

# Enciclopedia de placas 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

## Tabla de contenido

### Capítulo 1: Conceptos básicos e historia del desarrollo de las placas de aleación de tungsteno

- 1.1 Definición y características básicas de las placas de aleación de tungsteno
- 1.2 Formación e historia del desarrollo de las placas de aleación de tungsteno
- 1.3 Clasificación de las placas de aleación de tungsteno (por composición, proceso y uso)
- 1.4 Similitudes y diferencias entre las placas de aleación de tungsteno, las varillas de tungsteno, los alambres de tungsteno y las placas de tungsteno-cobre
- 1.5 Descripción general de la evolución de la tecnología de las placas de aleación de tungsteno a nivel nacional e internacional y las patentes

### Capítulo 2: Propiedades físicas y mecánicas de las placas de aleación de tungsteno

- 2.1 Densidad, gravedad específica y precisión del control dimensional
- 2.2 Resistencia a la tracción, límite elástico y tenacidad a la fractura
- 2.3 Dureza y resistencia al desgaste
- 2.4 Conductividad térmica, coeficiente de expansión térmica y estabilidad a alta temperatura
- 2.5 Propiedades eléctricas, respuesta magnética y resistencia a la radiación
- 2.6 Análisis de la resistencia a la corrosión y estabilidad química

### Capítulo 3: Tecnología de preparación y conformado de placas de aleación de tungsteno

- 3.1 Selección de materia prima y procesamiento de polvo de tungsteno y metal aglutinante
- 3.2 Proceso de preparación por pulvimetalurgia (prensado, prensado isostático, sinterizado)
- 3.3 Procesos de conformado por laminado en caliente y laminado en frío
- 3.4 Tecnologías de tratamiento de superficies (pulido, decapado, galvanoplastia, PVD)
- 3.5 Aplicaciones del revestimiento láser y la fabricación aditiva en láminas metálicas
- 3.6 Tecnologías de fabricación de láminas metálicas con refuerzo de nanopartículas y gradación funcional

### Capítulo 4: Inspección de calidad y evaluación del rendimiento de placas de aleación de tungsteno

- 4.1 Detección de dimensiones geométricas y planitud de la superficie
- 4.2 Caracterización de la microestructura y la densidad (SEM, XRD)
- 4.3 Estándares de prueba de propiedades mecánicas (ASTM, GB, ISO)
- 4.4 Análisis de composición elemental y contenido de impurezas (ICP, XRF, ONH)
- 4.5 Detección de defectos superficiales (ultrasónicos, tomografía computada, corrientes de Foucault, polvo magnético)
- 4.6 Evaluación de la rugosidad de la superficie y adhesión del recubrimiento

### Capítulo 5: Campos de aplicación típicos de las placas de aleación de tungsteno

- 5.1 Placas de blindaje y dispositivos de control térmico para la industria nuclear
- 5.2 Estructuras de protección aeroespacial y placas de contrapeso
- 5.3 Placas de protección de alta densidad en dispositivos de radioterapia médica
- 5.4 Placas de aleación de tungsteno para paredes de hornos de alta temperatura y entornos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

térmicos

5.5 Placas compuestas de acero para matrices y revestimientos de piezas mecánicas

5.6 Estructuras de disipación de calor y resistentes a la radiación en instrumentos de precisión y productos electrónicos

## **Capítulo 6: Investigación, desarrollo e innovación de placas especiales de aleación de tungsteno**

6.1 Preparación y propiedades de placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas

6.2 Estrategias de microaleación y diseño de aleaciones multicomponentes

6.3 Optimización de la microestructura y tratamiento térmico de placas de aleación de tungsteno de alta temperatura

6.4 Mecanismo de unión de la interfaz de placas compuestas de tungsteno-cobre/tungsteno-níquel

6.5 Desarrollo de recubrimientos superficiales para placas resistentes al desgaste y a la corrosión

6.6 Diseño de placas de aleación de tungsteno funcionales térmicamente conductoras, eléctricamente conductoras y antimagnéticas

## **Capítulo 7: Normas internacionales y sistemas de calidad para placas de aleación de tungsteno**

7.1 Normas chinas para placas de aleación de tungsteno (GB/T, YS/T)

7.2 Interpretación de las normas estadounidenses (ASTM, MIL)

7.3 Recopilación de normas europeas e ISO para placas de aleación de tungsteno

7.4 Requisitos de cumplimiento ambiental de RoHS, REACH y MSDS

7.5 Sistemas de gestión de calidad en los campos de la aviación, nuclear y médico (AS9100, ISO 13485, etc.)

## **Capítulo 8: Embalaje, almacenamiento y transporte de placas de aleación de tungsteno**

8.1 Materiales y formas de embalaje (embalaje al vacío, desecante, embalaje en palés)

8.2 Requisitos del entorno de almacenamiento y medidas antioxidantes y a prueba de humedad

8.3 Precauciones y regulaciones para el transporte nacional e internacional

## **Capítulo 9: Estructura industrial y tendencias del mercado de placas de aleación de tungsteno**

9.1 Estado global de los recursos de tungsteno y cadena de procesamiento de placas

9.2 Capacidad del mercado de placas de aleación de tungsteno y análisis del crecimiento futuro

9.3 Placas de aleación de tungsteno de C TIA GROUP LTD

9.4 Análisis del vínculo entre los costos de las materias primas, los precios de la energía y los precios de las placas

9.5 Barreras tecnológicas y estrategia de desarrollo de la cadena industrial

## **Capítulo 10: Fronteras de la investigación y direcciones de desarrollo de las placas de aleación de tungsteno**

10.1 Mecanismo de densificación de placas de aleación de tungsteno de ultra alta densidad

10.2 Fabricación aditiva y fábricas inteligentes de placas de aleación de tungsteno

10.3 Integración y expansión de aplicaciones de placas compuestas multifuncionales

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

10.4 Investigación sobre la evolución del rendimiento en entornos extremos (irradiación, alta temperatura, corrosión)

10.5 Materiales alternativos de alto rendimiento y futuras estrategias sostenibles para placas de tungsteno

### Apéndice

Apéndice 1: Parámetros físicos y mecánicos comunes de las placas de aleación de tungsteno

Apéndice 2: Tabla comparativa de grados y composiciones químicas de las aleaciones de tungsteno

Apéndice 3: Documentos estándar y principales materiales de referencia para placas de aleación de tungsteno

Apéndice 4: Glosario de aleaciones de tungsteno y abreviaturas en inglés

## 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

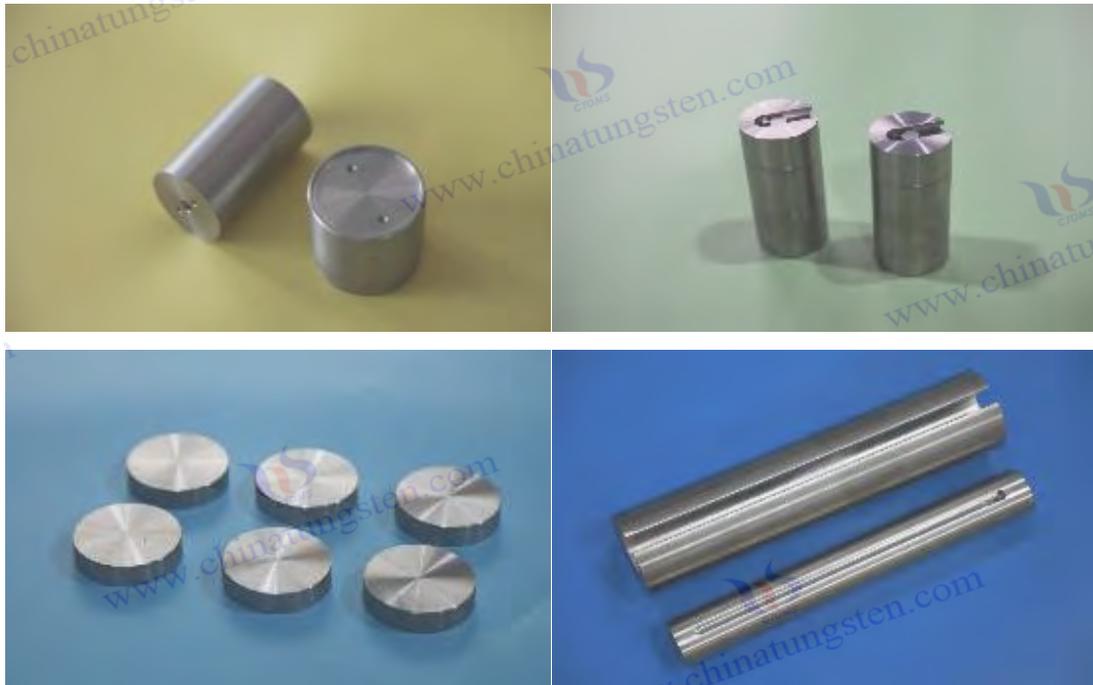
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

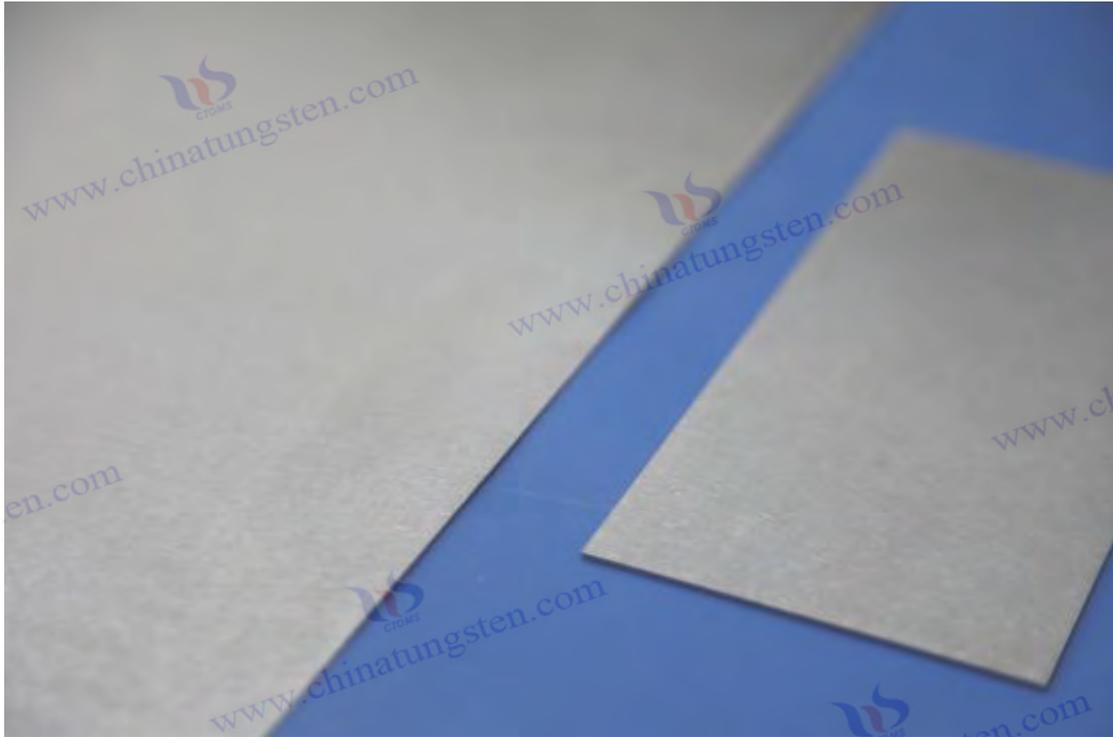
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### 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 1 Conceptos básicos e historia del desarrollo de las placas de aleación de tungsteno

### 1.1 Definición y características básicas de la placa de aleación de tungsteno

La placa de aleación de tungsteno es un material de aleación laminar, compuesto principalmente de tungsteno (W) con cantidades adecuadas de níquel (Ni), hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co) u otros elementos añadidos mediante pulvimetalurgia, laminado en caliente, laminado en frío o fabricación aditiva. Gracias a su punto de fusión inherentemente alto (3422 °C), su excelente densidad (19,25 g/cm<sup>3</sup>), su buena conductividad térmica y su resistencia a la radiación, la placa de aleación de tungsteno se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones clave, como la industria aeroespacial, la energía nuclear, los blindajes, los equipos médicos, las estructuras de alta temperatura y la gestión térmica electrónica.

#### 1. Definición de placa de aleación de tungsteno

Desde la perspectiva de la ciencia de los materiales, las placas de aleación de tungsteno se componen principalmente de una alta proporción de polvo de tungsteno, complementado con una pequeña cantidad de metal de fase aglutinante (generalmente sistemas de Ni-Fe, Ni-Cu o Ni-Co) para formar un sistema de aleación multifásico denso. Su forma suele ser una placa metálica plana rectangular o de forma especial, con un espesor de entre 0,1 mm y 50 mm, y longitud y anchura personalizables. En comparación con las varillas o alambres de tungsteno tradicionales, las placas de aleación de tungsteno tienen una mayor superficie, son más fáciles de cortar y pueden utilizarse para fines multifuncionales como recubrimientos, blindajes y fabricación de piezas estructurales.

#### 2. Composición principal y clasificación de las placas de aleación de tungsteno

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Según la diferente composición de la aleación, el método de formación y la aplicación, las placas de aleación de tungsteno se pueden dividir en las siguientes categorías:

- **Clasificación por sistema de aleación :**
  - Placa de aleación W-Ni-Fe (tipo común, alta resistencia, alta densidad, buenas propiedades mecánicas)
  - Placa de aleación W-Ni-Cu (tipo no magnético, utilizado en los campos de la electrónica y la medicina)
  - Placa de aleación W-Cu (alta conductividad térmica, adecuada para disipación de calor electrónico y aplicaciones de electrodos)
  - Placa de aleación W-Co (mayor resistencia al desgaste y a la corrosión)
  - Placa de aleación de nano tungsteno (que utiliza tecnología de refuerzo de nanopartículas para mejorar la tenacidad y la microestabilidad)
- **Clasificación por proceso de producción :**
  - Chapa de pulvimetalurgia (moldeo/prensado isostático + sinterización + procesamiento en caliente)
  - Placa de aleación de tungsteno laminada (laminada en caliente/laminada en frío y luego procesada)
  - Fabricación aditiva de láminas de aleación de tungsteno (nuevas tecnologías como la fusión láser y la impresión 3D)
  - Placas de aleación de tungsteno compuestas (como estructuras sándwich W-Cu, placas compuestas de tungsteno y titanio, etc.)
- **Clasificación por función :**
  - **Placa de aleación de tungsteno estructural :** componentes estructurales que soportan cargas estáticas y cargas de impacto.
  - **Placa de aleación de tungsteno funcional :** tiene funciones físicas específicas como conductividad térmica, antimagnética y antirradiación.
  - **Placa de aleación de tungsteno de protección :** se utiliza para protección radiológica, equipos de radioterapia médica, etc.

### 3. Características clave de rendimiento de la placa de aleación de tungsteno

1. **Alta densidad :** La densidad de una placa típica de aleación de tungsteno oscila entre 17,0 y 18,5 g/cm<sup>3</sup>, lo que equivale a 2,2 veces la del acero del mismo volumen. Se utiliza eficazmente para cargas inerciales, equilibrio dinámico y protección contra la radiación.
2. **Excelentes propiedades mecánicas :** tiene alta resistencia a la tracción (generalmente hasta 700-1000 MPa), buena tenacidad al impacto y procesabilidad, y es adecuado para fabricar piezas con formas complejas.
3. **Estabilidad a altas temperaturas :** Las aleaciones a base de tungsteno pueden mantener una estructura y un rendimiento estables por encima de 1000 °C y son adecuadas para hornos de vacío de alta temperatura y sistemas de campo térmico.
4. **Buena conductividad térmica y eléctrica :** especialmente en el sistema de aleación W-Cu, la conductividad térmica puede alcanzar 170-220 W/m·K y se usa ampliamente en estructuras de disipación de calor y sustratos electrónicos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. **Excelente resistencia a la radiación** : el alto número atómico y la alta densidad del tungsteno le otorgan excelentes efectos de protección contra rayos X y rayos gamma, muy superiores a las placas de plomo tradicionales.
6. **Buena estabilidad química y resistencia a la corrosión** : estable en entornos neutros y débilmente ácidos y supera a otros metales pesados en entornos de alta temperatura o de fuerte oxidación.

#### 4. Descripción general de la forma y las especificaciones de las placas de aleación de tungsteno.

Las placas de aleación de tungsteno suelen personalizarse según las necesidades del usuario. Las especificaciones típicas son las siguientes:

- Rango de espesor: 0,1 mm ~ 50 mm
- Rango de ancho: 10 mm a 600 mm
- Rango de longitud: 10 mm a 2000 mm
- Estado de la superficie: torneado, rectificado, pulido, recubrimiento químico, recubrimiento PVD, etc.

Algunas aplicaciones de alta precisión (como aceleradores de partículas y equipos magnéticos nucleares) también requieren una rugosidad superficial  $Ra < 0,2 \mu m$  y una tolerancia de espesor de  $\pm 0,01 mm$ .

#### 5. Ventajas comparativas de las placas de aleación de tungsteno y las placas de metal tradicionales

Parámetros de rendimiento	Placa de aleación de tungsteno	estereotipo	Placa de acero	Placa de cobre
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	17,0~18,5	11.3	7.8	8.9
Punto de fusión (°C)	2700+	327	1500	1083
Capacidad de blindaje	Muy fuerte (gamma/neutrón)	General (X/γ)	débil	generalmente
Conductividad térmica	bien	Diferencia	generalmente	Excelente
Estabilidad a altas temperaturas	Excelente	Diferencia	generalmente	Diferencia
Protección ambiental	Alto (no tóxico)	Bajo (tóxico)	alto	alto

Las placas de aleación de tungsteno se están convirtiendo gradualmente en un material alternativo al plomo y al acero en campos funcionales especiales debido a su resistencia, densidad, propiedades térmicas y atributos de protección ambiental.

