizar el funcionamiento estable del equipo.
- La excelente conductividad térmica de los anillos de aleación de tungsteno los convierte en la opción ideal para estructuras de disipación de calor en dispositivos electrónicos. Gracias a su eficiente conductividad térmica y capacidad calorífica, ayudan a los componentes clave a disipar el calor rápidamente y mejoran la fiabilidad y la vida útil de los sistemas electrónicos.
- Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan en la estructura mecánica de instrumentos electrónicos de precisión para realizar funciones de posicionamiento, soporte y contrapeso, garantizando la precisión de funcionamiento y la estabilidad a largo plazo de los instrumentos.

##### 5.4.2 Aplicación de anillos de aleación de tungsteno en dispositivos médicos

- Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en equipos de radioterapia debido a su alta densidad y excelente capacidad de protección contra la radiación. Se emplean para prevenir fugas de radiación y garantizar la seguridad del personal médico y de los pacientes.
- **Contrapesos y anillos de estabilización para equipos de imágenes médicas**  
En equipos de imágenes médicas como máquinas de tomografía computarizada y rayos X, se utilizan anillos de aleación de tungsteno para lograr el equilibrio mecánico y la estabilidad del equipo, mejorando la precisión de las imágenes y la sensibilidad operativa.
- Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan en las partes mecánicas de instrumentos médicos de alta precisión para proporcionar un rendimiento resistente al desgaste y a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la corrosión, cumpliendo con los requisitos duales de higiene del material y durabilidad en el entorno médico.

- **Componentes de protección y embalaje de radioisótopos**

Los anillos de aleación de tungsteno sirven como anillos de protección para contenedores de radioisótopos y desempeñan un papel importante en el blindaje y la protección mecánica, garantizando la seguridad y la estabilidad de los isótopos en aplicaciones médicas.

#### 5.4.3 Casos típicos y tendencias de desarrollo

- **El anillo de protección de aleación de tungsteno**

**de un dispositivo de radioterapia** utiliza un anillo de aleación de tungsteno de alta densidad para reducir eficazmente las fugas de radiación y mejorar el nivel de protección del equipo.

- **Anillos de contrapeso de aleación de tungsteno**

**para instrumentos electrónicos médicos** Los anillos de aleación de tungsteno mecanizados con precisión se utilizan en instrumentos para garantizar un funcionamiento estable y una precisión de medición.

- **Nuevos anillos funcionales de aleación de tungsteno**

Los anillos de aleación de tungsteno combinan recubrimientos de superficie y diseño de microestructura para mejorar su adaptabilidad multifuncional en dispositivos electrónicos y médicos, como resistencia antibacteriana, anticorrosiva y a altas temperaturas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

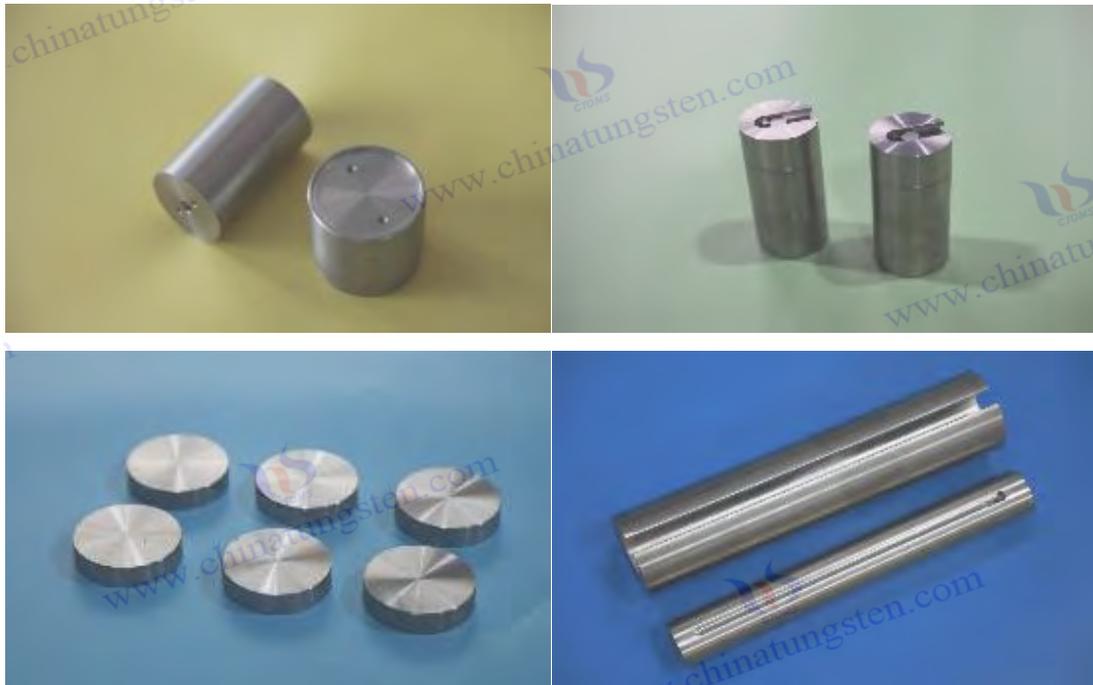
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

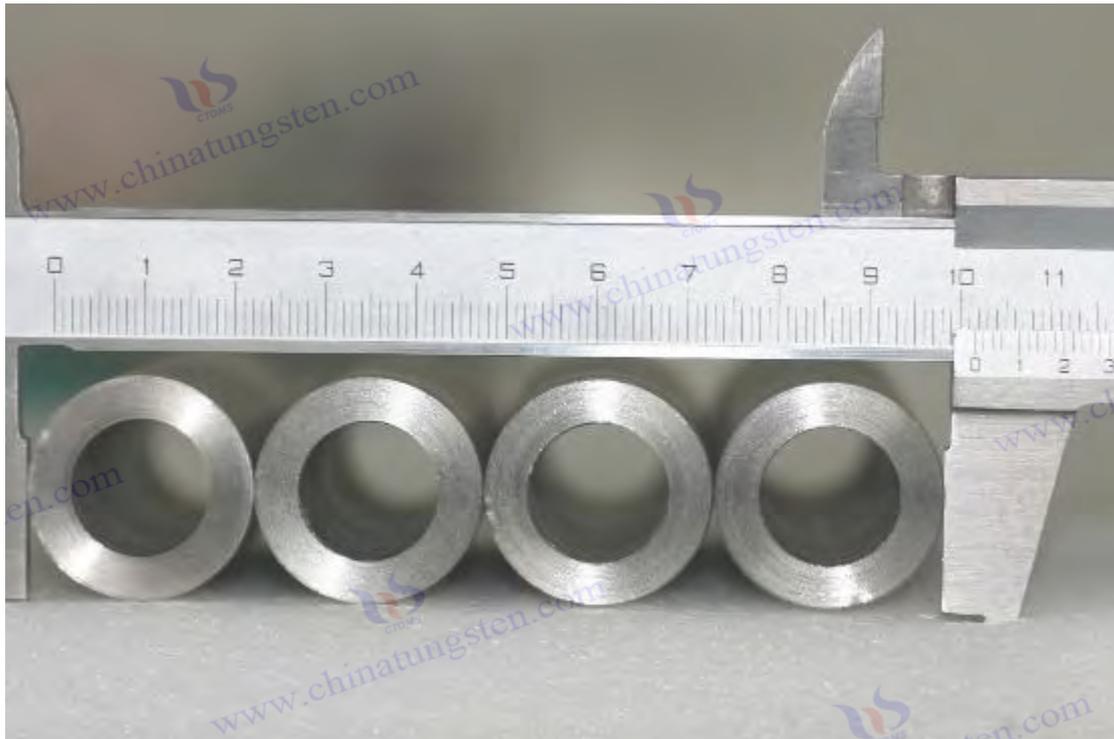
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Capítulo 6 Normas internacionales y especificaciones de la industria para anillos de aleación de tungsteno

### 6.1 Principales normas internacionales para anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno deben cumplir con una serie de normas internacionales y especificaciones de la industria para garantizar que la calidad, el rendimiento y la seguridad de los productos satisfagan las necesidades del mercado global. A continuación, se presenta un resumen de las principales normas internacionales representativas en el sector actual de los anillos de aleación de tungsteno:

#### 6.1.1 Normas ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales)

- **ASTM B777** — Especificación estándar para productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno. Esta norma abarca la composición, las propiedades, los procesos de fabricación y los métodos de ensayo de los materiales de aleación de tungsteno. Define los requisitos técnicos de propiedades mecánicas, densidad, precisión dimensional y otros aspectos de los anillos y otros productos de aleación de tungsteno. Es ampliamente adoptada por fabricantes en Estados Unidos e internacionales.
- **ASTM E3** — Preparación de muestras de metal cubre las especificaciones de preparación de muestras para anillos de aleación de tungsteno para análisis metalográfico y observación microestructural, lo que garantiza una evaluación precisa y consistente del desempeño del material.
- **ASTM E8/E8M** : la norma de pruebas de tracción de materiales metálicos se aplica a las pruebas de propiedades mecánicas de anillos de aleación de tungsteno y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

especifica los métodos de determinación de indicadores clave como la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento después de la fractura.

### 6.1.2 Normas ISO (Organización Internacional de Normalización)

- **ISO 9001** — Sistema de Gestión de Calidad  
. Esta norma es ampliamente adoptada por los fabricantes de anillos de aleación de tungsteno para garantizar que todo el proceso de calidad del producto, desde el diseño, la adquisición, la producción hasta la entrega, esté bajo control y cumpla con los requisitos de calidad de los clientes internacionales.
- **ISO 6507** — Pruebas de dureza de metales  
cubre la determinación de la dureza Vickers de anillos de aleación de tungsteno, asegurando pruebas de dureza precisas y repetibles.
- **ISO 6508** — Prueba de dureza Brinell para metales  
Esta norma también se utiliza para probar la dureza de anillos de aleación de tungsteno y es particularmente adecuada para probar anillos más gruesos.

### 6.1.3 MIL (estándar militar de EE. UU.)

- **MIL-STD-810** — Consideraciones de ingeniería ambiental y métodos de prueba de laboratorio  
Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en los campos militar y aeroespacial y deben cumplir con los estrictos requisitos de prueba de esta norma para resistencia a condiciones ambientales extremas, como temperaturas altas y bajas, golpes y vibraciones, y corrosión.
- **MIL-STD-883** — Pruebas de materiales y dispositivos microelectrónicos Cuando se utilizan anillos de aleación de tungsteno en estructuras de componentes electrónicos de alta precisión, se deben realizar pruebas de rendimiento pertinentes de acuerdo con este estándar militar.

### 6.1.4 Normas nacionales chinas (GB/T)

- **GB/T 3877** — Materiales de tungsteno y aleaciones de tungsteno.  
Esta es la norma básica para la fabricación e inspección nacional de anillos de aleación de tungsteno. Abarca indicadores técnicos como la composición, las propiedades mecánicas y las tolerancias dimensionales, y promueve la mejora de la calidad de los anillos de aleación de tungsteno nacionales.
- **GB/T 14654** — Métodos de prueba de tracción para materiales metálicos  
especifica los requisitos técnicos y los procedimientos de prueba para pruebas de propiedades mecánicas de anillos de aleación de tungsteno, garantizando que el rendimiento del producto cumpla con los estándares de diseño.

### 6.1.5 Normas industriales y especificaciones técnicas

- **Estándares de la industria de materiales aeroespaciales**  
Los anillos de aleación de tungsteno utilizados en el campo aeroespacial generalmente

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

deben cumplir con los requisitos del sistema de calidad AS9100 y los estándares industriales relevantes (como los estándares SAE) para garantizar la seguridad y confiabilidad del material.

- **Especificaciones de materiales de la industria nuclear Cuando** se utilizan anillos de aleación de tungsteno en estructuras de protección de reactores nucleares, también deben cumplir con las especificaciones de materiales específicas de la industria nuclear, como las normas de pruebas de desempeño de protección radiológica pertinentes.

#### 6.1.6 Normas y reglamentos de protección ambiental y seguridad

- **Directiva RoHS** (Directiva de la UE sobre restricción de sustancias peligrosas)  
Los productos de anillos de aleación de tungsteno deben cumplir con los requisitos de protección ambiental RoHS al ingresar al mercado de la UE, restringiendo el uso de elementos nocivos como el plomo y el mercurio.
- Los fabricantes de anillos de aleación de tungsteno deben cumplir con **las regulaciones REACH** (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas de la UE) para garantizar el cumplimiento y la seguridad de la composición química de sus productos.

### 6.2 Normas nacionales y especificaciones de prueba para anillos de aleación de tungsteno

Con el rápido desarrollo de la industria china de anillos de aleación de tungsteno, establecer y mejorar un sistema de normas que se ajuste a las condiciones nacionales se ha convertido en una medida importante para impulsar el avance tecnológico, garantizar la calidad del producto y promover la regulación del mercado. Esta sección se centra en las normas nacionales (GB), las normas industriales (YS) y las principales especificaciones de prueba relacionadas con los anillos de aleación de tungsteno en China, proporcionando una base técnica para la fabricación y la inspección.

#### 6.2.1 Norma nacional (GB) para anillos de aleación de tungsteno

- **GB/T 3877—Materiales de tungsteno y aleaciones de tungsteno.**  
Esta norma especifica la composición química, las propiedades mecánicas, las propiedades físicas y otros indicadores técnicos de los materiales para anillos de aleación de tungsteno. Abarca parámetros clave como el contenido de tungsteno, la densidad, la dureza y la resistencia a la tracción para garantizar la estabilidad y la consistencia del rendimiento del material. Es la norma básica para las pruebas y la aceptación de materiales para anillos de aleación de tungsteno en China.
- **GB/T 14654—Métodos de prueba de tracción de materiales metálicos**  
Esta norma especifica en detalle los métodos de prueba de propiedades mecánicas para anillos de aleación de tungsteno, asegurando pruebas precisas y uniformes de indicadores de rendimiento tales como resistencia a la tracción, límite elástico y alargamiento después de la fractura.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **GB/T 10561—Ensayo de dureza de materiales metálicos. El método de dureza Vickers** se aplica a la determinación de la dureza de anillos de aleación de tungsteno. Proporciona condiciones de ensayo, procedimientos de medición y métodos de procesamiento de datos para garantizar la naturaleza científica y la comparabilidad de los ensayos de dureza.
- **La norma GB/T 11345, Métodos de Ensayos Ultrasónicos para Ensayos No Destructivos, proporciona especificaciones técnicas para el ensayo ultrasónico de defectos internos en** anillos de aleación de tungsteno . Es adecuada para detectar defectos ocultos, como poros y grietas, en el material del anillo, mejorando así el control de calidad del producto.

### 6.2.2 Estándar industrial para anillos de aleación de tungsteno (YS)

- **Serie YS/T 200: las normas de la industria de aleaciones de tungsteno y sus productos** están formuladas por la industria nacional de metales no ferrosos. Estas normas abarcan las especificaciones de los materiales, los requisitos de rendimiento y los métodos de prueba de los anillos de aleación de tungsteno, y perfeccionan sus indicadores técnicos para diferentes propósitos. Son adecuadas para industrias clave como la militar y la aeronáutica.
- **La norma YS/T 415 sobre dimensiones y tolerancias de anillos de aleación de tungsteno** especifica los requisitos de prueba para las dimensiones geométricas, la uniformidad del espesor de la pared y la coaxialidad de los anillos de aleación de tungsteno para garantizar la precisión del procesamiento del producto y el rendimiento del ensamblaje.

### 6.2.3 Principales especificaciones de pruebas y requisitos técnicos

- **El análisis de la composición química** utiliza análisis espectral (como ICP-OES), espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) y analizador de elementos (análisis ONH) para garantizar que el contenido de tungsteno, níquel, hierro y elementos de impurezas en los anillos de aleación de tungsteno cumpla con los requisitos estándar.
- **Las pruebas de propiedades físicas se** llevan a cabo mediante instrumentos de medición de densidad, análisis de microestructura (microscopio óptico, microscopio electrónico de barrido SEM), etc. para evaluar la densidad y la estructura interna del material.
- **Las pruebas de rendimiento mecánico** incluyen pruebas de tracción, pruebas de dureza (dureza Vickers, Rockwell, Brinell) y pruebas de impacto, que se llevan a cabo estrictamente de acuerdo con los estándares GB/T pertinentes para garantizar que los anillos de aleación de tungsteno tengan la resistencia y tenacidad requeridas.
- **La tecnología de pruebas no destructivas** utiliza pruebas ultrasónicas, pruebas de rayos X, pruebas de partículas magnéticas y otros medios para evaluar los defectos internos y superficiales de los anillos de aleación de tungsteno para garantizar la integridad y confiabilidad del producto.
- **La inspección de la calidad de la superficie**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utiliza un perfilómetro tridimensional y un medidor de rugosidad para probar la rugosidad de la superficie y la adhesión del revestimiento para garantizar que el proceso de tratamiento de la superficie cumpla con los requisitos de diseño y mejore la durabilidad y funcionalidad del material del anillo.

#### 6.2.4 Sistema de Gestión de Calidad y Certificación

- **Sistema de gestión de calidad ISO 9001**

La mayoría de los fabricantes nacionales de anillos de aleación de tungsteno han pasado la certificación ISO 9001, lo que garantiza procesos de producción estandarizados y control de calidad, y garantiza la calidad del producto desde la fuente.

- **La certificación específica de la industria**

está dirigida a campos de aplicación específicos, como la aviación y la industria militar. Las empresas deben cumplir con los estándares de gestión de calidad correspondientes, como la certificación AS9100 en el sector de la aviación, para cumplir con los estrictos requisitos de seguridad y fiabilidad.

### 6.3 Estándares de calidad de los anillos de aleación de tungsteno fabricados por CTIA GROUP

Como empresa líder en la industria de aleaciones de tungsteno de China, CTIA GROUP cuenta con una amplia experiencia y tecnología avanzada en la investigación, el desarrollo y la fabricación de anillos de aleación de tungsteno. La empresa desarrolla e implementa estándares de calidad para anillos de aleación de tungsteno en estricta conformidad con las regulaciones nacionales e industriales. Este sistema, combinado con años de experiencia técnica y la atención a las necesidades de los clientes, ha dado como resultado un sistema de control de calidad integral y competitivo.

#### 6.3.1 Composición del material y estándares de proceso

- **CTIA GROUP utiliza**

polvo de tungsteno de alta pureza y níquel, hierro y otros elementos de aleación de alta calidad para garantizar la estabilidad de la composición química del anillo de aleación de tungsteno. El contenido de impurezas se controla estrictamente a un nivel líder en la industria para garantizar la uniformidad y la fiabilidad del rendimiento del material.

- **Las pruebas de composición**

utilizan instrumentos analíticos avanzados como ICP-OES y XRF para detectar con precisión los elementos de aleación y garantizar que cada lote de materiales cumpla con la proporción diseñada y cumpla con los requisitos de rendimiento del producto.

- **Las especificaciones del proceso**

adoptan tecnología de metalurgia de polvos desarrollada independientemente, tecnología de sinterización y proceso de mecanizado de precisión para garantizar que la densidad, las propiedades mecánicas y la precisión dimensional de los anillos de aleación de tungsteno alcancen el nivel avanzado internacional.