En resumen, la placa de aleación de tungsteno, como material avanzado con alta densidad, alta resistencia, estabilidad térmica y excelente capacidad de blindaje, presenta un valor fundamental en las aplicaciones modernas de fabricación de alta gama y precisión. Con el continuo avance de la tecnología de preparación y la reducción de los costos de proceso, su ámbito de aplicación se está expandiendo gradualmente desde los sectores militar y de energía nuclear a un sistema industrial más amplio, como la electrónica, la medicina, la industria aeroespacial, etc.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1.2 Breve historia de la formación y desarrollo de las placas de aleación de tungsteno

Como importante material metálico de alto rendimiento, el desarrollo de la placa de aleación de tungsteno está estrechamente ligado al progreso de la tecnología de pulvimetalurgia, el desarrollo estratégico de los recursos de tungsteno y la búsqueda continua de un rendimiento óptimo en entornos extremos en sectores industriales de alta gama. Desde sus primeras aplicaciones experimentales hasta su amplio despliegue actual en campos clave como la industria nuclear, la aeroespacial y la protección médica, la historia del desarrollo de la placa de aleación de tungsteno no solo es un microcosmos de la evolución de la tecnología de materiales metálicos, sino que también refleja el salto de la industria manufacturera global desde los metales convencionales a los materiales funcionales de ultraalto rendimiento.

### 1. Descubrimiento e investigación temprana de materiales de tungsteno

El tungsteno (W) fue descubierto por primera vez por los humanos a mediados del siglo XVIII. En 1781, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele extrajo por primera vez óxido de tungsteno a partir de tungstato de sodio, y unos años más tarde, los hermanos españoles Elhuyar (Juan José y Fausto Elhuyar) separaron con éxito el tungsteno metálico. El tungsteno es conocido por su punto de fusión extremadamente alto (3422 °C) y su densidad (19,25 g/cm<sup>3</sup>), y se utilizó rápidamente en filamentos incandescentes, contactos eléctricos y aleaciones de alta temperatura.

Sin embargo, debido a su fragilidad inherente y a la dificultad de procesar el tungsteno, los métodos metalúrgicos tradicionales han dificultado su formación en láminas o placas delgadas. Por lo tanto, los primeros intentos de crear "placas de aleación de tungsteno" se quedaron en gran medida en la fase de investigación de laboratorio, y su aplicación real en ingeniería no se materializó gradualmente hasta mediados del siglo XX.

### 2. El auge de la tecnología de pulvimetalurgia y la realización del conformado de chapa metálica

A principios del siglo XX, con el rápido desarrollo de la tecnología de la **\*\*pulvimetalurgia\*\***, los científicos comenzaron a intentar procesar metales refractarios de alto punto de fusión (como el tungsteno y el molibdeno) en piezas estructurales mediante prensado y sinterización. Esta tecnología se estudió intensamente antes y después de la Segunda Guerra Mundial, especialmente en los sistemas militares-industriales de Estados Unidos, Alemania, la Unión Soviética y otros países, y finalmente impulsó la producción de productos como las placas de aleación de tungsteno. Entre las décadas de 1950 y 1970, con el desarrollo de la energía atómica y la tecnología aeroespacial, la demanda de materiales de alta densidad, alta resistencia y resistencia a la radiación aumentó drásticamente, **y se establecieron sistemáticamente sistemas de aleaciones de tungsteno de alta densidad como W-Ni-Fe y W-Ni-Cu**. Durante este período, las placas de aleación de tungsteno se preparaban principalmente mediante prensado, sinterización y laminado en caliente, y se inició la producción industrial de piezas de placa delgada, utilizadas principalmente para:

- Placas de blindaje y absorbedores de neutrones para reactores atómicos;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Sistemas de contrapeso de aeronaves y misiles;
- Componentes de protección contra rayos X y rayos gamma en el ámbito médico.

### 3. Madurez tecnológica impulsada por las aplicaciones (décadas de 1980 a 2000)

En la década de 1980, con la popularización de los equipos de radioterapia médica, el rápido desarrollo de la industria electrónica y la urgente exigencia de las regulaciones ambientales de "sustitutos del plomo", la demanda de placas de aleación de tungsteno aumentó drásticamente. Durante este período, el desarrollo de la tecnología de placas de aleación de tungsteno mostró las siguientes tendencias importantes:

- **La tecnología de laminado de precisión y procesamiento en frío** mejora significativamente la precisión del control de espesor y la calidad de la superficie de la placa;
- Se desarrollaron aleaciones **W-Ni-Cu no magnéticas** para resolver el problema de interferencia magnética en imágenes por resonancia magnética médica y algunos equipos aeroespaciales;
- **placas estructurales compuestas** (como estructuras sándwich W-Cu) para lograr una integración de múltiples rendimientos;
- El sistema de gestión de calidad se está estandarizando cada vez más y se han introducido muchas normas nacionales e industriales, como ASTM B777, GB/T 3879, etc.

Actualmente, las placas de aleación de tungsteno han evolucionado gradualmente desde sus inicios como materiales estructurales hasta convertirse en materiales integrados con estructura y función. Se utilizan ampliamente en diversos campos de alta tecnología, como instrumentos de precisión, sistemas de gestión térmica, blindaje de protección radiológica y paneles de pared para hornos de alta temperatura.

### IV. Etapa de desarrollo moderno y exploración de fronteras (década de 2000 a la actualidad)

Tras la entrada del siglo XXI, a medida que las industrias tecnológicas emergentes imponen requisitos más estrictos sobre el rendimiento de los materiales, el desarrollo de las placas de aleación de tungsteno ha entrado en una nueva etapa: **alto rendimiento, ligereza, inteligencia y multifuncionalidad**. Sus principales características son:

#### 1. Optimización de la microestructura del material

- Se introdujo la tecnología de aleaciones W nano-reforzadas para otorgarle a la aleación mayor resistencia al rendimiento y tenacidad a la fractura;
- Se están diseñando gradualmente paneles con clasificación funcional (FGM) para su uso en sistemas de control térmico aeroespacial y paneles de reactores nucleares, teniendo en cuenta múltiples requisitos de rendimiento físico.

#### 2. Innovación en los métodos de fabricación

- **tecnologías de fabricación aditiva**, como la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones (EBM), para la fabricación rápida de placas de aleación de tungsteno personalizadas;
- Se utilizan tecnologías avanzadas como el prensado isostático al vacío en caliente y el laminado asistido por ultrasonidos para preparar placas de alta densidad para mejorar la consistencia y la estabilidad organizativa de los productos terminados.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Expansión acelerada de las solicitudes internacionales

- Estados Unidos, Japón, Alemania y otros países utilizan ampliamente placas de aleación de tungsteno en vehículos de exploración lunar, reactores experimentales de fusión nuclear (como el proyecto ITER) y componentes de aceleradores avanzados;
- La tecnología de fabricación de placas de aleación de tungsteno de China también ha pasado gradualmente de la "dependencia de la materia prima" a un nuevo patrón de "diseño independiente, producción en masa e integración militar-civil", formando una serie de empresas líderes y laboratorios nacionales clave.

### V. Perspectivas de las tendencias futuras del desarrollo

Con el avance de nuevas estrategias de materiales y el aumento del valor de los recursos de tungsteno, la dirección de desarrollo futuro de las placas de aleación de tungsteno se centrará en los siguientes puntos:

- **Integración funcional** : una placa de aleación multifuncional que integra conducción de calor, conducción eléctrica y resistencia a la radiación;
- **Adaptabilidad extrema al servicio** : placas de tungsteno resistentes a altas temperaturas e impactos y de alta densidad para entornos complejos como el espacio, la fusión nuclear y la tierra profunda;
- **Fabricación verde y desarrollo sostenible** : diseño y fabricación a gran escala de sistemas de aleaciones de bajo consumo energético, reciclables y respetuosos con el medio ambiente;
- **Integración de material inteligente** : integre detección, autorreparación y otras funciones en la estructura de la placa de aleación de tungsteno para adaptarse al desarrollo de futuros sistemas inteligentes.

En resumen, el desarrollo de las placas de aleación de tungsteno demuestra plenamente la profunda interacción entre la ciencia de los materiales y las necesidades industriales. Desde las primeras muestras de laboratorio de física hasta los modernos materiales estructurales clave de alto rendimiento y alta estabilidad, las placas de aleación de tungsteno, con sus propiedades integrales únicas, desempeñan un papel cada vez más importante en el sistema global de tecnología de materiales. En el futuro, su potencial de aplicación en nuevas energías, fabricación avanzada, ciencia y tecnología de defensa nacional, y otros campos, seguirá expandiéndose.

### 1.3 Clasificación de las placas de aleación de tungsteno (por composición, proceso y propósito)

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente debido a su gran variedad y rendimiento. Para comprender mejor sus características de rendimiento y sus aplicaciones, es necesario clasificarlas en función de múltiples dimensiones, como la composición del material, el proceso de preparación y la aplicación. A continuación, se describen los métodos de clasificación detallados para placas de aleación de tungsteno desde tres perspectivas principales: **clasificación por composición, clasificación por proceso de preparación y clasificación por aplicación** .

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1. Clasificación por composición de aleación

Las placas de aleación de tungsteno se basan en sus sistemas de aleación primarios. En la producción y aplicación reales, los diferentes metales aglutinantes afectan significativamente las propiedades físicas, la procesabilidad y la funcionalidad de las placas.

### 1. Placa de aleación W-Ni-Fe (tipo convencional)

- **Características de la composición** : El contenido de tungsteno suele ser del 85%~97%, complementado con Ni y Fe como fases de enlace, con una relación de aproximadamente Ni:Fe = 7:3.
- **Características de rendimiento** : Presenta excelente resistencia, tenacidad y un rendimiento de procesamiento equilibrado. Es la placa de aleación de tungsteno estructural más común.
- **Escenarios de aplicación** : componentes inerciales, placas de contrapeso, estructuras de protección, etc.

### 2. Placa de aleación W-Ni-Cu (tipo no magnético)

- **Características de la composición** : Principalmente tungsteno, la fase de unión es principalmente Ni y Cu, a menudo se utiliza en ocasiones sensibles a los campos magnéticos.
- **Características de rendimiento** : no magnético, buena conductividad, fuerte rendimiento de blindaje, pero la resistencia es ligeramente menor que la del sistema W-Ni-Fe.
- **Escenarios de aplicación** : equipos médicos, componentes de imágenes por resonancia magnética (IRM) y cubiertas protectoras para dispositivos electrónicos.

### 3. Placa de aleación W-Cu (alta conductividad térmica)

- **Características de la composición** : Está compuesto de tungsteno y cobre, y es un material compuesto intermetálico típico.
- **Características de rendimiento** : conductividad térmica y eléctrica extremadamente alta, resistente al choque térmico, adecuado para aplicaciones de gestión térmica.
- **Escenarios de aplicación** : sustratos de embalaje electrónico, interruptores de alta frecuencia, electrodos y disipadores de calor.

### 4. Placa de aleación W-Co (tipo resistente al desgaste)

- **Características de la composición** : a base de tungsteno, suplementado con cobalto (Co) como metal de unión.
- **Características de rendimiento** : Excelente resistencia al desgaste y a la corrosión, y funciona bien en entornos de desgaste mecánico extremo.
- **Escenarios de aplicación** : placas protectoras resistentes a impactos, revestimientos de moldes y estructuras protectoras anti-blindaje.

### 5. Placa de aleación de tungsteno nano-mejorada

- **Características de la composición** : Introducción de nanopartículas o refuerzos de segunda fase en el sistema tradicional de aleación de tungsteno.
- **Características de rendimiento** : La resistencia y la tenacidad se mejoran significativamente, siendo adecuado para campos con requisitos de rendimiento extremos.
- **Escenarios de aplicación** : revestimiento de reactores de fusión nuclear, carcasa de sondas espaciales profundas, etc.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Clasificación por proceso de formación y preparación

Las placas de aleación de tungsteno se pueden fabricar utilizando una variedad de rutas de proceso, y los diferentes procesos afectarán significativamente su microestructura, densidad, propiedades mecánicas y estructura de costos.

### 1. Metalurgia de polvos (PM)

- **Flujo del proceso** : polvo de tungsteno + polvo adhesivo → prensado (moldeo o prensado isostático) → sinterización a alta temperatura → procesamiento en caliente o laminado.
- **Ventajas** : estructura densa, rendimiento uniforme, fuerte capacidad de control, adecuado para especificaciones de placas medianas y gruesas.

### 2. Placas laminadas en caliente y en frío

- **Flujo del proceso** : sinterización de tocho → laminado en caliente (o laminado en frío) en placa → tratamiento de superficie.
- **Ventajas** : alta precisión dimensional, buena calidad de superficie, adecuado para producción en masa.

### 3. Curado rápido y tecnología de cinta

- **Flujo del proceso** : Después de la fusión a alta temperatura, se enfría rápidamente y se solidifica para formar tiras o láminas delgadas.
- **Ventajas** : estructura refinada, adecuada para dispositivos electrónicos de alta frecuencia.

### 4. Placas de fabricación aditiva (impresión 3D)

- **Flujo del proceso** : fusión por láser o fusión por haz de electrones → acumulación capa por capa → acabado.
- **Ventajas** : Puede realizar la producción personalizada de placas de formas complejas, adecuadas para componentes militares y aeroespaciales de alta gama.

### 5. Placa de aleación de tungsteno laminada compuesta

- **Flujo del proceso** : Formación de prensado en caliente de capa de aleación de tungsteno + otras capas de metal (como cobre, titanio).
- **Ventajas** : Puede realizar compuestos multifuncionales y es adecuado para encapsulados electrónicos y campos de electrodos.

## 3. Clasificación por finalidad y función

Las placas de aleación de tungsteno son aptas para diversas industrias gracias a su alta densidad, resistencia a la radiación, buena conductividad térmica y excelente rendimiento de procesamiento. Se pueden clasificar en las siguientes categorías según sus usos:

### 1. Placa de aleación de tungsteno estructural

- Se utiliza para estructuras portantes, piezas mecánicas o sistemas de equilibrio dinámico, enfatizando la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional.
- Aplicaciones típicas: volantes inerciales, contrapesos aeroespaciales y placas de equilibrio de ejes.

### 2. Placa protectora de aleación de tungsteno

- Énfasis en las capacidades de protección, incluyendo blindaje contra rayos gamma, rayos X, neutrones, etc.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Aplicaciones típicas: paneles de protección para equipos de radioterapia, capas de blindaje para reactores nucleares y estructuras resistentes a balas para cabinas de aviones.

### 3. Placa de aleación de tungsteno para control térmico y disipación de calor.

- Énfasis en la conductividad térmica y la estabilidad al choque térmico.
- Aplicaciones típicas: placa base de disipación de calor de dispositivos semiconductores, placa de pared de tubo de calor, dispositivo de enfriamiento de equipos de plasma.

### 4. Placa de aleación de tungsteno funcional/electrónica

- Combinando las funciones de conductividad, no magnetismo y alta resistencia, se utiliza en sistemas electrónicos de precisión.
- Aplicaciones típicas: empaquetado de interruptores de alta frecuencia, absorbedores de microondas y piezas estructurales antimagnéticas de aviónica.

### 5. Placa de aleación de tungsteno compuesta

- Adopta una estructura multicapa y fabricación compuesta de materiales heterogéneos para lograr la integración estructural y funcional.
- Aplicaciones típicas: placas compuestas de tungsteno y cobre (sustratos electrónicos), placas compuestas de tungsteno y titanio (estructuras de blindaje ligeras).

## IV. Tabla comparativa del resumen de la clasificación

Clasificación	Tipos principales	Palabras clave destacadas	Áreas de aplicación
<b>Elemento</b>	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Cu, W-Co, aleación de nanotungsteno	Densidad, magnetismo, conductividad térmica, resistencia al desgaste, funcionalidad mejorada.	Industria militar, tratamientos médicos, gestión térmica, energía nuclear
<b>Tecnología</b>	Pulvimetalurgia, laminación, fabricación aditiva, laminación de compuestos	Densidad, precisión dimensional, capacidad de personalización, integración multifuncional.	Fabricación de alta gama, producción en masa y personalización de estructuras complejas.
<b>usar</b>	Tipo estructural, tipo protector, tipo de disipación de calor, tipo electrónico, tipo compuesto	Resistencia mecánica, protección contra la radiación, conductividad térmica y eléctrica, integración inteligente.	Aeroespacial, energía nuclear, electrónica, medicina

En resumen, como material metálico versátil y de alto rendimiento, las placas de aleación de tungsteno requieren un enfoque de clasificación multidimensional y sistemático. Al aclarar la correspondencia entre composición, procesamiento y aplicación, esto no solo ayuda a los usuarios industriales a seleccionar productos específicos y adecuados, sino que también proporciona una clara referencia técnica para la investigación y el desarrollo posteriores, así como para el establecimiento de normas. Con la continua expansión de los conceptos de diseño de materiales y los métodos de procesamiento, la clasificación de las placas de aleación de tungsteno se diversificará e integrará mejor, adaptándose a las sofisticadas necesidades de la futura fabricación avanzada.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1.4 Similitudes y diferencias entre la placa de aleación de tungsteno, la varilla de tungsteno, el alambre de tungsteno y la placa de cobre de tungsteno

Los materiales de tungsteno se utilizan ampliamente en diversos campos industriales debido a su alto punto de fusión, alta densidad y excelentes propiedades térmicas y mecánicas. En la práctica, los productos de tungsteno incluyen principalmente placas de aleación de tungsteno, varillas de tungsteno, alambre de tungsteno y placas de cobre-tungsteno, según su forma y función. Si bien todos pertenecen al sistema basado en tungsteno, presentan diferencias significativas en composición química, métodos de preparación, propiedades estructurales y aplicación. Esta sección ofrece una comparación horizontal de estos cuatro materiales típicos de tungsteno para ayudar al lector a comprender plenamente la posición única de las placas de aleación de tungsteno dentro del sistema de materiales.

### 1. Introducción a la placa de aleación de tungsteno

La placa de aleación de tungsteno es una placa de aleación de alta densidad compuesta principalmente por tungsteno, complementada con níquel, hierro, cobre, cobalto y otros elementos. Sus principales características son alta densidad, alta resistencia, buena resistencia a la radiación y conductividad térmica, siendo ideal para piezas estructurales de alta resistencia, placas de protección y componentes de disipación de calor.

#### Características básicas :

- Forma: Placa rectangular plana, espesor que varía entre 0,1 mm y 50 mm;
- Preparación: principalmente pulvimetalurgia, laminación en caliente, laminación en frío, fabricación aditiva, etc.
- Aplicación: Ampliamente utilizado en contrapesos de aviación, protección de radioterapia, sistemas de control térmico, componentes inerciales, etc.

### 2. Introducción de la varilla de tungsteno

La varilla de tungsteno es uno de los materiales más básicos para el procesamiento del tungsteno. Generalmente, es cilíndrica y sólida, y puede estar hecha de tungsteno puro o de aleación de tungsteno. Presenta una estructura densa y se utiliza principalmente en piezas estructurales de alta temperatura, fuentes de emisión de electrones, electrodos de alto voltaje y otros campos.

#### Características básicas :

- Forma: varilla cilíndrica o cuadrada, diámetro 2 mm ~ 100 mm;
- Preparación: prensado isostático en caliente/forjado o torneado después de sinterización y prensado;
- Aplicación: cátodo de tubo electrónico, varilla de soporte, herramienta de impacto, electrodo, etc.

### 3. Introducción al filamento de tungsteno

El alambre de tungsteno es un alambre delgado extraído de lingotes de tungsteno. Presenta excelente resistencia a la fluencia a altas temperaturas y conductividad eléctrica. Es un material importante para fuentes de luz eléctrica, componentes electrónicos y aplicaciones de calefacción eléctrica.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Características básicas :**

- Morfología: Filamentos largos y delgados, con diámetros de hasta micrómetros;
- Preparación: Forja, laminación y trefilado repetido;
- Aplicación: Filamento, cable de calentamiento por evaporación al vacío, fuente de emisión de haz de electrones.

**4. Introducción de la placa de cobre y tungsteno**

La placa de cobre-tungsteno es un material compuesto de tungsteno y cobre. Es un material intermetálico que combina el alto punto de fusión del tungsteno con la alta conductividad térmica del cobre. Es un material importante para aplicaciones de gestión térmica y contacto eléctrico.

**Características básicas :**

- Forma: placa delgada o placa mediana, espesor 1 mm ~ 20 mm;
- Preparación: Compuesto prensado y sinterizado/prensado en caliente de pulvimetalurgia;
- Aplicación: placa base de disipación de calor, placa de electrodo, embalaje de alta frecuencia, etc.

**5. Análisis comparativo de rendimiento y uso**

Comparar proyectos	Placa de aleación de tungsteno	Varilla de tungsteno	Alambre de tungsteno	de Placa de cobre y tungsteno
<b>Ingredientes principales</b>	W + Ni/Fe/Cu/Co etc.	W puro o aleación de tungsteno	W de alta pureza	W + Cu (generalmente 50:50)
<b>Forma típica</b>	Placas rectangulares	Varillas redondas o cuadradas	Filamento	departamento
<b>densidad</b>	17,0~18,5 g/cm <sup>3</sup>	18,5 ~ 19,2 g/cm <sup>3</sup> (W puro)	Lo mismo que arriba	14,5~17,0 g/cm <sup>3</sup>
<b>Propiedades mecánicas</b>	Alta resistencia y alta tenacidad.	Alta dureza, alta fragilidad.	Flexible y plástico, alta resistencia a la tracción.	Moderado, combinando dureza y conductividad térmica.
<b>Rendimiento térmico</b>	Buena conductividad térmica, resistencia al choque térmico.	Excelente estabilidad a altas temperaturas	Resistencia a la evaporación a altas temperaturas y a la fluencia.	Excelente conductividad térmica (>200 W/m·K)
<b>Dificultad de procesamiento</b>	Mediano, mecanizable y mecanizable	Difícil de procesar, requiere soporte de equipo de alta resistencia.	Difícil de procesar, requiere múltiples trefilados y recocidos.	Relativamente fácil de procesar
<b>Aplicaciones típicas</b>	Protección radiológica, contrapeso, componentes de control térmico	Electrodos, soportes de campo térmico, componentes de alta temperatura	Filamentos, electrónica de vacío, elementos calefactores.	Radiadores, electrodos de conmutación, embalajes electrónicos.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## 6. Resumen de similitudes y diferencias

### Puntos comunes:

1. Base del material: Todos los productos utilizan tungsteno como elemento principal, algunos productos son tungsteno puro y otros son aleaciones a base de tungsteno;
2. Características de rendimiento: alta densidad, alto punto de fusión y buen rendimiento a alta temperatura;
3. Método de producción: La mayoría de ellos se basan en el proceso de pulvimetalurgia, complementado con procesamiento térmico o posprocesamiento;
4. Áreas clave: Ampliamente utilizado en industrias de alta gama como la aeroespacial, la electrónica, la militar, la energética y la médica.

### Diferencias:

- Diferentes formas y funciones: las placas se utilizan principalmente para cubrir/estructurar piezas, las varillas se utilizan para soportar/soportar presión piezas, los cables se utilizan para calentar/emitir y las placas de cobre de tungsteno se utilizan para conducción térmica/contacto eléctrico.
- Diferentes métodos de procesamiento: las placas generalmente se fabrican mediante laminación y forjado, las barras se fabrican principalmente mediante sinterización y forjado, los alambres se basan en múltiples procesos de trefilado y los materiales compuestos de tungsteno y cobre requieren tecnologías especiales de sinterización y prensado.
- Diferentes condiciones de uso: el filamento de tungsteno enfatiza las características de evaporación y resistencia, la placa de cobre de tungsteno enfatiza la disipación de calor y la conductividad, y la placa de aleación de tungsteno enfatiza la resistencia estructural y las propiedades termofísicas integrales.

## 7. Ventajas de la placa de aleación de tungsteno

En comparación con los materiales a base de tungsteno anteriores, las placas de aleación de tungsteno tienen ventajas únicas en rendimiento integral y escenarios aplicables:

- Alta integración funcional: alta densidad, alta resistencia, resistencia a la radiación y procesabilidad;
- Buena estabilidad de forma: la estructura en forma de placa es más adecuada para cubrir sistemas de protección y control térmico;
- Amplia gama de aplicaciones: Puede realizar la integración de funciones y el diseño integrado en muchos campos, como la industria militar, la aeroespacial, el tratamiento médico, la electrónica, etc.

En resumen, la placa de aleación de tungsteno ocupa una posición estratégica y central en el sistema de materiales a base de tungsteno. No solo ofrece las ventajas de rendimiento mecánico de las varillas de tungsteno, sino también el rendimiento térmico de las placas de cobre-tungsteno, y presenta una mayor integridad estructural y protección radiológica que los alambres de tungsteno. Con la mejora de la tecnología de fabricación y la expansión de campos emergentes, las placas de aleación de tungsteno seguirán desempeñando un papel clave en la integración multifuncional en el futuro.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1.5 Descripción general de la evolución de la tecnología de placas de aleación de tungsteno y patentes en el país y en el extranjero

Como una rama importante de los materiales metálicos refractarios de alto rendimiento, las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en campos clave como la industria aeroespacial, la protección nuclear, el empaquetado electrónico, los experimentos de física de altas energías y los equipos médicos. Con la continua expansión de sus aplicaciones posteriores, el mundo presta cada vez más atención a la capacidad de innovación tecnológica, la protección de patentes y el nivel de industrialización de las placas de aleación de tungsteno. Esta sección analizará sistemáticamente el desarrollo tecnológico nacional e internacional y la distribución de la propiedad intelectual de las placas de aleación de tungsteno desde cuatro puntos de vista: **proceso de evolución tecnológica, nodos técnicos clave, países representativos y distribución empresarial, y el contenido y las tendencias principales de las patentes.**

### 1. Panorama general del desarrollo y la evolución de la tecnología global de placas de aleación de tungsteno

#### 1. Etapa temprana (década de 1950-1970): exploración de materiales de protección

El desarrollo inicial de la tecnología de placas de aleación de tungsteno surgió principalmente de las necesidades militares de la Guerra Fría, en particular en las áreas de **materiales de protección de alta densidad y blindaje neutrónico**. Estados Unidos y la Unión Soviética fueron pioneros en el desarrollo de placas de aleación de tungsteno, típicamente W-Ni-Fe, mediante procesos de pulvimetalurgia. Estas placas se utilizaron en submarinos nucleares, contrapesos de misiles y blindaje contra la radiación.

Los avances tecnológicos más representativos incluyen:

- Control del tamaño de partículas de polvo de tungsteno y mecanismo de sinterización a baja temperatura;
- Control de densificación y uniformidad de microestructura de placas laminadas en caliente;
- Establecimiento del sistema de aleación no magnética W-Ni-Cu.

#### 2. Etapa de desarrollo maduro (década de 1980 a 2000): paneles de alta precisión y desarrollo multifuncional

Durante este período, con el rápido desarrollo de la industria de la información electrónica y la popularización de los equipos de radioterapia, la tecnología de placas de aleación de tungsteno cambió gradualmente hacia **la integración del rendimiento estructural y el rendimiento funcional**, y formó un sistema de producción estandarizado en países desarrollados como Estados Unidos, Japón y Alemania.

Los avances más importantes incluyen:

- Tecnología de prensado de placas de alta densidad;
- Optimización del control de la relación de múltiples elementos (como agregar Co, Mo, Re);

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Estandarización de procesos de laminación en frío y tratamiento superficial de alta precisión.

Durante este período, empresas como General Electric (GE) de los Estados Unidos, Plansee de Alemania y Mitsubishi Materials (MMC) de Japón estaban en una posición de liderazgo en tecnología y poseían un gran número de patentes para procesos de fabricación y diseños de aplicaciones clave.

### **3. Etapa de fabricación avanzada (década de 2000 a la actualidad): el auge del control de la microestructura y las tecnologías de integración de compuestos**

Después de entrar al siglo XXI, las placas de aleación de tungsteno han logrado avances continuos en **fabricación inteligente, condiciones de servicio extremas e integración funcional múltiple**.

Las tecnologías representativas incluyen:

- placas de aleación de tungsteno nanomejoradas (W-ZrO<sub>2</sub>, W-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.);
- Se utilizan tecnologías de fabricación aditiva, como la fusión selectiva por láser (SLM), para la personalización de placas de tungsteno;
- Los materiales funcionalmente graduados (FGM) se integran en placas de estructuras compuestas de metal y cerámica.

Actualmente, las placas de aleación de tungsteno ya no son un único “material de alta gravedad específica”, sino que están evolucionando hacia **una integración estructural-funcional con múltiples propiedades físicas**.

## **2. Trayectoria de desarrollo y logros de la tecnología nacional de placas de aleación de tungsteno**

China, el país con las mayores reservas y producción de recursos de tungsteno del mundo, comenzó tarde en la tecnología de materiales de aleación de tungsteno, pero se ha desarrollado rápidamente y se ha puesto al día en muchas áreas clave en los últimos años.

### **1. Dependencia inicial de la importación y la imitación (décadas de 1980 y 1990)**

Las placas de aleación de tungsteno en China se concentraron inicialmente en los campos de la defensa nacional y la industria nuclear, bajo el liderazgo de la Academia China de Ciencias, la Corporación de Ciencia e Industria Aeroespacial de China y los institutos de investigación militar. La mayor parte de la tecnología provenía del sistema soviético o se introdujo desde el extranjero.

### **2. Establecimiento del sistema y expansión industrial (década de 2000-2010)**

Con el desarrollo de la tecnología de pulvimetalurgia nacional, varias universidades y empresas clave (como Xiamen Jinlu, China Tungsten High-Tech, AVIC New Materials y Baoti Group) han formado gradualmente un sistema de proceso completo desde la preparación de polvo de tungsteno, la dosificación de aleación hasta el laminado de placas.

Los principales avances tecnológicos incluyen:

- Prensado y sinterizado de placas de aleaciones de baja porosidad y alta densidad;
- Optimización de la relación de fases aglutinantes;
- Tecnología de unión por difusión mediante prensado en caliente de placas compuestas de tungsteno y cobre.

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

### 3. La fabricación inteligente y la innovación independiente van de la mano (2015 a la actualidad)

En la actualidad, la tecnología de placas de aleación de tungsteno de China tiene competitividad internacional en los campos de piezas estructurales de aviación de alta precisión, protección de medicina nuclear, placas de empaquetado electrónico, etc. Muchas tecnologías clave han ganado premios nacionales de ciencia y tecnología y se han aplicado en proyectos como el avión de gran tamaño C919, la cabina de la estación espacial y la estructura de orientación de radiación nuclear.

### 3. Análisis de la distribución de patentes tecnológicas clave de placas de aleación de tungsteno a nivel mundial

#### 1. Distribución regional de patentes

Según las estadísticas de la OMPI y la Administración Nacional de Propiedad Intelectual de China (CNIPA), para finales de 2024, hay más de 4.000 patentes válidas relacionadas con placas de aleación de tungsteno en el mundo, distribuidas principalmente de la siguiente manera:

País/Región	Proporción (%)	Principales solicitantes de patentes
Porcelana	45%	China Tungsten High-Tech, Xiamen Jinlu, Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Beijing, Baoti, etc.
EE.UU	Veintidós%	Plansee, GE, Kennametal, etc.
Japón	13%	Mitsubishi Materials, Sumitomo Electric Industries, Ltd., Tokyo Steel, etc.
Alemania	8%	HC Starck, Plansee, etc.
Corea del Sur, Rusia	5%	POSCO, TRINITY, etc.
Otras áreas	7%	Suiza, Israel, India, etc.

#### 2. Distribución de los tipos de tecnología patentada

El contenido de la patente se puede resumir en cinco direcciones técnicas principales:

Dirección técnica	Contenido representativo
Innovación en fórmulas de aleación	Relación de series W-Ni-Co, W-Cu-Re, W-Mo
Regulación de la microestructura	Mecanismo de fortalecimiento nanocristalino y control de la distribución de precipitados
Procesamiento de placas y tratamiento de superficies	Tecnología de laminado multipaso, pulido electrolítico, tratamiento de superficies con plasma.
Tecnología de estructura y unión de compuestos	Prensado de placas compuestas de tungsteno-cobre, tungsteno-titanio, unión por soldadura fuerte/difusión
Diseño de adaptabilidad de aplicaciones	Estructura del módulo de protección de radioterapia, diseño de optimización de la distribución de la placa calefactora, etc.

### IV. Ejemplos representativos de patentes nacionales e internacionales

Nombre de la patente	País	Número de patente	Breve descripción
----------------------	------	-------------------	-------------------

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	autorizado		
Método de preparación de placa de aleación de tungsteno W-Ni-Fe de alta densidad	Porcelana	CN108982173B	Se propone un proceso para optimizar la temperatura de sinterización y los parámetros de prensado, densidad > 99,5%
Lámina de aleación de tungsteno no magnética y su método de fabricación	EE.UU	US8574432B2	Placa de aleación W-Ni-Cu, que enfatiza las propiedades no magnéticas y el control de la ductilidad
Placa compuesta de tungsteno y cobre con estructura de gradiente y su método de preparación	Japón	JP2018147022A	Se desarrollaron placas funcionalmente graduadas de W/Cu adecuadas para dispositivos eléctricos conductores térmicos de alta frecuencia.
Módulo de placa protectora de aleación de tungsteno para equipos de radioterapia	Porcelana	CN110456887A	El diseño del sistema de empalme de paneles modulares mejora la eficiencia de la protección y facilita el reemplazo y el mantenimiento.
Polvo de placa de aleación de tungsteno para fabricación aditiva y su método de sinterización láser.	Alemania	DE102018001328A1	Se propone una composición especial de polvo esférico y un método de control de parámetros adecuado para la preparación SLM de placas de tungsteno.

## V. Perspectivas sobre las tendencias de desarrollo de la tecnología y la propiedad intelectual

### 1. Evolución del «rendimiento físico único» a la «integración multifuncional»

En el futuro, las placas de aleación de tungsteno no solo cumplirán con los requisitos de densidad o resistencia, sino que también integrarán múltiples propiedades como conductividad térmica, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y resistencia a la radiación.

### 2. La tecnología de fabricación aditiva liderará el desarrollo de la fabricación de tableros personalizados

La impresión 3D de placas de aleación de tungsteno basadas en haz de electrones/láser se utilizará ampliamente en estructuras personalizadas complejas, como defensa y energía nuclear.