#### 6.3.2 Estándares de índice de desempeño

- **Densidad y compacidad La densidad real del**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

anillo de aleación de tungsteno está cerca de más del 98% de la densidad teórica, y el alto nivel de densificación asegura que el producto tenga una excelente resistencia mecánica y propiedades físicas estables.

- Anillos de aleación de tungsteno fabricados por Zhongtung La Fabricación **Inteligente** cumple o incluso supera los estándares industriales GB e YS. La dureza se controla dentro del rango ideal para satisfacer los requisitos de aplicaciones de alta carga y resistencia.
- **Dimensiones y tolerancias:**  
La precisión dimensional del producto está estrictamente controlada dentro de  $\pm 0,01$  mm, y la uniformidad del espesor de la pared y la coaxialidad cumplen con los requisitos de ensamblaje de precisión de equipos de alta gama.

### 6.3.3 Calidad de la superficie y control de defectos

- **Rugosidad superficial Las superficies internas y externas del**  
anillo de aleación de tungsteno se someten a múltiples procedimientos de pulido y procesamiento, y el valor de rugosidad superficial Ra se controla dentro de  $0,2 \mu\text{m}$ , lo que garantiza un buen rendimiento de contacto y resistencia al desgaste.
- **La detección de defectos**  
utiliza una variedad de tecnologías de pruebas no destructivas, como ultrasonido, rayos X y tomografías computarizadas, para garantizar la ausencia de defectos internos y externos, como poros, grietas e inclusiones, mejorando así la confiabilidad y la vida útil del producto.

### 6.3.4 Sistema de Gestión de Calidad

- **Control de calidad integral del proceso.**  
CTIA GROUP implementa un sistema de gestión de calidad de tres niveles que incluye la inspección de la materia prima entrante, el monitoreo de la calidad del proceso y la inspección del producto terminado saliente. Está equipado con modernos instrumentos de prueba y equipos de monitoreo automatizado para garantizar la calidad del producto en tiempo real.
- **Sistema de Certificación:**  
La empresa ha obtenido las certificaciones ISO 9001, AS9100 y otras certificaciones internacionales de sistemas de gestión de calidad. Algunos productos cumplen con los requisitos de protección ambiental RoHS y REACH, lo que garantiza que cumplen con los estándares del mercado global.

### 6.3.5 Personalización del cliente y respuesta a solicitudes especiales

- **Los servicios personalizados**  
se dirigen a sectores de alto nivel como la industria aeroespacial, la energía nuclear y la militar. CTIA GROUP puede ajustar la composición de la aleación, los parámetros de proceso y los indicadores de calidad según las necesidades específicas de los clientes y ofrecer soluciones personalizadas de anillos de aleación de tungsteno.
- **Soporte técnico**  
Contamos con un equipo profesional de I + D y control de calidad para brindar a los clientes

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

consulta técnica, soporte de pruebas y servicio posventa para garantizar la estabilidad del rendimiento y la seguridad de los productos de anillos de aleación de tungsteno en aplicaciones reales.

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

en.com

www.ch

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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



## Capítulo 7 Análisis económico y de mercado de los anillos de aleación de tungsteno

### 7.1 Panorama del mercado global de anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en sectores de alta gama como el aeroespacial, el militar, el de la energía nuclear y el médico, gracias a su excelente densidad, resistencia y resistencia a altas temperaturas. Con el rápido desarrollo de la industria manufacturera global de alta tecnología, el mercado de anillos de aleación de tungsteno ha mostrado un patrón multinivel y multirregional, que se refleja principalmente en los siguientes aspectos:

#### 7.1.1 Impacto en la distribución y la cadena de suministro de los recursos globales de tungsteno

Los recursos mundiales de tungsteno se concentran principalmente en países como China, Rusia, Vietnam, Canadá y Austria. China, como el mayor productor mundial de mineral de tungsteno, domina el mercado mundial, representando más del 80 % de la producción mundial. Los abundantes recursos de tungsteno de China proporcionan una sólida base de materia prima para la producción mundial de anillos de aleación de tungsteno.

Al mismo tiempo, la distribución geográfica de los recursos tiene un impacto significativo en la cadena de suministro de anillos de aleación de tungsteno. La concentración de recursos de mineral de tungsteno ha provocado fluctuaciones en los precios de las materias primas y riesgos de suministro, lo que ha impulsado a los países a acelerar la reserva estratégica y el reciclaje de recursos de tungsteno, promoviendo así el desarrollo estable de la cadena industrial de anillos de aleación de tungsteno.

#### 7.1.2 Principales áreas de producción y clústeres industriales

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los anillos de aleación de tungsteno se encuentran en provincias como Guangdong, Jiangsu, Hunan y Jiangxi en China, así como en empresas manufactureras de alta gama seleccionadas en Europa, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur. Estas regiones han conformado una cadena industrial completa de producción de aleación de tungsteno, estableciendo un sistema de fabricación eficiente que abarca desde la preparación del polvo de tungsteno, la fundición de la aleación, la pulvimetalurgia y el mecanizado de precisión.

Las empresas chinas, aprovechando sus ventajas en recursos y el control de costos, dominan el mercado de anillos de aleación de tungsteno de gama media y baja. Por otro lado, Europa, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur se centran más en la I+D y la fabricación de anillos de aleación de tungsteno de alta gama, priorizando la innovación tecnológica y el control de calidad, lo que genera un panorama competitivo diferenciado.

### 7.1.3 Estructura de la demanda del mercado y distribución de la industria terminal

proviene principalmente de las siguientes áreas clave:

- **Aeroespacial** : Se utiliza para contrapesos de alta resistencia, equipos de navegación inercial y componentes estructurales de alta temperatura, que requieren un rendimiento y una confiabilidad del material extremadamente altos.
- **militar** : Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en núcleos de proyectiles perforantes, componentes de cola de misiles y piezas mecánicas de alta resistencia, lo que refleja su importancia en los sistemas de armas de alto rendimiento.
- **Industria de la energía nuclear** : Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan como materiales de protección y componentes estructurales, y tienen excelentes propiedades de protección radiológica y resistencia a altas temperaturas.
- **Equipo médico** : La demanda de estructuras de protección y posicionamiento en equipos de radioterapia está creciendo rápidamente, lo que impulsa la expansión del mercado de anillos de aleación de tungsteno.
- **Maquinaria de precisión y electrónica** : los anillos de aleación de tungsteno se utilizan en piezas mecánicas de alta precisión y estructuras de disipación de calor electrónicas, y continúan creciendo con la actualización de la industria electrónica.

### 7.1.4 Panorama de la competencia y concentración del mercado

El mercado de anillos de aleación de tungsteno está altamente concentrado, con empresas chinas líderes como CTIA GROUP y China Molybdenum Co., Ltd. (CMOC) liderando la cuota de mercado, fomentando una estrecha colaboración entre los sectores de la cadena de suministro y la distribución. Empresas de renombre internacional, aprovechando sus ventajas tecnológicas y la influencia de sus marcas, dominan el segmento de mercado de alta gama.

Con la mejora de las barreras técnicas y el fortalecimiento de los requisitos de protección ambiental, el umbral de entrada al mercado aumenta gradualmente. Las empresas emergentes necesitan fortalecer la inversión en I+D y la gestión de la calidad para posicionarse en la feroz competencia.

### 7.1.5 Tendencias y desafíos del desarrollo del mercado

- **Fabricación ecológica y presión ambiental** : el proceso de producción de anillos de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aleación de tungsteno tiene un alto consumo de energía y una gran carga ambiental, lo que impulsa a las empresas a acelerar la investigación y el desarrollo de procesos ecológicos y tecnologías de reciclaje.

- **Impulsados por la innovación tecnológica** : siguen surgiendo nuevos materiales y nuevos procesos (como el nano-refuerzo y la fabricación aditiva) , lo que promueve la mejora del rendimiento y la expansión de la aplicación de los anillos de aleación de tungsteno.
- **Ajustes de la cadena de suministro global** : los cambios en la geopolítica y las políticas comerciales han afectado el suministro de recursos de tungsteno y las exportaciones de productos, lo que ha impulsado a las empresas a diversificar su diseño.
- **Actualización de la demanda de terminales** : la industria manufacturera de alta gama impone mayores requisitos en la precisión, la resistencia y el rendimiento especial de los anillos de aleación de tungsteno, lo que impulsa el mercado a desarrollarse en la dirección de un alto valor agregado.

## 7.2 Análisis de los principales países productores y la cadena de suministro de anillos de aleación de tungsteno

Como componente clave de los materiales de tungsteno de alto rendimiento , la producción y la cadena de suministro de anillos de aleación de tungsteno están profundamente influenciadas por la distribución global de los recursos de tungsteno, los avances tecnológicos y la cadena industrial en su conjunto. Esta sección proporcionará un análisis detallado de los principales países productores de anillos de aleación de tungsteno y las características de su cadena de suministro.

### 7.2.1 Panorama de los principales países productores

- **China**  
es el mayor propietario y productor mundial de recursos de tungsteno, controlando más del 80% de las reservas de mineral de tungsteno. La tecnología y la producción de anillos de aleación de tungsteno de China se encuentran entre las más altas del mundo. Los fabricantes chinos de anillos de aleación de tungsteno se concentran principalmente en Luoyang, provincia de Henan; Ganzhou, provincia de Jiangxi; y Dongguan, provincia de Guangdong. Han formado una cadena industrial integral que abarca la extracción de materias primas, la fundición de polvo de tungsteno, la preparación de polvo de aleación, el moldeo y la sinterización, el mecanizado de precisión y el tratamiento de superficies.  
Gracias a las ventajas de los recursos y al control de costos, las empresas chinas ocupan una posición dominante en los mercados de gama media y baja. Además, promueven activamente la investigación y el desarrollo de tecnología de punta para reducir la brecha con las tecnologías avanzadas internacionales.
- **Rusia**  
cuenta con abundantes recursos de mineral de tungsteno y considerables ventajas en la fundición de materiales a base de tungsteno y en las tecnologías de preparación de aleaciones. Su producción de anillos de aleación de tungsteno se centra principalmente en los sectores militar y aeroespacial, con productos que destacan por su alto rendimiento y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fiabilidad. Si bien las empresas rusas suelen utilizar polvo de tungsteno importado para su posterior procesamiento, también han fortalecido sus capacidades de I+D independientes en los últimos años.

- **Estados Unidos**

cuenta con recursos limitados de tungsteno y depende principalmente de materias primas importadas para la fabricación de anillos de aleación de tungsteno. Sin embargo, Estados Unidos es líder mundial en diseño de aleaciones de alta gama y tecnología de fabricación de precisión. Los fabricantes estadounidenses atienden principalmente a mercados de alta gama, como las industrias militar, aeroespacial y nuclear, priorizando el rendimiento y la fiabilidad de sus productos. Estados Unidos promueve activamente la localización de la cadena industrial de tubos de aleación de tungsteno para reducir la dependencia externa.

- **Países como Alemania, Francia y Austria cuentan con**

recursos limitados de tungsteno, pero poseen investigación avanzada en ciencia de materiales y capacidades de fabricación de alta precisión. Los fabricantes alemanes y franceses de anillos de aleación de tungsteno se centran principalmente en productos de alto valor añadido, especialmente en los sectores aeroespacial y de dispositivos médicos. Austria, como importante proveedor de materiales de aleación de tungsteno, también suministra polvo de tungsteno y productos semiacabados de alta calidad al mercado europeo.

- **Japón y**

Corea del Sur, a pesar de su escasez de recursos, han desarrollado una industria distintiva de fabricación de anillos de aleación de tungsteno, aprovechando su sólida base industrial y su capacidad de I+D tecnológica. Estos productos se utilizan principalmente en electrónica, comunicaciones y maquinaria de alta gama, priorizando el control de la microestructura y el rendimiento funcional de los compuestos.

### 7.2.2 Análisis de la estructura de la cadena de suministro

La cadena de suministro de anillos de aleación de tungsteno cubre principalmente los siguientes enlaces clave:

- **La cadena de suministro**

comienza con la extracción de mineral de tungsteno y la producción de polvo de tungsteno. Los recursos mundiales de tungsteno están concentrados, y la calidad y pureza del mineral de tungsteno influyen directamente en el rendimiento del polvo de tungsteno. Algunos países garantizan un suministro estable de materias primas mediante reservas estratégicas y la cooperación en materia de recursos.

- **Preparación de polvo de tungsteno y de aleación.**

El control del tamaño de partícula, la pureza y la morfología del polvo de tungsteno es fundamental para determinar las propiedades de la aleación. La posterior mezcla y dosificación uniforme con metales aglutinantes como níquel, hierro y cobre es el paso fundamental de la preparación pulvimetalúrgica.

- **de moldeo**

(como el prensado en matriz y el prensado isostático) y los procesos de sinterización

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

determinan directamente la densidad, la microestructura y el rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno. Los distintos fabricantes utilizan diferentes métodos de procesamiento para optimizar la calidad del producto según la demanda del mercado.

- Los anillos de aleación de tungsteno suelen **procesarse** mediante torneado, rectificado y pulido de precisión para garantizar el control de calidad dimensional y superficial. Tratamientos superficiales como la galvanoplastia y el recubrimiento PVD pueden mejorar aún más la resistencia a la corrosión y al desgaste.
- **de tungsteno** suelen ser productos de alto valor y de alta tecnología, que requieren una protección estricta, resistencia a la humedad y a la oxidación durante el transporte y el almacenamiento. En el comercio internacional, las regulaciones de exportación y el cumplimiento de las certificaciones también influyen en la eficiencia de la cadena de suministro.

### 7.2.3 Ventajas y desafíos de la cadena de suministro

- **Ventajas**
  - China tiene importantes ventajas en recursos y una cadena de suministro completa que puede satisfacer las necesidades de producción a gran escala.
  - Países como Rusia y Estados Unidos tienen una rica acumulación tecnológica y capacidad para fabricar productos de alta gama.
  - Los países europeos, japoneses y surcoreanos son líderes en innovación de materiales y manufactura de alta gama, impulsando el progreso tecnológico.
- **desafío**
  - Los recursos de tungsteno conllevan riesgos de suministro, que son particularmente evidentes cuando el comercio internacional es tenso.
  - El alto consumo de energía y las presiones ambientales en la cadena de suministro están aumentando, y la fabricación ecológica necesita urgentemente un gran avance.
  - Existe una competencia feroz en las barreras tecnológicas y los mercados de aplicaciones de alta gama, y una diferenciación insuficiente de productos puede afectar los márgenes de ganancia.

### 7.3 Tendencia de precios y estructura de costos de los anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se ven influenciados por diversos factores, como las fluctuaciones en el mercado de materias primas, la complejidad del proceso de fabricación y los cambios en los requisitos de las aplicaciones finales. Comprender las tendencias de precios y la estructura de costos de los anillos de aleación de tungsteno es crucial para que las empresas puedan formular estrategias de producción y planificación de mercado adecuadas.

#### 7.3.1 Análisis de la tendencia de precios de los anillos de aleación de tungsteno

- **Las fluctuaciones en los precios de las materias primas influyen en la producción de anillos**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de aleación de tungsteno . El polvo de tungsteno es la materia prima principal para estos anillos, y las fluctuaciones en los precios del mineral de tungsteno impactan directamente en los costos del polvo. En los últimos años, los recursos mundiales de tungsteno se han visto afectados por factores como las políticas mineras, las restricciones ambientales y las influencias geopolíticas, lo que ha provocado fluctuaciones cíclicas en los precios del mineral. Por ejemplo, durante períodos de escasez de oferta, los precios del mineral de tungsteno se disparan, lo que impulsa el precio del polvo de tungsteno y los productos de aleación. Por el contrario, los precios caen cuando la oferta del mercado es abundante. Además, las fluctuaciones en los precios de elementos de aleación como el níquel y el hierro también impactan en los costos, especialmente durante períodos de alta volatilidad en el mercado internacional de metales.

- **Impacto de las mejoras tecnológicas y de procesos:**

Con el continuo avance de la tecnología de fabricación de anillos de aleación de tungsteno, el rendimiento de los productos que utilizan procesos avanzados de sinterización, tratamiento térmico y modificación de superficies ha mejorado significativamente, pero los costos de fabricación correspondientes también han aumentado. El precio de los anillos de aleación de tungsteno de alta gama ha mostrado una tendencia al alza, lo que refleja el aumento del contenido tecnológico y el valor añadido.

- **La demanda del mercado final está impulsando el crecimiento de la demanda de** anillos de aleación de tungsteno de alto rendimiento en los sectores aeroespacial, nuclear, militar y médico. Esto ha incrementado la demanda de productos de alta calidad e impulsado el aumento de precios. Esto es especialmente cierto en los mercados de anillos de aleación de alta gama, personalizados y de rendimiento especial, donde los precios son más flexibles y tienen margen de crecimiento.

- **El impacto del comercio internacional y las políticas, como** las restricciones comerciales, los ajustes arancelarios y el fortalecimiento de las políticas de protección ambiental, también han impulsado, en cierta medida, el precio de mercado de los anillos de aleación de tungsteno. Los controles de exportación y la repercusión de los costos de protección ambiental son factores comunes en las fluctuaciones de precios.

### 7.3.2 Análisis de la estructura de costos de los anillos de aleación de tungsteno

Los anillos de aleación de tungsteno se componen principalmente de las siguientes partes:

- **Los costos de la materia prima** (que representan aproximadamente entre el 60% y el 75%) constituyen el componente más importante del costo de los anillos de aleación de tungsteno. Esto incluye los costos de adquisición de polvo de tungsteno, níquel, hierro y otros elementos de aleación. La pureza, el tamaño de partícula y la estabilidad del suministro de polvo de tungsteno inciden directamente en los costos generales. La escasez y la dificultad de la extracción de tungsteno provocan fluctuaciones significativas en los costos de la materia prima.
- **Los costos de procesamiento y fabricación** (que representan aproximadamente entre el 15% y el 25%) incluyen el moldeo por pulvimetalurgia, la sinterización, el tratamiento térmico y el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mecanizado. El procesamiento de alta precisión requiere una gran inversión en equipos y personal técnico, y la fabricación de productos con formas complejas o propiedades especiales es aún más costosa.

- **Costos de tratamiento y pruebas de superficies** (que representan aproximadamente entre el 5% y el 10%):

Para garantizar la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno, generalmente se requieren pulido de superficies, galvanoplastia, recubrimiento PVD y otros tratamientos. Además, las estrictas inspecciones de calidad, las pruebas no destructivas y la verificación del rendimiento también incrementan los costos.

- **Los costos de gestión y logística** (que representan aproximadamente el 5%) incluyen la gestión de la producción, las tasas de cumplimiento ambiental, el embalaje, el transporte y el almacenamiento. Los anillos de aleación de tungsteno suelen ser materiales de alto valor y de alto consumo tecnológico, con exigentes requisitos de logística y transporte, y el embalaje y las medidas de protección añaden costos adicionales.