### 3. Las patentes de alta gama y las barreras tecnológicas se incrementarán aún más.

Las fórmulas básicas, las estructuras compuestas y el control de la microestructura de las placas se convertirán en el foco de atención de las principales empresas tecnológicas, y la competencia por las patentes es cada vez más feroz.

### 4. China pasará gradualmente de ser un "país de cantidad de patentes" a un "país de calidad de patentes".

Promover la globalización de los derechos de propiedad intelectual mejorando la base de datos de materiales, estableciendo un sistema de estándares de procesos y fortaleciendo la colaboración y el diseño internacionales de patentes.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En resumen, la evolución global de la tecnología de placas de aleación de tungsteno presenta las características de "origen militar - expansión industrial - integración multifuncional - fabricación inteligente" en cuatro etapas. Su sistema de patentes es cada vez más complejo y las tecnologías clave son mayoritariamente oligopólicas. Si bien China comenzó un poco más tarde, está acelerando la construcción de un sistema de innovación independiente y controlable gracias a sus ventajas en recursos y a su sistema industrial. La futura competencia en la tecnología de placas de aleación de tungsteno y los derechos de propiedad intelectual se convertirán en un importante foco estratégico en el campo de los nuevos materiales a nivel mundial.



## Capítulo 2 Propiedades físicas y mecánicas de la placa de aleación de tungsteno

### 2.1 Precisión del control de densidad, gravedad específica y tamaño

Las propiedades físicas de la placa de aleación de tungsteno, un material compuesto metálico de alto rendimiento basado en tungsteno, dependen en gran medida de **la uniformidad del control de densidad**, **la consistencia de la gravedad específica** y **la precisión de sus dimensiones**. En sectores como la industria aeroespacial, la nuclear y los dispositivos médicos de precisión, que requieren una calidad y una precisión estructural extremadamente altas, incluso pequeñas desviaciones en estos parámetros pueden provocar errores sistemáticos, pérdida de resistencia o desequilibrios por expansión térmica. Por lo tanto, esta sección explorará sistemáticamente los indicadores básicos y los requisitos técnicos para las propiedades físicas de la placa de aleación de tungsteno desde tres perspectivas: "Tecnología de control de densidad y gravedad específica", "Estándares de precisión para el control dimensional" y "Factores clave que influyen en el proceso".

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1. Densidad y gravedad específica de la placa de aleación de tungsteno.

### 1. Definición de densidad y gravedad específica

- **Densidad** : se refiere a la masa por unidad de volumen, generalmente expresada en  $\text{g/cm}^3$ , y es el parámetro principal para medir la densidad de un material;
- **Gravedad** : se refiere a la relación entre la densidad del material y la densidad del agua pura ( $4\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1\text{ g/cm}^3$ ), a menudo utilizada como estándar para la clasificación intuitiva de aleaciones de alta densidad.

La densidad teórica del tungsteno es de  $19,25\text{ g/cm}^3$ , mientras que la densidad de la placa de aleación de tungsteno generalmente depende de su composición de aleación y del grado de densificación:

Tipo de aleación	Rango de densidad típico ( $\text{g/cm}^3$ )
W-Ni-Fe	17,0–18,5
W-Ni-Cu (tipo no magnético)	16,5–18,0
W-Cu (tipo conductor térmico)	14,5–17,0
Aleación de tungsteno nano-mejorada	$\geq 18,5$ (teóricamente $>99,9\%$ de densidad)

### 2. Aspectos técnicos del control de densidad

El control de la densidad no es solo una simple relación de componentes de aleación, sino que, lo que es más importante, es necesario lograr los siguientes puntos en todo el proceso de fabricación:

- **Optimización de la distribución del tamaño de partículas de polvo** : ajustar la proporción de polvo fino a polvo grueso puede reducir eficazmente la porosidad;
- **Consistencia del proceso de prensado** : el moldeo/prensado isostático necesita mantener una presión uniforme por unidad de volumen;
- **Densificación por sinterización a alta temperatura** : la sinterización asistida en fase líquida o la sinterización multietapa pueden mejorar significativamente la densidad final;
- **Tratamiento térmico y ajuste de la densificación después del laminado** : la rehomogeneización de la estructura después del laminado puede mejorar aún más la densidad del material.

### 3. Requisitos de consistencia para la gravedad específica

En aplicaciones de ingeniería, en particular en **contrapesos** y **componentes inerciales**, la consistencia de la gravedad específica afecta directamente el **equilibrio dinámico** y el **tiempo de respuesta estructural de toda la máquina**. Normas internacionales comunes, como ASTM B777 y MIL-T-21014, establecen especificaciones estrictas para las tolerancias de gravedad específica, que generalmente exigen variaciones de gravedad específica entre lotes de no más de  $\pm 0,1\text{ g/cm}^3$ . Para algunos componentes de precisión, este límite incluso se limita a  $\pm 0,05\text{ g/cm}^3$ .

## 2. Precisión del control de tamaño de la placa de aleación de tungsteno

### 1. Descripción general de los parámetros de tamaño

Las placas de aleación de tungsteno implican tres dimensiones clave:

- **Espesor** : generalmente entre  $0,1\text{ mm}$  y  $50\text{ mm}$ , y algunos productos especiales pueden alcanzar  $0,05\text{ mm}$ ;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Largo y ancho** : Varía según la aplicación, generalmente en el rango de 50 mm a 500 mm;
- **Planitud y ángulo del borde** : directamente relacionados con el ensamblaje del tablero y la integridad del panel.

## 2. Estándar de grado de precisión dimensional

Las normas de referencia de tolerancia dimensional internacionales comúnmente utilizadas incluyen:

Norma N°	proyecto	Nivel de precisión	Observación
ASTM B777	Tolerancia de espesor y ancho	$\pm 0,05-0,2$ mm	Clasificación por espesor de placa y estado de laminación
GB/T 3876	Longitud, diferencia diagonal	$\pm 0,3$ mm	Especificaciones generales de la norma nacional
ISO 2768-f	Grado de tolerancia para chapa metálica más precisa	Bien	Para aplicaciones de precisión como electrónica y tratamientos médicos.

Algunas placas de aleación de tungsteno de alta gama, como las que se utilizan en sistemas de colimación de radioterapia o placas estructurales para detectores nucleares, incluso requieren **corte por láser y fresado CNC** para lograr un control de precisión geométrica de  $\pm 0,01$  mm.

## 3. Factores clave del proceso que afectan el control de tamaño

- **Precisión del molde y uniformidad de prensado** : afectan directamente la consistencia dimensional de la hoja en blanco;
- **Predicción y control de la relación de contracción por sinterización** : La contracción lineal durante la sinterización es de aproximadamente 10%–15%, lo que requiere un cálculo preciso;
- **Control de deformación por laminado y rebote elástico** : el laminado en caliente y el laminado en frío deben estimar completamente el endurecimiento del material y la compensación de la deformación;
- **Control de posprocesamiento** : incluye esmerilado, pulido, recorte y otros procesos que deben coordinarse con el objetivo de control de precisión dimensional.

## 3. Influencia sinérgica de la densidad y la precisión dimensional

Las placas de aleación de tungsteno no existen de forma aislada, sino que poseen propiedades físicas clave que se restringen y optimizan mutuamente. Por ejemplo:

- La alta densidad suele ir acompañada de una mayor tendencia a la deformación de la placa, y es necesario optimizar su planitud mediante una trayectoria de laminación razonable;
- Cuando se reduce la tolerancia dimensional, los requisitos de uniformidad de la estructura interna de la placa también son más altos;
- Las pequeñas fluctuaciones de espesor en chapas metálicas de precisión pueden amplificar el impacto en la evaluación de la gravedad específica y la dinámica de los componentes funcionales.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Por lo tanto, en la práctica industrial, el " sistema de control bidimensional de **tamaño-densidad** " de las placas de aleación de tungsteno generalmente necesita confiar en la simulación numérica (como el análisis de deformación térmica de elementos finitos), equipos de medición inteligentes (interferómetro láser, máquina de medición de tres coordenadas) y un sistema de gestión de calidad (como ISO 9001, AS9100) para garantizar que el producto final cumpla con los altos requisitos de confiabilidad.

#### IV. Resumen

La densidad y la gravedad específica de las placas de aleación de tungsteno son indicadores clave para evaluar su estabilidad física y resistencia estructural, mientras que la precisión del control dimensional determina su adaptabilidad e intercambiabilidad en sistemas de fabricación de alta gama. En el contexto del desarrollo de nuevos materiales con alto rendimiento, microestructura e integración, la tecnología de control dimensional y de densidad de placas de aleación de tungsteno evoluciona continuamente hacia una **fabricación inteligente, de alta densidad y alta precisión**.

#### 2.2 Resistencia a la tracción, límite elástico y tenacidad a la fractura

Como material estructural de alto rendimiento, las propiedades mecánicas de las placas de aleación de tungsteno, como la **resistencia a la tracción**, el límite elástico y la tenacidad a la fractura, determinan directamente su aplicabilidad, seguridad y longevidad al ser sometidas a cargas externas y tensiones de alta temperatura. En aplicaciones como la industria aeroespacial, la física de altas energías y los blindajes, el material no solo debe poseer alta resistencia, sino también mantener la integridad estructural en condiciones extremas, como la concentración de tensiones, las cargas de impacto y la fatiga térmica. Por lo tanto, una comprensión completa del comportamiento de respuesta mecánica de las placas de aleación de tungsteno es fundamental para sus aplicaciones de diseño, fabricación e ingeniería.

#### 1. Definición básica de resistencia a la tracción y límite elástico

- **Resistencia (UTS):** Es la tensión máxima que un material puede soportar bajo tensión uniaxial. La unidad es MPa o ksi, que refleja la capacidad portante última del material.
- **Resistencia (YS):** se refiere al valor de tensión a partir del cual el material comienza a experimentar deformación plástica bajo la acción de una fuerza externa. Es un indicador importante del límite de seguridad de la estructura diseñada.

En el caso de las placas de aleación de tungsteno, debido a su alta densidad y a su fuerte unión metálica, la resistencia es mucho mayor que la de las aleaciones estructurales generales. Los parámetros típicos son los siguientes:

Sistema de aleación	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	Observación
W-Ni-Fe	700–1000	500–750	En condiciones normales de temperatura
W-Ni-Cu (tipo no magnético)	600–850	450–700	Ductilidad ligeramente mejor
Placa de aleación Nano W	>1000	>850	Tamaño de partícula <500 nm, con mecanismo de fortalecimiento

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Nota :** Las propiedades mecánicas reales varían según la proporción de aleación, el estado del tratamiento térmico, el espesor de la placa, la microestructura y están sujetas a estándares de prueba (como ASTM E8/E8M, GB/T 228.1).

## 2. Análisis del mecanismo microscópico de intensidad

La placa de aleación de tungsteno está controlada principalmente por los siguientes factores:

1. **Matriz de tungsteno :** Según la relación de Hall-Petch, cuanto más fino sea el grano, mayor será el límite elástico. Las aleaciones de tungsteno nanocristalino presentan una resistencia extraordinaria gracias a su estructura de grano ultrafino.
2. **Fase de unión metálica multifásica (Ni, Fe, Cu) :** forma una distribución continua o de red durante el proceso de sinterización, forma una interfaz de fase de transición con partículas de tungsteno y mejora la plasticidad;
3. **Control de porosidad y defectos :** una alta densidad (>98,5%) puede reducir la iniciación de microfisuras y mejorar la resistencia a la tracción;
4. **Estrés residual y estado del tratamiento térmico :** el estrés residual del trabajo en caliente o laminado reducirá la uniformidad de la resistencia, y el tratamiento de recocido ayuda a estabilizar la resistencia;
5. **Mecanismo de fortalecimiento de elementos :** la adición de Re, Mo, etc. puede formar una fase de fortalecimiento, inhibir el movimiento de dislocación y aumentar la resistencia al rendimiento.

## 3. Tenacidad a la fractura y comportamiento de la fractura

### 1. Definición e importancia

**La tenacidad a la fractura (K<sub>IC</sub>)** se refiere a la capacidad de un material para resistir la fractura en presencia de entalladuras o grietas. Es un parámetro fundamental para medir la redundancia de seguridad estructural. Su unidad es MPa·m<sup>1/2</sup>.

La aleación de tungsteno posee una alta resistencia, y su tenacidad a la fractura es mucho menor que la de las aleaciones de titanio o aluminio debido a la fragilidad de la propia matriz de tungsteno. Por lo tanto, es particularmente necesario optimizar la tenacidad en los campos de protección e impacto estructural.

### 2. Parámetros típicos de tenacidad

Tipo de aleación	Tenacidad a la fractura K <sub>IC</sub> (MPa·m <sup>1/2</sup> )	Observación
Placa W-Ni-Fe ordinaria	15–25	Valor de prueba de temperatura normal
Placa W-Ni-Cu refinada	20–30	Tipo no magnético, ductilidad ligeramente mejor.
Placa de aleación W nano-reforzada	30–45	Fortalecimiento del grano ultrafino, tenacidad significativamente mejorada

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Mecanismo de propagación de grietas

La placa de aleación de tungsteno bajo carga de tracción tiene las siguientes características:

- **Alta temperatura de transición frágil-dúctil** : la mayoría de las placas de aleación W presentan una fractura cuasi frágil a temperatura ambiente;
- **Mecanismo de deflexión de grietas** : La fase de unión Ni/Cu en la estructura multifásica puede absorber parcialmente la energía de propagación de grietas, lo que resulta en deflexión;
- **La placa de aleación de tungsteno de grano fino presenta un plano de clivaje cuasi-clivaje** : una parte de ella presenta un modo compuesto de clivaje por hoyuelos.

Para mejorar la tenacidad a la fractura, a menudo se utilizan los siguientes métodos:

- Controlar la distribución del tamaño de las partículas de polvo para evitar la concentración de tensión causada por partículas grandes;
- Mejorar la continuidad y tenacidad de la fase de unión;
- Después de que la placa es tratada térmicamente, se realiza un "laminado direccional" para pasivar las grietas que se extienden a lo largo de la interfaz.

### 4. Métodos y normas de ensayo de propiedades mecánicas

1. **Ensayo de resistencia a la tracción** : utilizando probetas tipo mancuerna normalizadas, según normas ASTM E8 o GB/T 228.1;
2. **Ensayo de tenacidad a la fractura** : generalmente se utiliza una muestra de viga con entalla de un solo borde (SENB) o una muestra compacta (CT), consulte ASTM E399;
3. **Control de condiciones de prueba** :
  - Temperatura: temperatura ambiente a temperatura alta (300°C–800°C);
  - Direccionalidad: La diferencia de rendimiento entre la dirección del espesor de la placa y la dirección de laminación es significativa;
  - Tamaño de la grieta/tasa de carga, etc.

### 5. Análisis comparativo con otros materiales de alta resistencia

Tipo de material	Resistencia a la tracción (MPa)	Tenacidad a la fractura (MPa·m <sup>1/2</sup> )	Reseñas de aplicaciones
Aleación de titanio Ti-6Al-4V	~900	~50–60	Excelente rendimiento integral, adecuado para estructuras de aviación.
Aleación de aluminio de alta resistencia 7075	~600	~25–35	Baja densidad pero no tan fuerte como la aleación de tungsteno.
Placa de aleación de tungsteno (W-Ni-Fe)	800–1000	20–30	Alta densidad y alta resistencia, adecuado para estructuras de inercia y protección.
Placa compuesta de cobre y tungsteno	~600	~15	Buena conductividad térmica pero tenacidad ligeramente menor, adecuado para componentes de disipación de calor.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las placas de aleación de tungsteno superan con creces a las aleaciones de aluminio y titanio en resistencia y gravedad específica, pero presentan una tenacidad ligeramente inferior. Son adecuadas para **piezas estructurales de tamaño compacto, grandes cargas y altos requisitos de respuesta instantánea al impacto**, como contrapesos aeroespaciales, protección de reactores nucleares y estructuras para proyectiles perforantes.

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno ofrecen altos niveles de resistencia a la tracción y al límite elástico, manteniendo una alta gravedad específica y resistencia al calor, a la vez que optimizan continuamente su tenacidad a la fractura. Gracias al control de grano refinado, el diseño de la fase de unión y los procesos de tratamiento térmico mejorados, las placas modernas de aleación de tungsteno han desarrollado gradualmente una capacidad estructural integral que equilibra alta resistencia con tenacidad controlada. Esto las convierte en ventajas materiales irremplazables en sectores clave como la defensa, la industria aeroespacial, los dispositivos médicos y la refrigeración electrónica.

### 2.3 Dureza y resistencia al desgaste

Como material metálico avanzado con alta densidad, alta resistencia, resistencia al calor y resistencia a la corrosión, la **dureza y la resistencia al desgaste** de la placa de aleación de tungsteno son parámetros clave para medir su vida útil y estabilidad estructural, especialmente en los campos de piezas móviles de alta velocidad, superficies de contacto de impacto, fuertes condiciones de fricción, etc. Estas dos propiedades no solo están controladas por la microestructura del material en sí, sino que también están estrechamente relacionadas con su diseño de composición, proceso de preparación y estado de tratamiento de la superficie.

## 1. Base de dureza de la placa de aleación de tungsteno

### 1. Definición de dureza y unidades comunes

La dureza se refiere a la capacidad de un material para resistir la deformación plástica local, la indentación o el rayado. La dureza de las placas de aleación de tungsteno se suele expresar de las siguientes maneras:

- **Dureza Brinell (HB)** : aplicable a placas de tungsteno gruesas, que reflejan el estado de endurecimiento general;
- **Dureza Vickers (HV)** : adecuada para mediciones de precisión, especialmente para investigación de microestructura;
- **Dureza Rockwell (HRC/HRB)** : Adecuado para pruebas rápidas in situ de placas de aleación de dureza media.

### 2. Rango de dureza común de las placas de aleación de tungsteno

Tipo de aleación	Rango de dureza típico
Placa de aleación W-Ni-Fe	200–300 HB
Placa de aleación W-Ni-Cu	180–260 HB
Placa de aleación de tungsteno de alta resistencia	320–400 HB

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Placa compuesta de cobre y tungsteno (superficie dura)	150–200 HB
Placa de aleación de tungsteno nanocristalino	≥400 HV

En términos generales, cuanto mayor sea el contenido de tungsteno, mayor será la densidad y cuanto más finos sean los granos, mayor será la dureza del material.

### 3. Mecanismos microscópicos que afectan la dureza

- **La dureza intrínseca de la matriz de tungsteno es extremadamente alta** : la dureza Vickers del tungsteno puro puede alcanzar 350-450 HV, lo que le da al material una resistencia general a la deformación;
- **Efecto de fortalecimiento de la estructura multifásica** : Ni, Fe, Cu y otras fases de enlace se dispersan para mejorar la capacidad de dispersión de tensión;
- **Refinamiento y fortalecimiento del grano** : El mecanismo Hall-Petch mejora significativamente la resistencia al movimiento de dislocación microscópica;
- **Efectos del tratamiento térmico** : el recocido reduce la dureza y aumenta la ductilidad; los tratamientos de fortalecimiento de la solución y envejecimiento aumentan la dureza general.

## 2. Resistencia al desgaste de la placa de aleación de tungsteno.

### 1. Definición e importancia de la resistencia al desgaste

**Desgaste físico, desprendimiento superficial o daños por microcorte** durante el contacto. Las placas de aleación de tungsteno, gracias a su alta dureza, alto punto de fusión y fuerte unión metálica, se utilizan a menudo en componentes de fricción, plantillas de moldes, anillos de rodamientos giratorios y otras aplicaciones donde se requiere **mantener un bajo índice de desgaste a pesar de la fricción en seco, cargas elevadas y medios corrosivos** .

### 2. Análisis del mecanismo de resistencia al desgaste

Las placas de aleación de tungsteno están dominadas principalmente por los siguientes mecanismos:

- **La fase de alta dureza domina la resistencia al desgaste** : los granos de tungsteno tienen una alta dureza, lo que puede prevenir eficazmente el corte por partículas extrañas o bordes de herramientas;
- **Función de control de desgaste de la fase de unión** : aunque las fases metálicas como Ni y Cu son relativamente blandas, pueden amortiguar las cargas de impacto y mejorar la resistencia al desgaste por impacto;
- **El control de la porosidad y los defectos es fundamental** : cuanto más microporos haya, más susceptible será la superficie al desprendimiento por fatiga;
- **Mecanismo de mejora del tratamiento de la superficie** : si la placa de aleación de tungsteno se trata con nitruración de plasma, galvanoplastia de níquel y pulverización de una capa de cerámica, se puede mejorar significativamente la resistencia al desgaste.

### 3. Pruebas y datos típicos de resistencia al desgaste

Las pruebas comunes incluyen:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Ensayo de fricción en seco (pasador sobre disco)** : determinación del índice de volumen de desgaste y del coeficiente de fricción;
- **Prueba de desgaste de muelas abrasivas (ASTM G65)** : se utiliza para evaluar la resistencia a la erosión y al rayado;
- **Prueba de desgaste por impacto de alta velocidad** : simula un entorno de erosión balística (como el calor por fricción del núcleo de un proyectil perforante).

Algunos ejemplos de resultados de pruebas son los siguientes:

Tipo de material	Tasa de desgaste (mm <sup>3</sup> /N·m)	Coefficiente de fricción	Condiciones de prueba
Placa W-Ni-Fe	$2,1 \times 10^{-6}$	0,18	Fricción seca, 20 N, RT
Placa de aleación W de oxidación superficial	$1,3 \times 10^{-6}$	0.12	La capa de óxido tiene un espesor de aproximadamente 2 μm.
Placa compuesta de zirconio-W pulverizado	$0,8 \times 10^{-6}$	0.10	La capa de cerámica mejora significativamente la resistencia al desgaste.

### 3. Medidas de ingeniería para mejorar la dureza y la resistencia al desgaste.

#### 1. Optimización del diseño de materiales :

- Aumentar el contenido de tungsteno y controlar la relación de la fase de unión;
- Añadir elementos de refuerzo (como Mo, Co, Re);
- Mecanismo de fortalecimiento de la dispersión de nanopartículas;

#### 2. Control de microestructura y tratamiento térmico :

- La sinterización multietapa mejora la densidad;
- El enfriamiento rápido o el recocido con temperatura controlada reducen los granos gruesos;

#### 3. Tecnología de tratamiento de superficies :

- Nitruración de plasma o recubrimiento de nitruro de silicio;
- Proyección de capa de carburo o capa de cerámica;
- El revestimiento de superficie con láser forma una capa densa.

#### 4. Diseño de estructura compuesta :

- placas estructurales compuestas de cerámica resistentes al desgaste como W-TiC y W-ZrO<sub>2</sub>;
- Tratamiento de endurecimiento local para crear una superficie de dureza gradual.

### 4. Casos típicos de aplicación

- **Placa disipadora de calor para equipos electrónicos** : requiere soporte de alta dureza y resistencia al rayado;
- **Capa estructural a prueba de balas y explosiones** : la resistencia al impacto y al desgaste es significativamente mejor que el acero;
- **Revestimiento de molde de procesamiento de alta velocidad** : resistente al corte de alta frecuencia y al desgaste por fatiga térmica;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Placa de interfaz de instrumentos de aeronave** : debe soportar frecuentes cargas de acoplamiento termomecánicos;

Las placas de aleación de tungsteno brindan ventajas significativas para reemplazar los metales tradicionales resistentes al desgaste, como las aleaciones con alto contenido de cobalto, el acero inoxidable y las aleaciones a base de níquel.

## V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno, con su alta dureza y resistencia al desgaste, poseen un valor de aplicación irremplazable en diversas aplicaciones de fabricación de alta gama y condiciones de trabajo extremas. Su dureza se ve influenciada por la microestructura, la composición de la aleación y el estado del tratamiento térmico, mientras que su resistencia al desgaste es el resultado de la optimización coordinada de la dureza, el diseño de la fase aglutinante y la ingeniería de superficies. En el futuro, mediante el control de la microestructura nanoestructurada, el tratamiento inteligente de superficies y la integración multifuncional de compuestos, el potencial de aplicación de las placas de aleación de tungsteno en entornos de resistencia al desgaste de precisión y fricción bajo cargas pesadas seguirá expandiéndose.

## 2.4 Conductividad térmica, coeficiente de expansión térmica y estabilidad a altas temperaturas

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial, nuclear, refrigeración electrónica y otros campos gracias a su alta densidad, alta resistencia y excelente estabilidad a altas temperaturas. **La conductividad térmica, las características de expansión térmica y las propiedades mecánicas a altas temperaturas del material** están directamente relacionadas con su vida útil y seguridad en entornos térmicos complejos. Por lo tanto, esta sección se centrará en el análisis de estos indicadores de rendimiento y factores influyentes.

### 1. Conductividad térmica

#### 1. Definición e importancia de la conductividad térmica

La conductividad térmica se refiere a la capacidad de un material para conducir la energía térmica, y su unidad general es  $W/(m \cdot K)$ . En las placas de aleación de tungsteno, una alta conductividad térmica ayuda a disipar el calor rápidamente, evitar la acumulación de tensión térmica y prevenir la fatiga térmica y el agrietamiento del material.

#### 2. Características de conductividad térmica de la placa de aleación de tungsteno.

- La conductividad térmica del tungsteno puro es extremadamente alta, alrededor de  $170-180 W/(m \cdot K)$  (a temperatura ambiente);
- aleación de tungsteno, la conductividad térmica disminuirá, pero aún permanecerá en un nivel alto, generalmente  $50-100 W/(m \cdot K)$ ;
- Las placas de aleación de tungsteno compuestas W-Cu tienen una mejor conductividad térmica y la conductividad térmica de algunos materiales puede superar los  $200 W/(m \cdot K)$ , lo que las hace adecuadas para aplicaciones de gestión térmica eficiente.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Factores que afectan la conductividad térmica

- **Composición de la aleación** : La alta conductividad térmica del cobre mejora significativamente la conductividad térmica de la aleación;
- **Densidad** : La alta porosidad reduce la conductividad térmica;
- **Microestructura** : el tamaño del grano y la dispersión de la interfaz afectan la transmisión del flujo de calor;
- **Cambios de temperatura** : generalmente, la conductividad térmica disminuye a medida que aumenta la temperatura.

## 2. Coeficiente de expansión térmica

### 1. Definición del coeficiente de expansión térmica

El coeficiente de expansión térmica (CTE) indica la relación entre el cambio dimensional de un material y la variación de temperatura, y su unidad es  $10^{-6}/K$ . Un CTE adecuado es fundamental para evitar la concentración de tensiones térmicas y fallos estructurales.

### 2. Características de expansión térmica de la placa de aleación de tungsteno.

- El tungsteno puro tiene un CTE bajo de aproximadamente  $4,5-5,0 \times 10^{-6} / K$  (temperatura ambiente a  $100\text{ }^{\circ}C$ ).
- Con la adición de elementos de aleación como Ni, Fe y Cu, el CTE aumenta, generalmente en el rango de  $6-8 \times 10^{-6} / K$ ;
- Debido al alto contenido de cobre, el CTE de las placas compuestas W-Cu puede alcanzar  $12-16 \times 10^{-6} / K$ , por lo que se debe prestar atención a la combinación con los materiales de conexión.

### 3. Importancia de la ingeniería

El CTE no es comparable con el de otros materiales, lo que puede provocar fácilmente estrés térmico, delaminación de la interfaz y deformación estructural. Un control estricto es especialmente necesario en aplicaciones aeroespaciales y de energía nuclear con ciclos térmicos frecuentes.

## 3. Rendimiento a altas temperaturas

### 1. Resistencia y estabilidad a altas temperaturas.

La placa de aleación de tungsteno aún puede mantener excelentes propiedades mecánicas a alta temperatura, lo que constituye su importante ventaja:

- La resistencia a la tracción a alta temperatura se puede mantener entre el 60% y el 80% de la temperatura ambiente;
- La temperatura de ablandamiento térmico supera los  $1200\text{ }^{\circ}C$ , adecuada para su uso en entornos de alta temperatura;
- Los puntos de fusión de elementos como Ni y Fe en la aleación son mucho más bajos que los del tungsteno, lo que limita el límite de temperatura alta.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Comportamiento de oxidación térmica

El tungsteno y las aleaciones de tungsteno son propensos a formar películas de óxido frágiles en entornos de oxidación a alta temperatura, lo que afecta su vida útil:

- Generalmente **se requiere una capa protectora** o una atmósfera inerte para retardar la oxidación;
- La tecnología de nano-recubrimiento y el diseño de materiales compuestos pueden mejorar eficazmente la resistencia a la oxidación.

## IV. Conclusión

Las placas de aleación de tungsteno ofrecen una excelente conductividad térmica y un bajo coeficiente de expansión térmica, lo que las hace ideales para entornos de alta temperatura y alto flujo térmico. Mediante el diseño de la aleación y el tratamiento superficial, la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación del material se mejoran continuamente para satisfacer diversas necesidades industriales.

### 2.5 Propiedades eléctricas, respuesta magnética y resistencia a la radiación

Las placas de aleación de tungsteno no solo son famosas por sus excelentes propiedades mecánicas y térmicas, sino que también presentan ventajas únicas en los campos de la electrónica, el electromagnetismo y la energía nuclear. Sus **propiedades eléctricas**, **características de respuesta magnética** y **resistencia a la radiación** son los indicadores básicos que determinan su estabilidad y seguridad en aplicaciones clave como equipos de alta tecnología, estructuras de reactores nucleares y materiales de protección.

#### 1. Propiedades eléctricas

##### 1. Conductividad y resistividad

- El tungsteno en sí es un metal de transición con alta conductividad eléctrica, pero después de la aleación, su conductividad eléctrica disminuye debido al dopaje con elementos como Ni, Fe y Cu.
- La resistividad de las placas de aleación de tungsteno generalmente varía de aproximadamente 5 a 15  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$  (a temperatura ambiente), que es mucho más alta que la del cobre puro (aproximadamente 1,68  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ), pero más baja que la de los materiales cerámicos.
- La resistividad se ve afectada por la composición de la aleación, el proceso de preparación, el tamaño del grano y la temperatura. Cuando la temperatura aumenta, la resistividad suele mostrar un coeficiente de temperatura positivo.

##### 2. Importancia ingenieril de las propiedades eléctricas

- En las estructuras de disipación de calor electrónica, las placas de aleación de tungsteno pueden reducir eficazmente el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos debido a su buena conductividad eléctrica y térmica.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Para ciertas aplicaciones de blindaje electromagnético, las propiedades de resistividad de las placas de aleación de tungsteno también son beneficiosas para reducir la interferencia electromagnética.

## 2. Características de respuesta magnética

### 1. Tipo magnético

- El tungsteno y la mayoría de las aleaciones de tungsteno son paramagnéticos o débilmente diamagnéticos. La adición de Ni y Fe puede introducir una respuesta magnética, pero el ferromagnetismo en las aleaciones reales suele verse suprimido por la alta densidad y la estructura cristalina del tungsteno.
- La aleación W-Ni-Fe muestra un magnetismo débil en ciertas relaciones y se utiliza principalmente en aplicaciones especiales que requieren controlar las propiedades magnéticas.

### 2. Parámetros de rendimiento magnético

- La permeabilidad magnética es baja, adecuada para equipos electrónicos de alta frecuencia y de radiofrecuencia;
- La intensidad de saturación magnética es baja, lo que evita cambios drásticos en las propiedades del material causados por campos magnéticos;
- Ciertas aleaciones de tungsteno no magnéticas (como W-Ni-Cu) se utilizan ampliamente en los campos aeroespacial y médico para evitar la interferencia del campo magnético.

## 3. Resistencia a la radiación

### 1. Mecanismo de resistencia a la radiación

- La placa de aleación de tungsteno tiene un número atómico muy alto ( $Z = 74$ ) y una alta densidad, y puede bloquear y absorber eficazmente los rayos gamma, los rayos X y la radiación de neutrones;
- Su estructura reticular estable y su fuerte fuerza de unión le permiten mantener la integridad del material en un entorno de radiación de alta energía, reduciendo la expansión, fragilización o degradación del material causada por la radiación;
- Elementos como Ni y Fe en la aleación pueden mejorar la capacidad de reparar daños por radiación.

### 2. Escenarios de aplicación

- Como material de protección en reactores nucleares, absorbe eficazmente los neutrones y los rayos gamma;
- Cubiertas protectoras de equipos de radiación médica y componentes de dispositivos de radioterapia;
- Blindaje contra la radiación para equipos electrónicos de naves espaciales.

### 3. Estabilidad del rendimiento en entornos de radiación

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Los experimentos muestran que las propiedades mecánicas de las aleaciones de tungsteno cambian poco después de la radiación de dosis alta y el daño microestructural es limitado;
- Es necesario combinar la tecnología de recubrimiento de superficies para mejorar aún más la resistencia a la oxidación y la tolerancia a la radiación.

#### 4. Conclusión:

La placa de aleación de tungsteno presenta una excelente capacidad de ajuste del rendimiento eléctrico, baja respuesta magnética y excelente resistencia a la radiación, lo que la hace ideal para diversos campos de alta tecnología, como la disipación de calor electrónica, la protección de la energía nuclear y la industria aeroespacial. Gracias al diseño de la composición del material y la optimización de la estructura compuesta, su rendimiento en entornos electromagnéticos y de radiación será aún mejor, y cuenta con un amplio potencial de desarrollo futuro.

### 2.6 Análisis de resistencia a la corrosión y estabilidad química

Las placas de aleación de tungsteno suelen enfrentarse a condiciones ambientales complejas en aplicaciones industriales, como la humedad, la oxidación atmosférica, la corrosión ácido-base y la oxidación a alta temperatura. Su **resistencia a la corrosión y estabilidad química** son cruciales para garantizar un funcionamiento estable a largo plazo y prolongar la vida útil del material. Esta sección analiza sistemáticamente la resistencia a la corrosión, los mecanismos de reacción química y las estrategias de protección relacionadas con las placas de aleación de tungsteno.

#### 1. Características de resistencia a la corrosión de la placa de aleación de tungsteno.

##### 1. Estabilidad química del

**tungsteno:** El tungsteno posee una fuerte resistencia a la corrosión, especialmente en entornos neutros y ligeramente alcalinos. Su alto punto de fusión y su fuerte fuerza de adhesión ralentizan su velocidad de reacción en la mayoría de las soluciones ácidas y alcalinas, lo que da lugar a la formación de una densa película de óxido en su superficie que le proporciona protección.

##### 2. Influencia de los elementos de aleación.

Las aleaciones de tungsteno suelen contener elementos de aleación como níquel, hierro y cobre. La resistencia a la corrosión de estos elementos es relativamente baja y puede convertirse en el punto de partida de la corrosión, especialmente en medios altamente corrosivos como los iones cloruro y el ácido sulfúrico.

##### 3. frente a la corrosión

. La porosidad y las microfisuras pueden provocar fácilmente corrosión local y promover el agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC).