### 7.3.3 Resumen de la tendencia de precios y perspectivas futuras

En general, los precios de los anillos de aleación de tungsteno experimentan una tendencia estructural al alza, impulsada por la influencia combinada de la oferta y la demanda global de recursos de tungsteno, los avances tecnológicos de fabricación y la demanda del mercado final. Los precios de las materias primas son el factor dominante, y las fluctuaciones en los precios del polvo de tungsteno, en particular, tienen un impacto significativo en el mercado de anillos de aleación de tungsteno.

En el futuro, con el avance de la tecnología de desarrollo de recursos de tungsteno y el progreso de la investigación de materiales alternativos, se prevé que los costos de las materias primas se estabilicen. Al mismo tiempo, la inteligenteización y automatización de los procesos de fabricación reducirá los costos de procesamiento y mejorará la eficiencia de la producción. La creciente demanda de anillos de aleación de tungsteno de alto rendimiento, especialmente en los sectores de las nuevas energías, la industria aeroespacial y los equipos de alta gama, sugiere que los precios de los anillos de aleación de tungsteno mantendrán un margen de crecimiento razonable.

Las empresas deben prestar mucha atención a la dinámica del mercado de materias primas, optimizar la estructura de costos, fortalecer la innovación tecnológica y la diferenciación de productos, a fin de mantener las ventajas de precios y los márgenes de ganancia en la feroz competencia del mercado.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

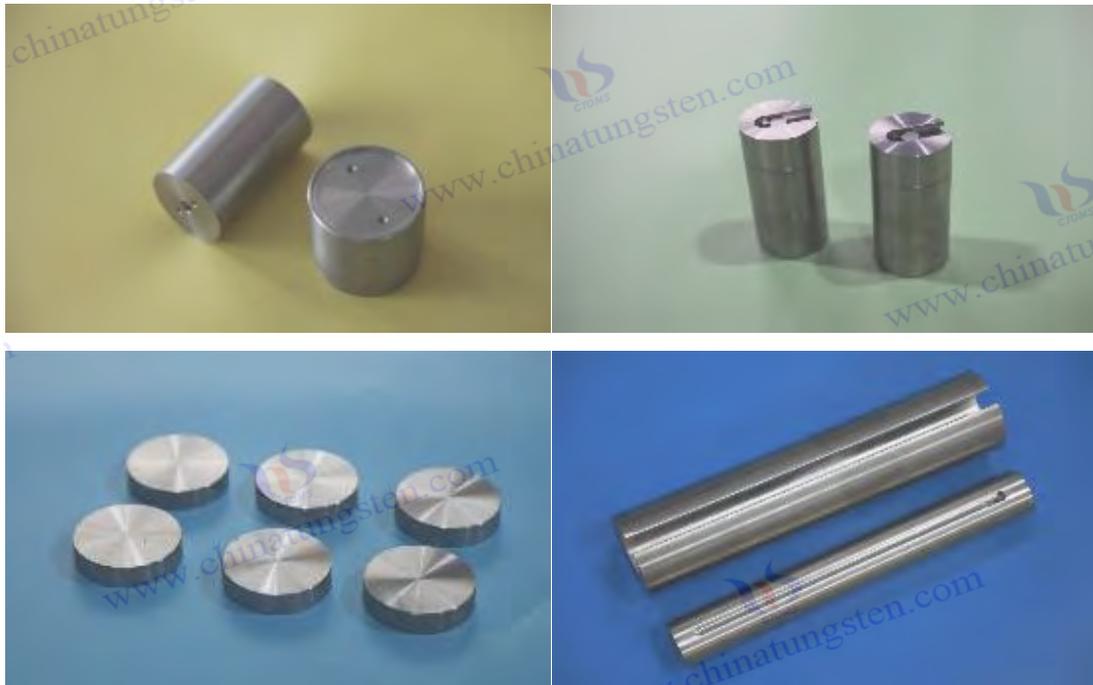
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

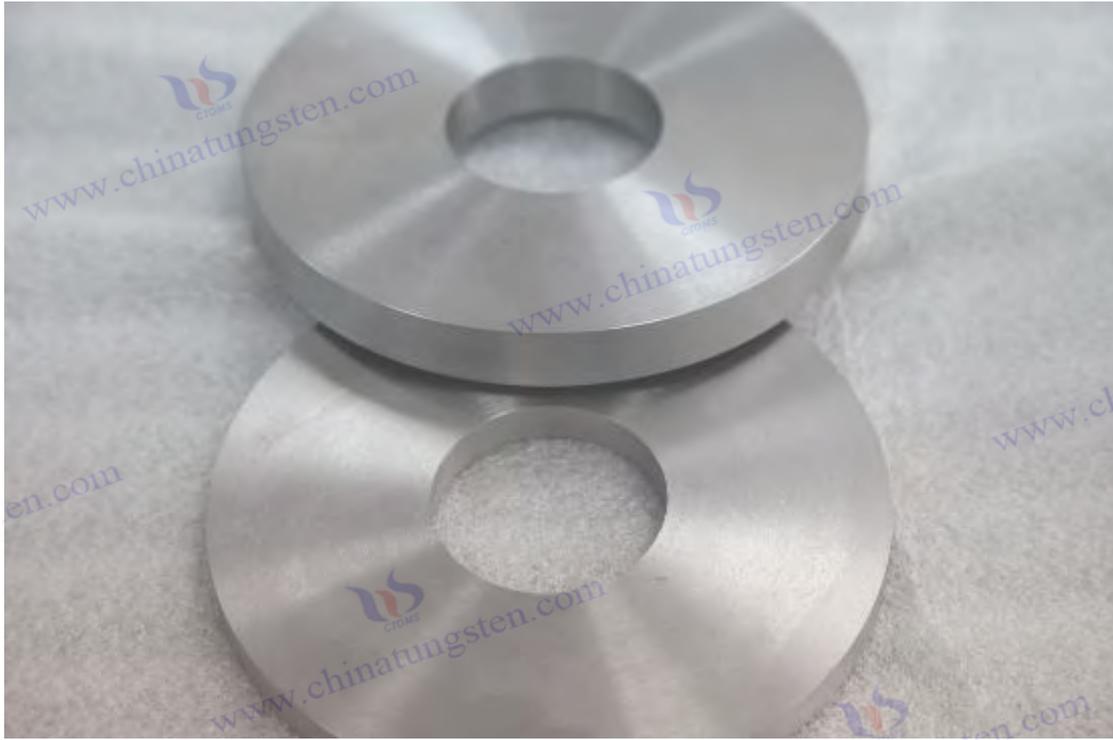
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



## Capítulo 8 Tendencia de desarrollo futuro del anillo de aleación de tungsteno

### 8.1 Nuevos materiales y sistemas de aleación para anillos de aleación de tungsteno

Con el continuo avance de la ciencia y la tecnología, y la diversificación de las necesidades de aplicación, los materiales para anillos de aleación de tungsteno están evolucionando hacia un alto rendimiento, funcionalidad y diversificación. La investigación y el desarrollo de nuevos materiales y sistemas de aleación se ha convertido en un factor clave para impulsar el desarrollo futuro de los anillos de aleación de tungsteno, lo cual se manifiesta específicamente en los siguientes aspectos:

#### 1. Desarrollo de sistemas de aleación multielemento de alto rendimiento.

Los anillos de aleación de tungsteno tradicionales se basan principalmente en sistemas de aleación de tungsteno-níquel-hierro o tungsteno-níquel-cobre. Para satisfacer la demanda de mayor resistencia, tenacidad y propiedades físicas especializadas, los investigadores han comenzado a explorar sistemas de aleación multielemento que incorporan elementos adicionales, como molibdeno, titanio, niobio y cromo. Estas nuevas aleaciones no solo mejoran las propiedades mecánicas generales de las aleaciones de tungsteno, sino que también mejoran su resistencia al calor, a la corrosión y a la radiación, ampliando así el rango de aplicación de los anillos de aleación de tungsteno en condiciones de trabajo extremas.

#### 2. Los sistemas de aleaciones nanoestructuradas y con gradiente funcional

mejoran significativamente el rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno mediante el reforzamiento de nanogranos y el diseño microestructural. Las aleaciones nanoestructuradas mejoran la resistencia y la tenacidad al refinar los granos e inhibir la propagación de grietas. Además, las aleaciones con gradiente funcional logran una variación espacial en las propiedades del material,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

como la integración de una capa de alta dureza en la superficie y una capa central tenaz. Esto cumple con los múltiples requisitos de rendimiento de entornos de servicio complejos y mejora significativamente la durabilidad y la fiabilidad de los anillos de aleación de tungsteno.

### **3. Materiales compuestos y sistemas de aleación multifásica:**

Los nuevos anillos de aleación de tungsteno incorporan fases cerámicas (como carburos y nitruros) u otras fases metálicas para crear una estructura compuesta metalocerámica. Este sistema de aleación multifásica combina la tenacidad del metal con la alta dureza y resistencia al desgaste de la cerámica. Es adecuado para aplicaciones extremas que requieren alta resistencia, alta resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas, lo que amplía el rendimiento general de los anillos de aleación de tungsteno.

### **4. Alta conductividad térmica, alta conductividad eléctrica y diseño de aleación antimagnética:**

Para satisfacer la demanda de materiales funcionales en campos como la refrigeración electrónica y la industria aeroespacial, el nuevo sistema de materiales para anillos de aleación de tungsteno también se centra en optimizar las propiedades térmicas, eléctricas y magnéticas. Mediante un control racional de la composición y la microestructura de la aleación, se logra una alta conductividad térmica, excelentes propiedades eléctricas y una respuesta magnética específica, satisfaciendo así los diversos requisitos de rendimiento de los materiales en aplicaciones especializadas.