#### 2. Estabilidad química y mecanismo de corrosión.

##### 1. Oxidación atmosférica.

La aleación de tungsteno presenta una alta resistencia a la oxidación atmosférica a temperatura ambiente, y se puede formar una densa película de óxido de tungsteno ( $WO_3$ ) en la superficie para proteger el metal interno de una mayor oxidación. Sin embargo, la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

velocidad de oxidación se acelera a altas temperaturas, lo que resulta en el engrosamiento de la película de óxido y su fragilidad.

## 2. Corrosión ácida y alcalina

- **Ambiente ácido** : como el ácido nítrico, el ácido clorhídrico, etc., la superficie de la aleación de tungsteno puede disolverse o puede producirse fragilización por hidrógeno, y las fases Ni y Fe son más susceptibles a la corrosión;
- **Ambiente alcalino** : el tungsteno y sus óxidos son generalmente estables y débiles a la corrosión alcalina, pero algunas bases fuertes como el hidróxido de sodio aún pueden dañar la superficie del material en altas concentraciones.

## 3. Corrosión electroquímica.

En medios electrolíticos, las aleaciones de tungsteno pueden generar un efecto de microbatería, lo que aumenta la corrosión local. La fase de tungsteno actúa como cátodo y la fase de unión de la aleación puede actuar como ánodo, generando una corriente de corrosión.

## 3. Medidas técnicas para mejorar la resistencia a la corrosión

### 1. Optimización del diseño de materiales

- Aumentar el contenido de tungsteno y reducir la proporción de fase sensible a la corrosión;
- Se añaden elementos resistentes a la corrosión, como molibdeno y cromo, para mejorar la estabilidad general.

### 2. Tecnología de protección de superficies

- El tratamiento de oxidación superficial forma una película protectora de óxido;
- Aplicar revestimiento anticorrosivo (compuesto cerámico, metálico);
- La galvanoplastia de capas metálicas como níquel y cromo puede mejorar la resistencia a la corrosión de la superficie.

### 3. Control ambiental

- Evite el contacto con medios corrosivos de alta concentración;
- Controlar la temperatura y la humedad para reducir el riesgo de corrosión electroquímica.

### 4. Mejora de procesos

- Mejora la densidad y reduce los poros y microfisuras;
- Tratamiento térmico refinado para mejorar la uniformidad del tejido.

## 4. Ejemplos de protección contra la corrosión en aplicaciones típicas

- **Industria nuclear** : cuando se utilizan materiales de protección de aleación de tungsteno, a menudo se utiliza atmósfera inerte o envasado al vacío para evitar la corrosión por oxidación.
- **Equipo médico** : Los dispositivos de radioterapia de aleación de tungsteno requieren una biocompatibilidad estricta y resistencia a la corrosión, y a menudo están protegidos por recubrimientos bioinertes.
- **Aeroespacial** : En entornos de alta temperatura y alta humedad, se requiere nitruración superficial o pulverización de recubrimientos resistentes a la corrosión para mejorar la estabilidad del material.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno, con su alto contenido de tungsteno y su estable estructura reticular, presentan buena resistencia a la corrosión y estabilidad química en la mayoría de los entornos. Mediante el diseño de la aleación, el tratamiento superficial y el control ambiental, se puede inhibir eficazmente el proceso de corrosión para garantizar el funcionamiento fiable y a largo plazo del material en condiciones de trabajo adversas.

## 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

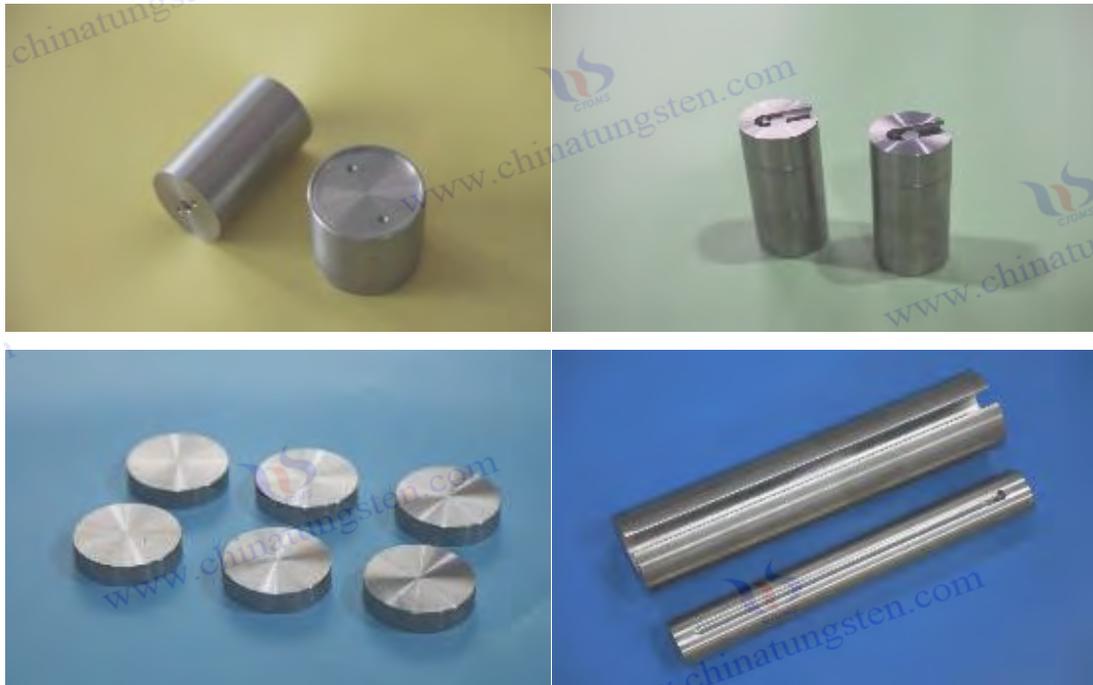
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

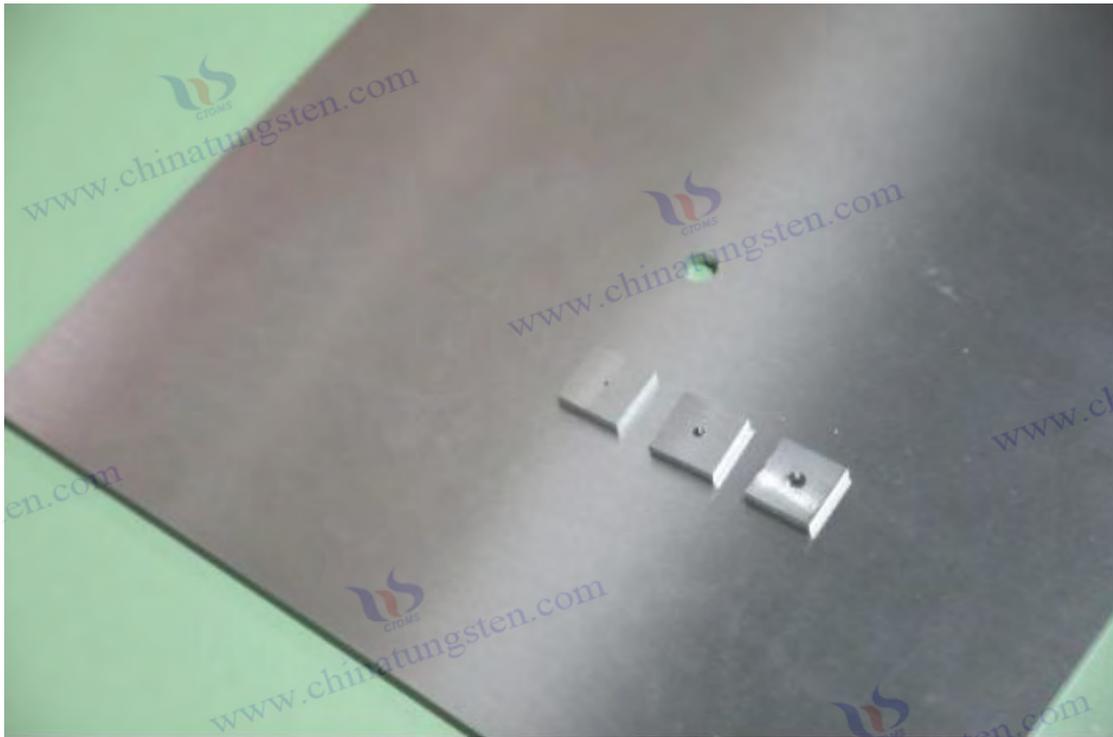
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### 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 y conformado de placas de aleación de tungsteno

#### 3.1 Selección de materia prima y procesamiento de polvo de tungsteno y metal aglutinante

La selección y el procesamiento de las placas de aleación de tungsteno dependen de la calidad del polvo de tungsteno y del metal de unión, lo cual determina directamente la estabilidad del rendimiento y la eficiencia de conformado de la placa de aleación final. Esta sección detalla las características del polvo de tungsteno, los tipos y funciones de los metales de unión, y la tecnología de pretratamiento de las materias primas.

##### 1. Selección y características del polvo de tungsteno.

###### 1. Propiedades físicas y químicas del polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno es el material esqueleto de la aleación de tungsteno y debe tener las siguientes propiedades básicas:

- **Alta pureza** : el contenido de tungsteno generalmente es  $\geq 99,9\%$  para reducir el impacto de las impurezas en las propiedades de la aleación;
- **Tamaño de partícula adecuado** : La distribución del tamaño de partícula es uniforme, típicamente entre 1 y 10  $\mu\text{m}$ . El polvo fino favorece la densificación por sinterización, mientras que el polvo grueso favorece la fluidez y el conformado.
- **Forma de partícula regular** : los polvos esféricos o subesféricos tienen buena fluidez y favorecen un prensado uniforme;
- **Bajo contenido de oxígeno** : evita que los óxidos afecten la densidad y las propiedades mecánicas.

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Método de preparación de polvo de tungsteno

- **Método de reducción de hidrógeno** : el tungstato se reduce a polvo de tungsteno metálico con tamaño de partícula controlable;
- **Método de reducción carbotérmica** : se utiliza polvo de carbono para reducir los compuestos de tungsteno, lo cual tiene un bajo costo pero un tamaño de partícula más grande;
- **Método de secado por aspersión** : para producir polvo de tungsteno esférico y mejorar la fluidez;
- **Aleación mecánica** : se utiliza para preparar polvo de nanotungsteno y mejorar el efecto de fortalecimiento.

## 2. Tipos y selección de metales de unión

### 1. Metal de unión principal

- **Níquel (Ni)** : Una fase aglutinante de uso común con buena humectabilidad y resistencia a altas temperaturas, que puede mejorar eficazmente la unión entre polvos de tungsteno;
- **Hierro (Fe)** : utilizado junto con el níquel, puede aumentar la resistencia y la dureza de la aleación y reducir los costos;
- **Cobre (Cu)** : Se utiliza en ciertos materiales compuestos de tungsteno y cobre para mejorar la conductividad térmica y las propiedades eléctricas, pero tiene poca capacidad de unión;
- **Cobalto (Co)** : Se utiliza en algunas aleaciones de tungsteno de alto rendimiento para mejorar la resistencia al desgaste y el rendimiento a altas temperaturas.

### 2. Requisitos físicos para metales unidos

- El tamaño de las partículas de polvo es uniforme y suele ser más fino que el del polvo de tungsteno (0,5–5  $\mu\text{m}$ );
- Alta pureza para evitar impurezas que introduzcan defectos en el material;
- La buena fluidez y miscibilidad garantizan una mezcla uniforme.

## 3. Tecnología de pretratamiento de materias primas

### 1. Mezcla de polvos

- Utilice métodos de mezcla mecánicos, como molienda de bolas y agitación, para garantizar que el polvo de tungsteno y el polvo de metal de unión se dispersen uniformemente;
- La adición adecuada de aditivos puede mejorar la dispersabilidad y evitar la aglomeración.

### 2. Secado y desoxigenación de polvos

- Después de mezclarlo, generalmente es necesario secar el polvo para eliminar la humedad y los residuos orgánicos;
- El tratamiento de desoxidación al vacío o en atmósfera de hidrógeno puede reducir el contenido de oxígeno y la oxidación durante la sinterización.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Detección y clasificación

- Controlar la distribución del tamaño de partícula mediante clasificación por tamiz o flujo de aire para garantizar la uniformidad y densificación del prensado;
- Elimina partículas anormales que sean demasiado grandes o demasiado finas.

### 4. Control de calidad y pruebas

- **Análisis de composición química** : se utilizan ICP, XRF y otros métodos para detectar el contenido de tungsteno y elementos de aleación;
- **Detección de distribución del tamaño de partículas** : analizador de tamaño de partículas láser o análisis microscópico;
- **Prueba de contenido de oxígeno** : utilizando desorción térmica, análisis de carbono y azufre y otros instrumentos para monitoreo;
- **Prueba de fluidez** : utilice un equipo de medición de ángulo de flujo o caudal para probar la fluidez del polvo.

## V. Resumen

La placa de aleación de tungsteno se basa en la selección de materias primas de alta calidad, como polvo de tungsteno y metal de unión, y en un proceso de pretratamiento científico. Un control adecuado del tamaño de partícula, la pureza, el contenido de oxígeno y la uniformidad de la mezcla son clave para garantizar un proceso de conformado y sinterización posterior sin problemas y una calidad estable del producto. En el futuro, con el desarrollo de nanopulvos y polvos de superficie funcionalizados, se mejorará aún más el rendimiento de la placa de aleación de tungsteno.

### 3.2 Proceso de preparación mediante pulvimetalurgia (prensado, prensado isostático, sinterización)

La placa de aleación de tungsteno se basa en la tecnología de pulvimetalurgia. Mediante los pasos de mezcla, conformación y sinterización de polvo de tungsteno y la unión de polvo metálico, se obtienen placas de aleación de alta densidad y alto rendimiento. Esta sección presenta sistemáticamente los procesos clave de la preparación pulvimetalúrgica y la influencia de los parámetros del proceso en la calidad del material.

#### 1. Mezcla y preparación del polvo

- El polvo de tungsteno y el polvo metálico de unión se mezclan estrictamente de acuerdo con la proporción para garantizar una composición uniforme;
- Utilice procesos como molienda de bolas y agitación mecánica para mejorar la dispersabilidad del polvo;
- Secar y desoxidar el polvo mezclado para evitar la oxidación durante la sinterización;
- Las partículas grandes y los aglomerados se eliminan mediante tamizado para garantizar la fluidez y un prensado uniforme.

#### 2. Proceso de prensado

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 1. Prensado uniaxial

- El polvo mezclado uniformemente se coloca en un molde y se prensa para darle forma bajo presión unidireccional;
- Ventajas: equipo simple, alta eficiencia de producción, adecuado para preparar losas de aleación de tungsteno con formas simples;
- Desventajas: La distribución de la densidad es desigual durante el proceso de prensado y es probable que se produzca un gradiente de densidad, lo que afecta la densidad de sinterización.

### 2. Prensado isostático en frío (CIP)

- El polvo se coloca en una bolsa de goma sellada, se sumerge en un medio líquido y se somete a una presión isostática uniforme;
- Ventajas: obtener un cuerpo verde denso y uniforme, reducir defectos internos y poros;
- Adecuado para la producción de placas de aleación de tungsteno con formas complejas o requisitos de alta densidad;
- El rango de presión generalmente es de 100 a 300 MPa.

### 3. Prensado isostático en caliente (HIP)

- Combinando alta temperatura y alta presión, el cuerpo del polvo se presuriza y sinteriza en un entorno de gas inerte (como argón);
- Ventajas: La sinterización y la densificación se completan simultáneamente, mejorando las propiedades mecánicas y la uniformidad de la aleación;
- Adecuado para la fabricación de placas de aleación de tungsteno de alta gama, puede mejorar significativamente la resistencia a la tracción y la dureza.

## 3. Proceso de sinterización

### 1. Principio de sinterización

- Al calentar a alta temperatura, el polvo de tungsteno y el metal de unión se difunden y disuelven, fortaleciendo así la unión entre las partículas;
- Eliminar los poros entre los polvos y lograr la densificación del material.

### 2. Atmósfera de sinterización

- Generalmente se utiliza hidrógeno, nitrógeno o gas inerte de alta pureza como protección para evitar la oxidación y la contaminación por impurezas;
- La atmósfera de hidrógeno tiene un efecto reductor y evita la formación de óxidos.

### 3. Control de temperatura y tiempo

- La temperatura de sinterización generalmente se controla entre 1350 y 1600 °C, la cual está determinada por la composición de la aleación y el equipo de sinterización;
- El tiempo de retención debe garantizar una difusión adecuada del polvo, que normalmente varía entre 30 minutos y varias horas;
- Una temperatura demasiado alta puede provocar el crecimiento del grano y afectar las propiedades mecánicas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4. Tratamiento posterior y densificación

- Algunos procesos combinarán el prensado isostático en caliente (HIP) para la densificación secundaria;
- El tratamiento térmico ajusta las propiedades organizativas y mejora la tenacidad y dureza;
- El tratamiento de recocido antes del mecanizado mejora la plasticidad del material y las propiedades de procesamiento.

#### 5. Influencia de los parámetros del proceso en el rendimiento

Proceso	Parámetros clave	Influencia en el rendimiento de la placa de aleación de tungsteno
reprimir	Tamaño de la presión y tiempo de retención	Afecta la densidad del cuerpo verde y la uniformidad de la densidad determina la calidad de sinterización.
sinterización	Temperatura, atmósfera, tiempo.	Afecta el tamaño del grano, la fuerza de unión y la densidad.
Prensado isostático en caliente	Temperatura, presión, tiempo	Mejorar aún más la densidad y las propiedades mecánicas.