### **5. Materiales de aleación ecológicos y respetuosos con el medio ambiente:**

Ante las crecientes exigencias de las normativas ambientales, el desarrollo de materiales para anillos de aleación de tungsteno con bajo impacto ambiental, fácil reciclaje y cumplimiento de las normas RoHS y REACH se ha convertido en un objetivo clave. Los nuevos sistemas de aleación no solo priorizan la mejora del rendimiento, sino que también se centran en la gestión del ciclo de vida del material y el desarrollo sostenible, impulsando la transformación ecológica de la industria de los anillos de aleación de tungsteno.

## **8.2 Tecnología de fabricación avanzada de anillos de aleación de tungsteno (fabricación aditiva) Fabricación, etc.)**

Con la continua innovación en la tecnología de fabricación, el proceso tradicional de fabricación de anillos de aleación de tungsteno está experimentando cambios revolucionarios. Las tecnologías de fabricación avanzadas, en especial los procesos emergentes como la fabricación aditiva (impresión 3D), el prensado isostático en caliente de precisión y el moldeo por inyección de polvo, aportan una flexibilidad y eficiencia sin precedentes al diseño y la producción de anillos de aleación de tungsteno. A continuación, se presentan las principales direcciones de desarrollo y las características de aplicación de las tecnologías actuales y futuras de fabricación de anillos de aleación de tungsteno:

### **1. Aplicación de la tecnología de fabricación aditiva en anillos de aleación de tungsteno.**

La tecnología de fabricación aditiva, en particular las tecnologías de fusión por lecho de polvo, como la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones (EBM), permite formar directamente formas geométricas complejas de anillos de aleación de tungsteno, lo que reduce considerablemente el desperdicio de material y la complejidad del proceso tradicional. Entre sus

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

ventajas específicas se incluyen:

- **Moldeo de una sola pieza de estructura compleja** : a través del apilamiento capa por capa, se logran canales internos complejos, estructuras porosas y diseños livianos que son difíciles de procesar con los procesos tradicionales, mejorando así la integración funcional de los anillos de aleación de tungsteno.
- **Iteración rápida y producción personalizada** : adapte a las necesidades de producción de lotes pequeños y múltiples variedades, admita la modificación rápida del diseño y la producción en función de la personalización del cliente y realice una fabricación personalizada.
- **Alta tasa de utilización del material** : el polvo de aleación de tungsteno se forma directamente, lo que reduce significativamente la generación de desechos y los costos de procesamiento, y tiene obvios efectos de fabricación ecológica.

Sin embargo, el alto punto de fusión, la alta densidad y la conductividad térmica del polvo de aleación de tungsteno imponen exigencias estrictas a los equipos y procesos de fabricación aditiva. La optimización de los parámetros del proceso y el posterior tratamiento térmico siguen siendo objetivos de investigación.

## 2. Optimización de la tecnología de prensado isostático en caliente (HIP) de precisión

El prensado isostático en caliente (HIP) logra una alta densificación de los anillos de aleación de tungsteno mediante la acción uniforme de gas a alta temperatura y presión, eliminando la porosidad interna y los defectos, y mejorando significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad. En los últimos años, el proceso HIP, combinado con la pulvimetalurgia y las tecnologías de tratamiento térmico, ha impulsado avances continuos en el rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno, especialmente en cuanto a durabilidad a alta temperatura y resistencia a la fatiga.

## 3. Promoción de la tecnología de moldeo por inyección de polvo (PIM)

El moldeo por inyección de polvo (PIM) combina la pulvimetalurgia con las técnicas de moldeo por inyección de plástico (PIM), lo que lo hace ideal para la fabricación de anillos de aleación de tungsteno complejos y de alta precisión. El PIM ofrece ventajas como una alta eficiencia de conformado, una excelente calidad superficial y un posprocesamiento mínimo, y se ha adoptado gradualmente en la producción en masa de anillos de aleación de tungsteno de alta gama.

## 4. Tecnología de fabricación de compuestos e integración de múltiples materiales

En el futuro, la fabricación de anillos de aleación de tungsteno evolucionará hacia la integración de compuestos multimateriales. Al combinar la fabricación aditiva con el mecanizado tradicional, se pueden fabricar de forma colaborativa estructuras con grado funcional y recubrimientos para mejorar la superficie. Esta tecnología de fabricación de compuestos puede proporcionar a los anillos de aleación de tungsteno un rendimiento general superior, satisfaciendo las necesidades de aplicaciones en entornos extremos como la industria aeroespacial, la energía nuclear y la medicina.

## 5. Fabricación inteligente y control digital de procesos

Con el avance de la Industria 4.0, las tecnologías de fabricación inteligente incorporan

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

monitorización de sensores, retroalimentación de datos en tiempo real y algoritmos de optimización de IA para lograr un control preciso y un seguimiento de la calidad durante el proceso de producción de anillos de aleación de tungsteno. Las tecnologías de diseño y simulación digital también aceleran el ciclo de desarrollo y la optimización de procesos de nuevos anillos de aleación de tungsteno .

### 8.3 Tecnología de recuperación y reciclaje de anillos de aleación de tungsteno

Ante la creciente escasez de recursos de tungsteno y el endurecimiento de las normativas ambientales, el reciclaje y la reutilización de anillos de aleación de tungsteno se han convertido en un elemento clave para garantizar el uso sostenible de los recursos y reducir los costes de producción. El reciclaje de anillos de aleación de tungsteno no solo contribuye a la conservación de recursos metálicos estratégicos, sino que también reduce la contaminación ambiental y promueve el desarrollo de la fabricación ecológica. A continuación, se presentan las principales tecnologías y tendencias en el reciclaje y la reutilización de anillos de aleación de tungsteno:

#### 1. Importancia de la recuperación de anillos de aleación de tungsteno

- El tungsteno es un metal raro con reservas limitadas y una distribución desigual. El reciclaje y la utilización pueden aliviar eficazmente la presión sobre el suministro de recursos de tungsteno.
- Los anillos de aleación de tungsteno suelen contener una alta proporción de elementos de tungsteno. Si no se reciclan tras su desecho, se desperdiciará una gran cantidad de metal precioso.
- El reciclaje ayuda a reducir la carga ambiental de la extracción y fundición de minerales durante la producción de aleaciones de tungsteno y está en línea con el concepto de desarrollo sostenible.

#### 2. Principales formas de reciclar anillos de aleación de tungsteno

- **El reciclaje mecánico**  
implica el corte, la trituración y otros métodos mecánicos para procesar inicialmente los anillos de aleación de tungsteno de desecho, obteniendo partículas o polvo de aleación de tungsteno reutilizables. Este método es adecuado para anillos de aleación de tungsteno de desecho con estructura intacta y baja contaminación.
- **El reciclaje químico**  
utiliza métodos químicos como la lixiviación ácida y la fusión alcalina para disolver el elemento tungsteno del anillo de aleación de tungsteno. Mediante procesos de precipitación y purificación, se obtienen compuestos de tungsteno de alta pureza o tungsteno metálico. Este método es adecuado para reciclar residuos mixtos complejos y puede eliminar eficazmente las impurezas.
- **El reciclaje por tratamiento térmico**  
utiliza la fundición y la tostación a alta temperatura para recuperar tungsteno y elementos de aleación de anillos de aleación de tungsteno, logrando así la recuperación del metal y la regeneración de la aleación. Este método requiere una alta pureza de los residuos y una

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gran inversión en equipos.

### 3. Desafíos de la tecnología de recuperación de anillos de aleación de tungsteno

- Los anillos de aleación de tungsteno contienen elementos de aleación como níquel y hierro. Durante el proceso de reciclaje, es necesario separar eficazmente el tungsteno de otros metales para garantizar la pureza y el rendimiento de los materiales reciclados.
- Los anillos de aleación de tungsteno de desecho pueden contener recubrimientos, impurezas y contaminantes, lo que agrega complejidad y costo al proceso de reciclaje.
- El impacto ambiental del proceso de reciclaje debe controlarse estrictamente para evitar la contaminación secundaria.

### 4. Tendencias de desarrollo de tecnologías avanzadas de reciclaje

- **Los procesos de reciclaje verde**  
promueven tecnologías de reciclaje químico inofensivas y de bajo consumo energético, como la tecnología de biolixiviación, para reducir el uso de productos químicos nocivos y lograr un reciclaje respetuoso con el medio ambiente.
- **La tecnología de separación de alta eficiencia**  
combina múltiples tecnologías como la separación magnética, la flotación y la separación electroquímica para mejorar la eficiencia de separación y la tasa de recuperación de tungsteno y elementos de aleación.
- El polvo de aleación de tungsteno recuperado mediante **tecnología de remanufactura de materiales se puede utilizar directamente en**  
tecnologías de preparación avanzadas, como fabricación aditiva y moldeo por inyección de polvo, logrando una utilización de materiales en circuito cerrado.
- **La gestión inteligente del reciclaje**  
utiliza Internet de las cosas y tecnologías de big data para lograr el seguimiento, la clasificación y el control de calidad de todo el proceso de reciclaje de anillos de aleación de tungsteno de desecho y mejorar el nivel de gestión científica del sistema de reciclaje.

### 8.4 Aplicaciones potenciales de los anillos de aleación de tungsteno en la tecnología de vanguardia

Con el continuo avance de la ciencia de los materiales y la tecnología de fabricación de vanguardia, los anillos de aleación de tungsteno han demostrado un amplio potencial de aplicación en numerosos campos científicos y tecnológicos de vanguardia gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas. A continuación, se analizan las posibles aplicaciones innovadoras de los anillos de aleación de tungsteno en diversas áreas científicas y tecnológicas importantes:

#### 1. Equipos de detección aeroespacial y del espacio profundo de alto rendimiento

de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, alta resistencia y excelente resistencia a altas temperaturas, son adecuados para su uso en bloques de masa inercial de naves espaciales, contrapesos de control de actitud y componentes de sellado y conexión en entornos de alta

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperatura. Las futuras misiones de exploración del espacio profundo requerirán materiales con una adaptabilidad aún mayor a entornos extremos, y los anillos de aleación de tungsteno pueden proporcionar un soporte estructural y funcional crucial para las naves espaciales.