#### VI. Resumen

La preparación pulvimetalúrgica es la tecnología clave para la fabricación de placas de aleación de tungsteno. La selección adecuada de los métodos de prensado y el control de los parámetros del proceso de sinterización son clave para obtener placas de aleación de tungsteno de alto rendimiento. Con el continuo avance de los equipos y procesos, la aplicación de tecnologías avanzadas como el prensado isostático en caliente ha mejorado continuamente las propiedades mecánicas, la densidad y la uniformidad estructural de las placas de aleación de tungsteno para satisfacer los requisitos de aplicaciones de alta gama.

#### 3.3 Procesos de conformado por laminado en caliente y laminado en frío

Tras el proceso de sinterización pulvimetalúrgica, la placa de aleación de tungsteno suele someterse a procesos mecánicos como **el laminado en caliente** y **el laminado en frío** para ajustar aún más su estructura y rendimiento, mejorar la densidad y la resistencia mecánica, así como la calidad superficial y la precisión dimensional. Esta sección detalla el flujo del proceso, los aspectos técnicos del laminado en caliente y el laminado en frío, y su impacto en el rendimiento de la placa de aleación de tungsteno.

#### 1. Proceso de laminación en caliente

##### 1. Descripción general del proceso

- El laminado en caliente es un proceso en el que las placas de aleación de tungsteno se calientan a una temperatura adecuada (generalmente en el rango de 800 a 1200 °C) y se deforman plásticamente aplicando presión en un laminador.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- El laminado en caliente puede refinar eficazmente los granos, mejorar la estructura interna de la aleación y mejorar la tenacidad y la plasticidad.

## 2. Control de temperatura de laminación en caliente

- La temperatura de calentamiento adecuada garantiza que el material tenga buena plasticidad y evite grietas y fracturas;
- Una temperatura demasiado alta puede provocar el crecimiento del grano y reducir las propiedades mecánicas;
- Una temperatura demasiado baja aumentará la resistencia a la deformación y puede provocar grietas en la superficie de la placa.

## 3. Deformación por laminación en caliente y velocidad de laminación.

- La deformación se controla dentro de un rango razonable (la reducción del espesor de un solo laminado es generalmente del 10%-30%) para garantizar la uniformidad de la estructura;
- La velocidad de laminación afecta la distribución de la temperatura y debe ajustarse según las condiciones del equipo y del material para evitar el estrés causado por un enfriamiento desigual.

## 4. Recocido

- A menudo se requiere recocido después del laminado en caliente para eliminar la tensión interna y restaurar la tenacidad del material;
- La temperatura de recocido suele ser ligeramente inferior a la temperatura de laminado en caliente y el tiempo se ajusta según el espesor de la placa y las propiedades del material.

## 2. Proceso de laminación en frío

### 1. Descripción general del proceso

- El laminado en frío consiste en realizar múltiples procesos plásticos en la placa de aleación de tungsteno laminada en caliente a temperatura ambiente para mejorar aún más la precisión de la placa y la calidad de la superficie;
- El laminado en frío puede aumentar significativamente la resistencia y la dureza del material, lo que lo hace adecuado para la fabricación de placas de aleación de tungsteno de alto rendimiento.

### 2. Deformación por laminación en frío y esquema de laminación

- La deformación única es pequeña, normalmente del 5% al 15%, para evitar que la placa se agriete;
- Múltiples pasadas de laminación y recocido intermitente para restaurar la plasticidad y evitar un endurecimiento excesivo.

### 3. Control de calidad y tamaño de la superficie

- El laminado en frío puede reducir eficazmente la rugosidad de la superficie y mejorar la suavidad;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Controle con precisión el espesor de la placa para lograr una alta precisión y uniformidad dimensional.

### 3. Aplicación integral del laminado en caliente y el laminado en frío.

- Generalmente, se adopta un proceso combinado de laminado en caliente seguido de laminado en frío para garantizar la plasticidad y la densidad del material y, al mismo tiempo, lograr una alta resistencia y una excelente calidad de superficie.
- Las placas de aleación de tungsteno se pueden optimizar diseñando racionalmente la ruta de laminación y el proceso de tratamiento térmico.

### 4. Influencia del proceso en el rendimiento de la placa de aleación de tungsteno.

Proceso	Parámetros clave	Impacto
Laminación en caliente	Temperatura, deformación, velocidad.	Refinamiento de grano, liberación de tensiones internas y mejora de la tenacidad.
Laminación en frío	Deformación, número de pasadas	Mayor resistencia y dureza, superficie lisa y alta precisión dimensional.

### 3.4 Tecnología de tratamiento de superficies (pulido, decapado, galvanoplastia, PVD)

Tras la preparación de la placa de aleación de tungsteno, suele ser necesario someterla a una serie de tratamientos superficiales para mejorar su calidad, resistencia a la corrosión y propiedades funcionales. El tratamiento superficial no solo mejora la apariencia y la precisión dimensional del material, sino que también aumenta su resistencia al desgaste, la resistencia a la oxidación y la conductividad eléctrica. Esta sección se centra en las cuatro tecnologías de tratamiento superficial más utilizadas para placas de aleación de tungsteno: pulido, decapado, galvanoplastia y deposición física de vapor (PVD).

#### 1. Pulido (pulido mecánico)

##### 1. Finalidad del pulido

- Eliminar la capa de óxido, las rebabas y las marcas de procesamiento en la superficie de la placa de aleación de tungsteno;
- Mejora la planitud y suavidad de la superficie y reduce la rugosidad de la superficie;
- Proporciona un buen sustrato para procesos posteriores como galvanoplastia y recubrimiento.

##### 2. Proceso de pulido

- Utilice papel de lija, pasta abrasiva y rueda de pulido para lijar finamente de forma gradual;
- La molienda gruesa, la molienda media y la molienda fina se procesan en etapas y el tamaño de partícula se refina gradualmente;
- Los equipos de pulido automatizado se utilizan en los procesos modernos para mejorar la consistencia y la eficiencia.

#### 3. Notas

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Controlar la temperatura de molienda para evitar el sobrecalentamiento de la superficie y la deformación del tejido;
- Elija abrasivos adecuados para evitar rayones o picaduras en la superficie.

## 2. Decapado (tratamiento químico)

### 1. Encurtido

- Eliminar óxidos superficiales, óxido e impurezas;
- Mejorar la actividad de la superficie y promover la adhesión de la capa de recubrimiento o galvanoplastia;
- Ajusta la rugosidad de la superficie y mejora la mojabilidad.

### 2. Agente de decapado y parámetros del proceso

- Soluciones de decapado comúnmente utilizadas: ácido clorhídrico diluido, ácido sulfúrico o ácido mixto;
- La temperatura, la concentración y el tiempo de decapado deben controlarse estrictamente para evitar una corrosión excesiva;
- Después del decapado, se debe realizar a tiempo la neutralización y la limpieza para evitar residuos de ácido.

### 3. Seguridad y protección del medio ambiente

- Las instalaciones de tratamiento de líquidos de escape y residuales deben estar equipadas para evitar la contaminación por gases ácidos y aguas residuales;
- Los operadores deben usar equipo de protección para garantizar la seguridad.

## 3. Tecnología de galvanoplastia

### 1. Finalidad de la galvanoplastia

- Aplicar una capa de metal (como níquel, cromo, cobre, etc.) sobre la superficie de la placa de aleación de tungsteno para mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste;
- Mejorar la conductividad eléctrica y el rendimiento de la soldadura;
- Mejora la estética y la dureza de la superficie.

### 2. Capas metálicas galvanizadas de uso común

- **Niquelado** : se utiliza comúnmente para mejorar la resistencia a la corrosión y la dureza, y mejorar el rendimiento de lubricación;
- **Cromado** : proporciona alta dureza y resistencia al desgaste, superficie brillante;
- **Galvanoplastia de cobre** : mejora la conductividad y es adecuado para la industria electrónica.

### 3. Proceso de galvanoplastia

- Pretratamiento de superficies (desengrasado, decapado);
- Tratamiento de activación para promover la adsorción de iones metálicos;
- Sumergido en el tanque de galvanoplastia, se aplica corriente para depositar el recubrimiento;
- Post-procesamiento (pasivación, limpieza, secado).

### 4. Control de calidad de la galvanoplastia

- Controlar el espesor y la uniformidad del recubrimiento;
- Evite la formación de ampollas, poros y desprendimiento del revestimiento;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Compruebe periódicamente la adherencia y la dureza del revestimiento.

#### 4. Deposición física de vapor (PVD)

##### 1. Introducción a la tecnología PVD

- Tecnología de película delgada que evapora o pulveriza el material objetivo en un entorno de vacío y lo deposita sobre la superficie de la placa de aleación de tungsteno;
- Los materiales de recubrimiento comunes incluyen carburos (como TiC, WC), nitruros (TiN, CrN) y capas de metal.

##### 2. Ventajas del PVD

- El recubrimiento tiene una fuerte fuerza de adhesión, es denso y uniforme y ha mejorado significativamente la resistencia al desgaste y a la corrosión;
- Respetuoso con el medio ambiente y libre de contaminación, de acuerdo con los requisitos de fabricación ecológica moderna;
- Se puede controlar el espesor y la composición del recubrimiento para lograr un diseño de superficie funcional.

##### 3. Proceso de solicitud de PVD

- Limpieza y pretratamiento de materiales;
- Colocado en una cámara de vacío, el objetivo se calienta o se pulveriza;
- Deposición de recubrimientos, post-enfriamiento y post-procesamiento.

##### 4. Aplicaciones típicas

- placas de aleación de tungsteno en los campos aeroespacial y militar;
- Disipación de calor de equipos electrónicos y mejora de la superficie de las piezas de contacto;
- Recubrimientos resistentes al desgaste y biocompatibles para dispositivos médicos.

#### V. Resumen

El tratamiento superficial es un paso clave para mejorar el rendimiento general de las placas de aleación de tungsteno. El pulido garantiza una excelente calidad superficial, el decapado elimina eficazmente las impurezas y las capas de óxido, la galvanoplastia proporciona una capa protectora metálica resistente a la corrosión y funcional, y el PVD, una tecnología de recubrimiento avanzada, proporciona una excelente resistencia al desgaste y a la corrosión. Al combinar y optimizar racionalmente estos procesos de tratamiento superficial, se puede mejorar significativamente el rendimiento y la vida útil de las placas de aleación de tungsteno.

#### 3.5 Aplicación del revestimiento láser y la fabricación aditiva en materiales de placa

Con el continuo desarrollo de la tecnología de fabricación avanzada, el revestimiento láser y la fabricación aditiva (impresión 3D) se aplican gradualmente a la preparación y reparación de placas de aleación de tungsteno. Estas tecnologías logran la fusión y deposición local de materiales mediante rayos láser de alta precisión y alta densidad energética, ofrecen excelentes capacidades de conformado y aprovechamiento del material, y amplían significativamente el ámbito de aplicación y el potencial de mejora del rendimiento de las placas de aleación de tungsteno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1. Introducción a la tecnología de revestimiento láser

### 1. Principio del proceso:

El revestimiento láser utiliza un rayo láser de alta potencia para fundir parcialmente polvo o alambre metálico y depositarlo sobre la superficie del sustrato para formar una capa de aleación densa. Esta capa presenta una buena resistencia de adhesión y un gradiente de rendimiento, y puede mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión, así como el rendimiento a altas temperaturas del sustrato.

### 2. Ventajas tecnológicas

- Controlar con precisión el espesor y la composición de la capa de revestimiento para lograr un diseño de material funcionalmente graduado;
- Pequeña zona afectada por el calor, pequeña deformación del sustrato y baja tensión residual;
- Puede reparar los defectos superficiales de las placas de aleación de tungsteno y extender su vida útil.

### 3. Escenario de aplicación

- La placa de aleación de tungsteno está reforzada para mejorar la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión;
- Reparación local de defectos de fabricación y daños por desgaste o corrosión ocasionados durante el uso;
- Revestimiento de alta dureza sobre la superficie de la placa de aleación de tungsteno.

## 2. Tecnología de fabricación aditiva y sus ventajas

### 1. Descripción general de la fabricación aditiva.

La fabricación aditiva (FA) logra la formación de placas de aleación de tungsteno con una forma casi neta mediante el apilamiento de polvo metálico capa a capa, en combinación con fuentes de energía como láseres y haces de electrones. Las tecnologías más utilizadas incluyen la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones (EBM).

### 2. Ventajas tecnológicas

- Alto grado de libertad de diseño, capaz de fabricar estructuras complejas y piezas funcionalmente graduadas;
- Alto aprovechamiento del material, reduciendo desperdicios y costos;
- La creación rápida de prototipos acorta el ciclo de desarrollo del producto.

### 3. Desafíos del proceso

- El polvo de aleación de tungsteno tiene un alto punto de fusión y una alta conductividad térmica, lo que dificulta el control de la fusión;
- Es probable que se produzcan grietas y agujeros, y es necesario optimizar los parámetros del proceso y la calidad del polvo;
- Es necesario mejorar aún más la densidad y las propiedades mecánicas de las piezas formadas.

## 3. Flujo de proceso de revestimiento láser y fabricación aditiva

Proceso	Contenido principal
Preparación del polvo	Seleccione polvo de aleación de tungsteno con tamaño de partícula y

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	morfología adecuados para garantizar la fluidez y la pureza.
Preparación del equipo	Depuración de potencia del láser, velocidad de escaneo, sistema de protección de gas y otros parámetros
Preprocesamiento	La superficie del sustrato está limpia para garantizar una unión firme entre la capa de revestimiento y el sustrato.
Revestimiento/Impresión	El rayo láser escanea el polvo fundido para lograr un apilamiento capa por capa.
Posprocesamiento	Tratamiento térmico, mecanizado y pulido de superficies para mejorar la estructura y el rendimiento.

#### 4. Análisis de casos de aplicación

##### 1. En el campo aeroespacial,

la tecnología de revestimiento láser se utiliza para fortalecer la superficie de las placas de aleación de tungsteno para mejorar su resistencia a altas temperaturas y al desgaste para cumplir con los requisitos de alto rendimiento de los componentes del motor.

##### 2. La industria nuclear

utiliza la fabricación aditiva para preparar placas protectoras complejas de aleación de tungsteno para lograr un blindaje liviano y eficiente, mejorando así la seguridad y la vida útil de los reactores nucleares.

##### 3. El molde se fabrica

recubriendo con láser una capa de aleación de alta dureza en la superficie de la placa de aleación de tungsteno para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión del molde y extender la vida útil del molde.

#### V. Tendencias y desafíos del desarrollo

- **Optimización de la tecnología** : Mejorar continuamente los parámetros del láser y los procesos de preparación del polvo para solucionar defectos como grietas y agujeros;
- **Innovación de materiales** : desarrollar polvo de aleación de tungsteno adecuado para revestimiento láser y fabricación aditiva para mejorar la calidad del conformado;
- **Fabricación de compuestos multimateriales** : realización de una fabricación eficiente de materiales con gradientes funcionales y estructuras compuestas;
- **Control inteligente** : introducción de inteligencia artificial y monitoreo en tiempo real para mejorar la estabilidad del proceso y la consistencia del producto terminado.

#### VI. Resumen

El revestimiento láser y la tecnología de fabricación aditiva ofrecen una nueva solución para la preparación y la mejora del rendimiento de las placas de aleación de tungsteno. Mediante la deposición precisa de material y el diseño estructural, no solo se puede reparar y reforzar eficazmente la superficie de las placas de aleación de tungsteno, sino que también se promueve el desarrollo de la fabricación de placas de aleación de tungsteno hacia un alto rendimiento, formas complejas y personalización. En el futuro, con la madurez de la tecnología y la innovación en materiales, la fabricación basada en láser desempeñará un papel cada vez más importante en el campo de las aleaciones de tungsteno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.6 Tecnología de fabricación de placas con gradiente funcional y refuerzo de nanopartículas

Con el continuo progreso de la ciencia de los materiales, la nanotecnología y los materiales de grado funcional (FGM) se han convertido en las claves para mejorar el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno. Mediante la introducción de fases de refuerzo de nanopartículas y la distribución gradual de la composición y la estructura, se pueden mejorar significativamente las propiedades mecánicas, la resistencia al desgaste y la estabilidad térmica de las placas de aleación de tungsteno para satisfacer los requisitos de aplicaciones más complejos y exigentes.

#### 1. Tecnología de mejora de nanopartículas

##### 1. Tipos y funciones de las nanopartículas

- **Nanopartículas de uso común** : carburos (como WC, TiC), óxidos (como  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ), nanotubos de carbono (CNT) y grafeno, etc.;
- **Mecanismo de mejora** : Las nanopartículas mejoran la resistencia y la dureza de la matriz al refinar los granos, dificultar el movimiento de dislocación y formar una segunda fase uniformemente dispersa;
- **Fortalecimiento de la interfaz** : las nanopartículas forman un fuerte enlace de interfaz con la matriz de tungsteno, mejorando la tenacidad general del material.

##### 2. Tecnología de dispersión de nanopartículas

- **Aleación mecánica** : la molienda de bolas de alta energía hace que las nanopartículas se dispersen uniformemente en el polvo de tungsteno;
- **Modificación de la superficie** : mejora de la compatibilidad de las nanopartículas con la matriz y evita la aglomeración por métodos químicos o físicos;
- **Adición de dispersantes** : introducción de surfactantes para ayudar en una distribución uniforme.