## **2. Fusión nuclear y equipos de energía nuclear de alta gama**

En los reactores de fusión nuclear y los dispositivos avanzados de energía nuclear, los materiales deben soportar radiación intensa, temperaturas extremas y entornos corrosivos. Los anillos de aleación de tungsteno, con su excelente capacidad de blindaje contra la radiación y estabilidad térmica, pueden utilizarse en componentes estructurales, anillos de blindaje y absorbedores de neutrones dentro de los reactores nucleares, contribuyendo así al desarrollo controlado de la tecnología de fusión nuclear.

## **3. Aplicaciones en computación cuántica e instrumentos de alta precisión**

Las computadoras cuánticas y los instrumentos de medición de alta precisión exigen materiales con un apantallamiento electromagnético, un coeficiente de expansión térmica y una estabilidad mecánica extremadamente altos. El bajo coeficiente de expansión térmica y el excelente apantallamiento electromagnético de los anillos de aleación de tungsteno los convierten en materiales ideales para el apantallamiento de estructuras y soportes mecánicos en dispositivos cuánticos, mejorando eficazmente la estabilidad del sistema y la precisión computacional.

## **4. Equipos de fabricación de microelectrónica y semiconductores**

Los anillos de aleación de tungsteno se utilizan como contrapesos estables de alta densidad y componentes resistentes al desgaste y a altas temperaturas en equipos de fabricación de microelectrónica, lo que facilita un control preciso del movimiento y un funcionamiento estable a largo plazo. Además, la resistencia a la corrosión del tungsteno puede prolongar la vida útil de componentes clave y mejorar la eficiencia general de la línea de producción.

## **5. Equipos médicos de alta gama y sistemas de radioterapia**

Los anillos de aleación de tungsteno los hacen ideales para dispositivos de posicionamiento de precisión y anillos de protección contra la radiación en equipos de radioterapia, lo que garantiza la seguridad y precisión del tratamiento. A medida que la tecnología médica evoluciona hacia tratamientos mínimamente invasivos y precisos, los anillos de aleación de tungsteno desempeñarán un papel cada vez más importante en los dispositivos médicos.

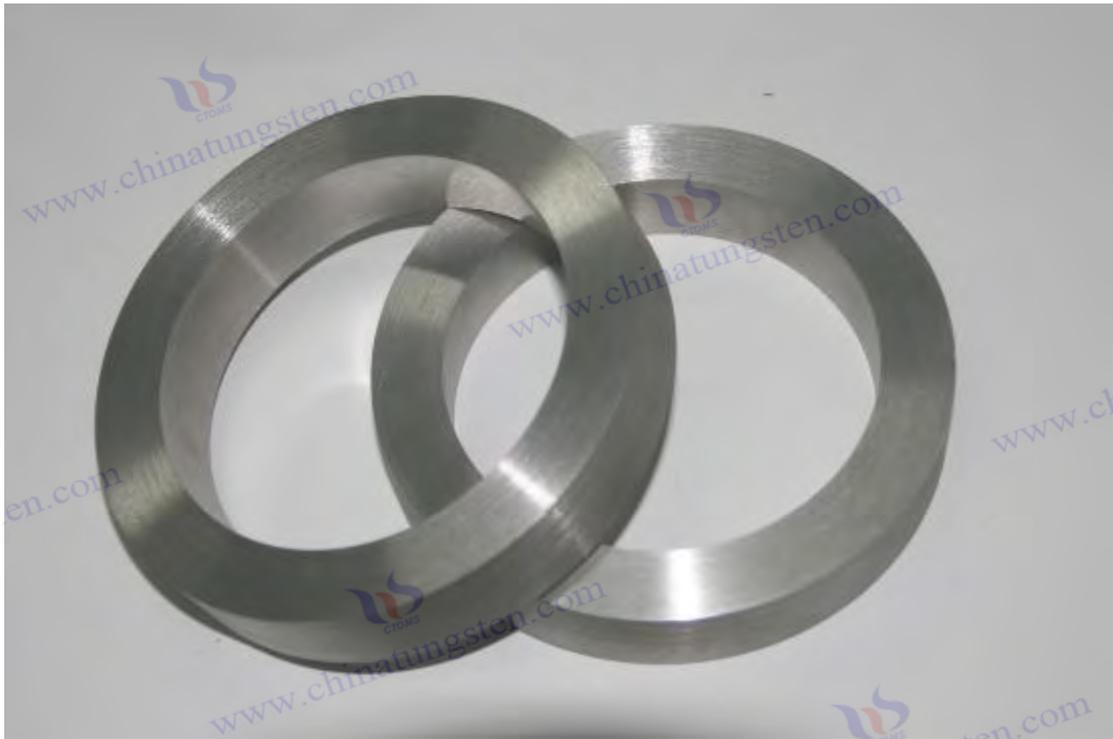
## **6. Nuevos sistemas de energía y almacenamiento de energía**

En la energía del hidrógeno, las pilas de combustible y los sistemas avanzados de almacenamiento de energía, los anillos de aleación de tungsteno pueden utilizarse como elementos de resistencia estructural y componentes de blindaje electromagnético para mejorar la seguridad y la durabilidad del sistema. Su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión también garantiza el funcionamiento estable y a largo plazo de los nuevos equipos energéticos.

## **7. Fabricación aditiva y equipos de fabricación inteligente**

### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Los anillos de aleación de tungsteno son adecuados para componentes clave en equipos de fabricación aditiva (impresión 3D), lo que facilita la fabricación precisa de piezas complejas. La rápida respuesta y las altas exigencias de rendimiento de los materiales en el campo de la fabricación inteligente han propiciado la aplicación generalizada de anillos de aleación de tungsteno en equipos automatizados.



## Un apéndice

### Apéndice 1: Datos físicos y químicos comunes de los anillos de aleación de tungsteno

Este apéndice resume los datos de propiedades físicas y químicas comúnmente utilizados en el diseño, la fabricación y la aplicación de anillos de aleación de tungsteno para referencia de ingenieros, técnicos e investigadores para facilitar la selección de materiales, la optimización de procesos y la evaluación del rendimiento.

Categoría de parámetro	de proyecto	Rango de valores típicos	Observación
<b>Propiedades físicas</b>	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	17.0 – 18.8	Dependiendo del contenido de tungsteno y la composición de la aleación
	proporción	17.0 – 18.8	Equivalente a la densidad
	Punto de fusión (°C)	3422	Punto de fusión del tungsteno
	Coeficiente de expansión térmica (×10 <sup>-6</sup> /K)	4.5 – 6.0	Los diferentes sistemas de aleación tienen ligeras diferencias
	Conductividad térmica (W/m·K)	100 – 150	Varía según la composición de la aleación.
	Conductividad (% IACS)	5 – 15	Influencia del contenido de níquel y hierro
<b>Propiedades</b>	Resistencia a la tracción	500 – 900	Depende de la relación de aleación y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<b>mecánicas</b>	(MPa)		del proceso de tratamiento térmico.
	Límite elástico (MPa)	300 – 700	
	Tenacidad a la fractura (MPa·m <sup>1/2</sup> )	10 – 25	
	Dureza (HV)	200 – 350	Según diferentes ingredientes y procesos.
<b>composición química</b>	Contenido de tungsteno (W, %)	85 – 98	Diferentes tipos de aleaciones
	Contenido de níquel (Ni, %)	1 – 12	
	Contenido de hierro (Fe, %)	1 – 12	
	Otros elementos de aleación	0 – 3	Como el cobre, molibdeno, etc.
	Contenido de oxígeno (O, ppm)	< 100	Afecta la fragilidad y las propiedades mecánicas.
	Contenido de carbono (C, ppm)	< 50	
<b>propiedades de la superficie</b>	Ra, (μm)	0,1 – 1,0	Según la tecnología de procesamiento
	Espesor del revestimiento de la superficie (μm)	1 – 50	Dependiendo del tipo de recubrimiento

**Observación:**

- Los datos anteriores son valores típicos. El rendimiento específico se ve afectado por factores como la composición de la aleación, el proceso de preparación, el tratamiento térmico y el entorno de uso.
- Los parámetros de rendimiento físico son aplicables a las condiciones de temperatura ambiente y deben ajustarse según el entorno de uso real.
- El contenido de impurezas en la composición química tiene una gran influencia en el rendimiento de los anillos de aleación de tungsteno y debe controlarse estrictamente.
- Los parámetros característicos de la superficie se refieren principalmente al estado después del procesamiento o recubrimiento, lo que afecta la vida útil y el rendimiento funcional.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Apéndice 2: Tabla comparativa de normas internacionales para anillos de aleación de tungsteno

Este apéndice resume las principales normas internacionales relacionadas con los anillos de aleación de tungsteno, cubriendo especificaciones de materiales, pruebas de rendimiento, control de calidad y especificaciones de aplicación, para conveniencia de referencia para ingenieros y personal de gestión de calidad.

Sistema estándar	Norma N°	Nombre estándar (chino)	Nombre estándar (inglés)	Breve descripción del ámbito de aplicación y contenido
<b>Norma Nacional China (GB)</b>	GB/T 1234-xxxx	Requisitos técnicos del material de aleación de tungsteno	Condiciones técnicas para materiales de aleación de tungsteno	Anillos de aleación de tungsteno y productos relacionados
	GB/T 5678-xxxx	Método de prueba de propiedades mecánicas de anillos de aleación de tungsteno	Métodos de prueba de propiedades mecánicas para anillos de aleación de tungsteno	Normas de prueba para las propiedades mecánicas de los anillos de aleación de tungsteno
<b>Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM)</b>	ASTM B777-xxxx	Especificaciones del material de aleación de tungsteno	Especificación estándar para materiales de aleación de tungsteno	Composición, propiedades y estándares del proceso de fabricación de anillos de aleación de tungsteno
	ASTM E8/E8M-xxxx	Normas de ensayo de tracción para materiales metálicos	Métodos de prueba estándar para pruebas de tensión de materiales metálicos	Método de prueba de las propiedades de tracción de los anillos de aleación de tungsteno
<b>Estándar militar de EE.UU. (MIL)</b>	MIL-DTL-xxxx	Requisitos técnicos para anillos militares de aleación de tungsteno	Especificación detallada militar para anillos de aleación de tungsteno	Requisitos de rendimiento y calidad de los productos militares con anillos de aleación de tungsteno
<b>Organización Internacional de Normalización (ISO)</b>	ISO 11945:xxxx	Especificaciones técnicas generales para materiales de aleación de tungsteno	Materiales de aleación de tungsteno: especificaciones técnicas generales	Especificaciones de materiales de aleación de tungsteno aceptadas internacionalmente
	ISO 6507-1:xxxx	Método de prueba de dureza Vickers	Materiales metálicos — Prueba de dureza Vickers — Parte 1	Método estándar para la prueba de dureza de anillos de aleación de tungsteno
<b>Normas</b>	EN 12502-	Propiedades y	Rendimiento y pruebas de aleaciones	Especificaciones de control de

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

europas (EN)	xxxx	pruebas de los materiales de aleación de tungsteno	de tungsteno	calidad y pruebas de rendimiento de anillos de aleación en la UE
Normas de cumplimiento ambiental	Directiva RoHS 2011/65/UE	Directiva sobre la restricción del uso de sustancias peligrosas	Directiva sobre restricción de sustancias peligrosas	Anillos de aleación de tungsteno y requisitos de cumplimiento ambiental
	REACH (CE) n.º 1907/2006	Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REC)	Reglamento de Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas	Requisitos de cumplimiento para sustancias químicas en materiales de anillos de aleación de tungsteno

**Observación:**

- "xxxx " en el número estándar indica diferentes versiones y años específicos. Se debe confirmar la versión más reciente para su aplicación real.
- Los requisitos estándar para los anillos de aleación de tungsteno varían según el país y la región . Se deben seleccionar proyectos específicos según el mercado objetivo.
- Algunas normas se centran en las pruebas de rendimiento, mientras que otras se centran en la composición química del material y el cumplimiento ambiental, y ambas deben aplicarse en combinación.
- Las empresas deben establecer un sistema de gestión de calidad que cumpla con los estándares nacionales e internacionales basados en las necesidades reales de producción y aplicación.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### Apéndice III: Glosario de anillos de aleación de tungsteno y abreviaturas en inglés

Este apéndice resume los términos comúnmente utilizados en el campo de los anillos de aleación de tungsteno y sus expresiones correspondientes en inglés, así como explicaciones de las abreviaturas relacionadas, para facilitar la comprensión y la comunicación entre técnicos, personal de I+D y gerentes.

Terminología china	Terminología inglesa	Abreviaturas	Explicación
<b>Anillo de aleación de tungsteno</b>	Anillo de aleación de tungsteno	—	Las piezas estructurales anulares hechas de materiales de aleación a base de tungsteno se utilizan ampliamente en campos de alta gama.
<b>Metalurgia de polvos</b>	Metalurgia de polvos	P.M	Una tecnología para preparar materiales metálicos mediante procesos de prensado y sinterización de polvo.
<b>sinterización</b>	Sinterización	—	El proceso de combinar partículas de polvo a altas temperaturas para formar un sólido denso.
<b>microestructura</b>	Microestructura	—	Las características estructurales internas de un material observadas bajo un microscopio.
<b>densidad</b>	Densidad/Compactitud	—	La estanqueidad del material afecta sus propiedades mecánicas y físicas.
<b>resistencia a la tracción</b>	Resistencia a la tracción	TS	La tensión máxima a la que un material resiste la fractura por tracción.
<b>Fuerza de fluencia</b>	Fuerza de fluencia	YS	El valor de tensión en el que el material comienza a deformarse plásticamente.
<b>tenacidad a la fractura</b>	Tenacidad a la fractura	—	La capacidad de un material para resistir el crecimiento de grietas.
<b>dureza</b>	Dureza	—	La capacidad de resistir deformaciones locales o rayones se expresa generalmente en dureza Vickers (HV).
<b>granularidad</b>	Tamaño del grano	—	El tamaño de los granos en la microestructura del material afecta las propiedades del material.
<b>Envasado al vacío</b>	Envasado al vacío	—	El material se envasa al vacío para evitar la oxidación y la contaminación.
<b>Fabricación aditiva</b>	Fabricación aditiva	SOY	Una tecnología que construye piezas mediante la adición de materiales capa por capa, como la impresión 3D.
<b>rugosidad de la superficie</b>	Rugosidad de la superficie	—	El grado de ondulaciones microscópicas en la superficie de un material.
<b>Pruebas ultrasónicas</b>	Prueba ultrasónica	Utah	Un método de prueba no destructivo que utiliza ondas ultrasónicas para detectar defectos internos en los materiales.
<b>Inspección por rayos X</b>	Prueba de rayos X	XRT	Utilice rayos X para realizar pruebas no destructivas en materiales para detectar defectos internos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<b>Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente</b>	Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente	ICP-MS	Tecnología analítica utilizada para detectar la composición de oligoelementos en materiales.
<b>microscopio electrónico</b>	Microscopio electrónico	EM	Microscopios de alta resolución para observar la microestructura de materiales.
<b>Directiva RoHS</b>	Directiva sobre restricción de sustancias peligrosas	RoHS	Normativa medioambiental de la UE sobre la restricción del uso de sustancias peligrosas.
<b>Reglamento REACH</b>	Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas	ALCANZAR	de la UE sobre registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos.
<b>Dureza Vickers</b>	Dureza Vickers	Alto voltaje	Un método comúnmente utilizado para medir la dureza del metal.
<b>partículas de polvo</b>	Partícula de polvo	—	La distribución del tamaño de partícula de las partículas de materia prima utilizadas para preparar anillos de aleación de tungsteno afecta la calidad del producto terminado.
<b>Microaleación</b>	Microaleación	—	Una tecnología que añade elementos de aleación traza a la matriz para mejorar el rendimiento.
<b>Refuerzo de nanopartículas</b>	Refuerzo de nanopartículas	—	Una técnica para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales mediante la dispersión de nanopartículas.
<b>Coaxialidad</b>	Concentricidad	—	La concentricidad de los diámetros interior y exterior del anillo de aleación de tungsteno afecta la precisión del ajuste.
<b>Recubrimiento anticorrosión</b>	Recubrimiento anticorrosión	—	Un recubrimiento que protege la superficie de un material de la corrosión química.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

**Core advantages:** 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

**Precision customization:** support high density (17-19 g/cm<sup>3</sup>), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

**Quality cost:** optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

**Advanced capabilities:** advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

#### 100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

#### Service commitment

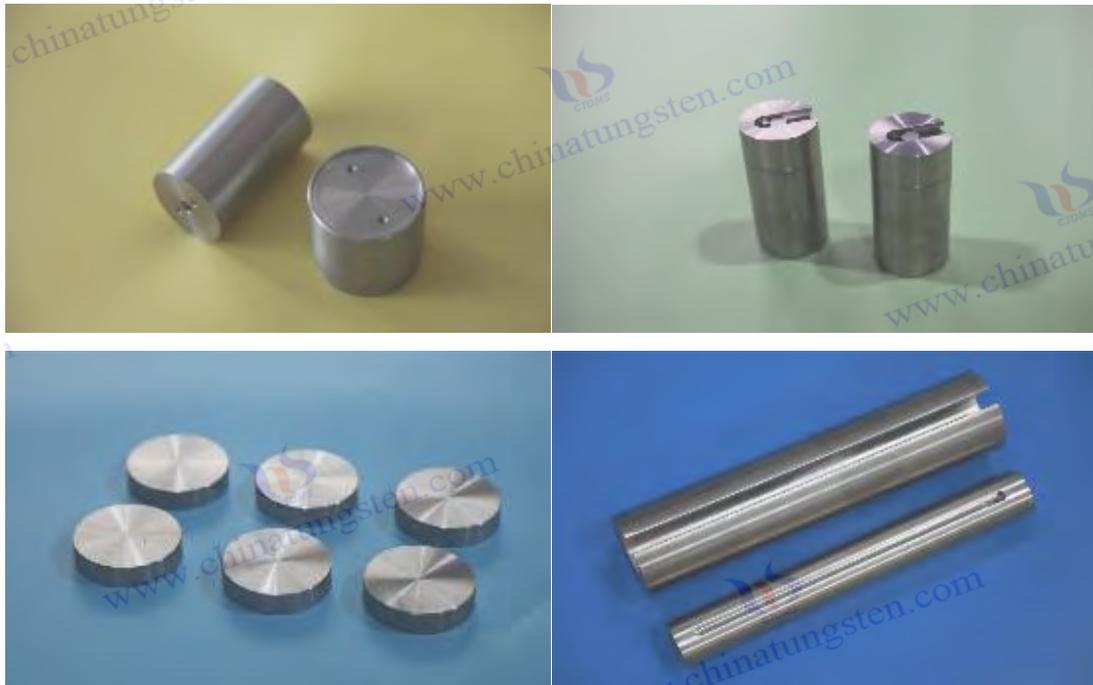
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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