##### 3. Dificultades del proceso y soluciones

- Las nanopartículas son propensas a la aglomeración y es necesario optimizar el proceso de dispersión;
- La resistencia de unión de la interfaz y la adaptación de la expansión térmica deben diseñarse razonablemente para evitar la concentración de tensión térmica;
- Controlar el contenido de nanopartículas para evitar que cantidades excesivas provoquen fragilidad.

#### 2. Tecnología de preparación de placas de gradiente funcional

##### 1. Introducción a los materiales con clasificación funcional

- Las placas de aleación de tungsteno con gradación funcional optimizan la distribución espacial del rendimiento al lograr gradientes de diferentes composiciones o estructuras en la dirección del espesor o en la superficie.
- El objetivo principal es satisfacer simultáneamente múltiples requisitos como resistencia, tenacidad, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión.

##### 2. Método de preparación

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Sinterización capa por capa** : ajuste la proporción de polvo capa por capa y sinterice para formar;
- **Tratamiento térmico en gradiente** : utilice condiciones de tratamiento térmico en diferentes áreas para formar un gradiente de rendimiento;
- **Revestimiento láser o fabricación aditiva** : los gradientes se consiguen mediante deposición localizada de materiales con diferentes composiciones;
- **Compuesto por laminación y extrusión** : se componen placas con diferentes composiciones o estructuras y luego se mecanizan para formar una estructura en gradiente.

### 3. Diseño de gradiente típico

- Capa resistente al desgaste de alta dureza en la superficie y capa de apoyo de alta tenacidad en el interior;
- El coeficiente de expansión térmica cambia gradualmente para reducir la tensión térmica;
- Las áreas funcionales tienen propiedades conductoras, resistentes a la corrosión o resistentes a la radiación respectivamente.

### 3. Mejora del rendimiento de la nanomejora y la preparación de gradientes

Indicadores de desempeño	Efecto de mejora de las nanopartículas	Ventajas del diseño funcionalmente graduado
resistencia a la tracción	Mejorado significativamente	Optimización regional para mejorar la resistencia y tenacidad generales
dureza	Significativamente mejorado	Refuerzo de la superficie, excelente resistencia al desgaste.
tenacidad	Mejora moderada	La estructura de gradiente alivia la concentración de estrés.
Estabilidad térmica	Rendimiento mejorado a altas temperaturas	Adaptación de la expansión térmica para reducir el agrietamiento térmico
Resistencia a la corrosión	Nanopartículas y fortalecimiento de interfaces	La capa funcional superficial mejora la resistencia a la corrosión.

### IV. Perspectivas de aplicación y tendencias de desarrollo

- Las placas de aleación de tungsteno reforzadas con nanopartículas son adecuadas para los campos de la industria aeroespacial, nuclear y electrónica de alta gama, y son particularmente críticas para componentes con requisitos de alta resistencia y resistencia al desgaste;
- Las placas con clasificación funcional aportan nuevas ideas para la aplicación de aleaciones de tungsteno en entornos extremos, como protección térmica, blindaje contra la radiación y optimización de las propiedades mecánicas;
- Combinado con tecnología de fabricación aditiva avanzada, se puede lograr un control preciso y una producción eficiente de estructuras de gradiente complejas.

### V. Resumen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La tecnología de mejora de nanopartículas y preparación de gradientes funcionales ofrece un sólido respaldo para la mejora del rendimiento de las placas de aleación de tungsteno. Mediante la combinación del diseño de materiales y la tecnología avanzada, las placas de aleación de tungsteno pueden lograr mejoras sinérgicas en resistencia, tenacidad, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y otras propiedades, lo que facilita su avance hacia campos de aplicación complejos y de alta gama.

## 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

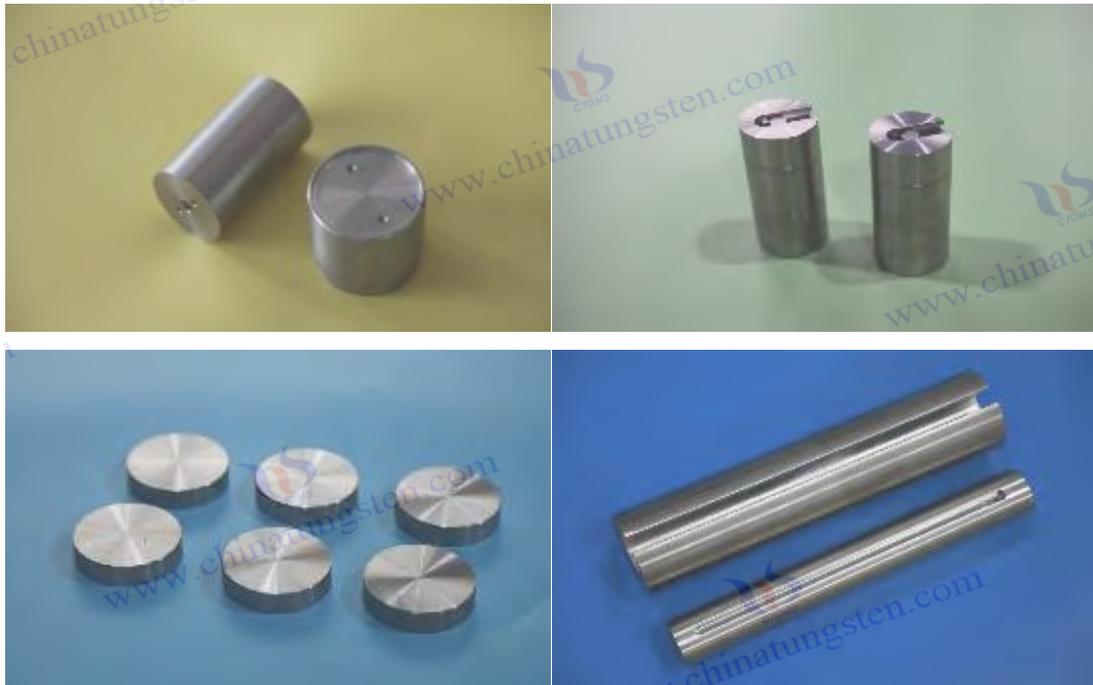
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 4 Inspección de calidad y evaluación del rendimiento de la placa de aleación de tungsteno

### 4.1 Inspección de dimensiones geométricas y planitud de la superficie

Las dimensiones geométricas y la planitud superficial de las placas de aleación de tungsteno son indicadores importantes para garantizar la precisión y el rendimiento de su ensamblaje. Unas dimensiones precisas y unas condiciones superficiales excelentes influyen directamente en la resistencia mecánica, el rendimiento de contacto y la calidad del procesamiento posterior de las placas. Esta sección se centra en los métodos, instrumentos y equipos de prueba comúnmente utilizados, así como en los procesos de prueba para garantizar que las placas de aleación de tungsteno cumplan con los requisitos de diseño y las normas de aplicación.

#### 1. Detección de dimensión geométrica

##### 1. Principales parámetros de prueba

- Largo, ancho, grosor: utilice herramientas de medición de alta precisión para medir las dimensiones básicas de la placa;
- Rectitud: mide el grado de deformación por flexión de la placa a lo largo de la dirección de longitud;
- Planitud: evalúa la planitud general de la superficie del tablero.

##### 2. Equipos de prueba de uso común

- **Calibradores Vernier y micrómetros** : adecuados para mediciones aproximadas de longitud y espesor, con una precisión generalmente de 0,01 mm;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Máquina de medición de coordenadas (CMM)** : medición de múltiples parámetros de alta precisión, adecuada para formas complejas y requisitos de alta precisión;
- **Escáner láser** : medición sin contacto, adquisición rápida de datos de nubes de puntos de superficie y análisis de planitud;
- **Galgas de espesores y placas** : Herramientas tradicionales para ensayos de rectitud y planitud, sencillas y económicas.

### 3. Proceso de prueba

- Coloque la placa sobre la mesa de prueba para asegurarse de que esté firmemente fijada;
- Seleccionar puntos y direcciones de medición según los requisitos de diseño;
- Medición multipunto para obtener datos de dimensión y curva de planitud;
- El cumplimiento del rango de tolerancia se determina mediante análisis estadístico.

## 2. Detección de planitud de la superficie

### 1. Definición de planitud

- La planitud de la superficie se refiere al grado de desviación de la superficie de la placa de aleación de tungsteno respecto del plano ideal, lo que afecta el sellado, el rendimiento del contacto y la apariencia.

### 2. Método de detección

- **Método de regla y calibre de espesores** : coloque una regla sobre la superficie y use el calibre de espesores para medir el espacio para determinar rápidamente la planitud;
- **Interferómetro óptico** : utiliza franjas de interferencia para medir con precisión fluctuaciones de la superficie a nivel de micrones;
- **Perfilador láser** : escanea el perfil de la superficie y construye un modelo de superficie 3D;
- **Perfilómetro de aguja** : una aguja mecánica escanea la superficie y obtiene datos de variación de altura.

### 3. Criterios de evaluación

- Establecer la tolerancia de planitud de acuerdo con los estándares nacionales e industriales (como GB, ISO);
- Los grados de superficie se diferencian según la aplicación, y las aplicaciones de alta precisión requieren requisitos más estrictos.

## 3. Factores influyentes y control

- Uniformidad de prensado y deformación por sinterización durante el proceso de preparación;
- La estabilidad del mecanizado posterior y la precisión del equipo;
- La temperatura y la humedad ambiente afectan la precisión de la detección, por lo que la prueba debe realizarse en condiciones de temperatura y humedad constantes.

## IV. Resumen

Las pruebas de tamaño geométrico y planitud superficial son aspectos importantes del control de calidad de las placas de aleación de tungsteno. La combinación de equipos de medición avanzados con métodos de prueba científicos permite garantizar que la placa cumpla con los requisitos de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diseño y aplicación, proporcionando una base sólida para la evaluación del rendimiento y su posterior aplicación.

## 4.2 Caracterización de la microestructura y densidad (SEM, XRD)

Las placas de aleación de tungsteno son indicadores clave que afectan sus propiedades mecánicas, resistencia al desgaste y estabilidad. El análisis de su microestructura permite comprender en profundidad la morfología del grano, la composición de las fases, la distribución de los poros y el estado de unión de la interfaz del material, optimizando así los parámetros del proceso y mejorando la calidad del material. Esta sección se centra en las técnicas de análisis de microestructura y los métodos de caracterización de la densidad más utilizados.

### 1. Análisis mediante microscopía electrónica de barrido (MEB)

#### 1. Principio técnico

- El SEM utiliza un haz de electrones para escanear la superficie de la muestra y obtiene imágenes de microestructura y morfología de la superficie de alta resolución detectando electrones secundarios y electrones retrodispersados;
- Se pueden observar y analizar diferentes fases, distribución de partículas, poros, grietas y otros microdefectos.

#### 2. Contenido de la aplicación

- Análisis de tamaño de grano y morfología: Determinar el tamaño de grano y la uniformidad a través de imágenes SEM;
- Distribución de partículas y unión de la interfaz: observar el estado de unión entre la matriz de tungsteno y la fase de refuerzo (como Ni, Fe, Cu, etc.);
- Detección de porosidad y defectos: Identificar poros, grietas e inclusiones en materiales;
- Morfología de la corrosión superficial: análisis del mecanismo de corrosión y distribución de productos de corrosión.

#### 3. Preparación de la muestra

- Las muestras de placas de aleación de tungsteno deben tratarse previamente mediante pulido, grabado por corrosión, etc. para exponer la microestructura;
- El tamaño y la forma de la muestra deben cumplir con los requisitos del equipo SEM.

### 2. Análisis de difracción de rayos X (DRX)

#### 1. Principio técnico

- La difracción de rayos X (XRD) identifica la estructura cristalina y la composición de fases detectando el patrón de difracción de la muestra de material ante los rayos X incidentes;
- La posición, la intensidad y el ancho del pico de difracción reflejan el tipo de fase cristalina, la cristalinidad y el tamaño de grano del material.

#### 2. Contenido de la aplicación

- Identificación de la composición de la fase: confirmar la fase metálica o la fase compuesta formada por la fase de tungsteno y otros elementos de aleación en la aleación de tungsteno;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Análisis de la estructura cristalina: determinar los parámetros reticulares y los tipos de cristales de cada fase;
- Medición del tamaño del grano y la tensión: Calcule el tamaño del grano y el estado de tensión interna a través del análisis del ancho de pico;
- Control de calidad: monitoreo del impacto del procesamiento del material en la estructura cristalina.

### 3. Preparación de la muestra

- La superficie de la muestra debe ser plana para evitar que la rugosidad de la superficie afecte los resultados de difracción;
- Se pueden utilizar para el análisis muestras tanto a granel como en polvo.

### 3. Método de prueba de densidad

#### 1. Densidad teórica y densidad real

- La densidad teórica se calcula en función de la composición química y la estructura cristalina del tungsteno y los elementos de aleación;
- La densidad real se obtiene mediante medición experimental y es un indicador importante para evaluar la densidad de los materiales.

#### 2. Métodos de medición comunes

- **Método de Arquímedes** : Calcula la densidad midiendo la diferencia de masa de la muestra en el líquido. Es adecuado para muestras con formas regulares.
- **Método geométrico** : mida el tamaño y la masa de la muestra para calcular la densidad, que es adecuada para muestras con formas regulares y sin poros;
- **Método de permeabilidad al gas** : evalúa la porosidad y refleja indirectamente la densidad.

#### 3. Relación entre densidad y rendimiento

- Cuanto mayor sea la densidad, mejores serán las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del material;
- Una alta porosidad reducirá la resistencia del material y la vida útil.

#### 4. Análisis y aplicación integrales

- Combinando el análisis SEM y XRD, se pueden comprender sistemáticamente las características microestructurales y la composición de fases de las placas de aleación de tungsteno;
- Las pruebas de densidad ayudan a evaluar el grado de densificación del material y el efecto de optimización del proceso;
- Proporcionar una base científica para el ajuste de procesos y la mejora del material, y mejorar el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno.

### V. Resumen

La caracterización de la microestructura y la densidad son componentes fundamentales de la investigación del rendimiento y el control de calidad de las placas de aleación de tungsteno. Mediante la aplicación de las tecnologías SEM y XRD, podemos comprender a fondo la microestructura y el estado cristalino del material; la prueba de densidad proporciona un índice

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cuantitativo del grado de densificación del material. Los métodos sistemáticos de caracterización garantizan un alto rendimiento en la fabricación y aplicación de placas de aleación de tungsteno.

#### 4.3 Normas de prueba de propiedades mecánicas (ASTM, GB, ISO)

Como material importante de alto rendimiento, la precisión en las pruebas y la evaluación de las propiedades mecánicas de las placas de aleación de tungsteno es crucial para garantizar la calidad del producto y cumplir con los requisitos de la aplicación. Se han formulado diversas normas de ensayo de propiedades mecánicas, tanto a nivel internacional como nacional, para estandarizar los métodos de ensayo y garantizar la precisión y comparabilidad de los datos. Esta sección se centra en las principales normas de ensayo de propiedades mecánicas utilizadas habitualmente para las placas de aleación de tungsteno, incluyendo las especificaciones pertinentes de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), la Norma Nacional China (GB) y la Organización Internacional de Normalización (ISO).

##### 1. Principales propiedades mecánicas

- **a la tracción** : La tensión máxima que un material puede soportar en una prueba de tracción;
- **Límite elástico** : Esfuerzo al cual un material sufre una deformación permanente;
- **Elongación** : El porcentaje de alargamiento antes de que el material se rompa, lo que refleja la plasticidad;
- **Dureza** : Capacidad de un material para resistir la deformación plástica local;
- **Tenacidad al impacto** : La capacidad de un material para resistir daños por impacto.

##### 2. Sistema de normas ASTM

###### 1. ASTM E8 / E8M — Método de prueba de tracción

- Adecuado para medir la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento de materiales metálicos;
- Especifica el tamaño de la muestra, la velocidad de prueba, los métodos de recolección de datos y de cálculo;
- Las placas de aleación de tungsteno generalmente se prueban utilizando probetas de tracción planas.

###### 2. ASTM E23 - Método de prueba de impacto (impacto Charpy)

- Se utiliza para medir la tenacidad al impacto de los materiales y evaluar las propiedades de fractura;
- Utilice probetas entalladas estándar, especifique la temperatura de prueba y la determinación de la absorción de energía;
- Adecuado para evaluar el rendimiento de tenacidad de placas de aleación de tungsteno bajo cargas dinámicas.

###### 3. ASTM E92 — Prueba de dureza Vickers

- Adecuado para la medición de dureza de carburo cementado y materiales metálicos de alta dureza;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Especifique el rango de carga y el método de medición de sangría para garantizar datos precisos.

### 3. Norma Nacional China (GB)

#### 1. GB/T 228 — Método de ensayo de tracción a temperatura ambiente para materiales metálicos

- Similar a ASTM E8, es adecuado para pruebas de propiedades de tracción de varios materiales metálicos;
- Especificaciones detalladas para la preparación de muestras, equipos de prueba y procesamiento de datos.

#### 2. GB/T 229 — Método de ensayo de impacto para materiales metálicos (ensayo Charpy)

- Especifica los métodos y condiciones estándar para las pruebas de impacto;
- Adecuado para evaluar la resistencia a la fractura de placas de aleación de tungsteno.

#### 3. GB/T 4340 — Prueba de dureza de materiales metálicos

- Contiene métodos para determinar la dureza Brinell, Vickers y Rockwell;
- El método de prueba de dureza apropiado se puede seleccionar de acuerdo con la aplicación específica de la placa de aleación de tungsteno.

### 4. Normas internacionales ISO

#### 1. ISO 6892 — Ensayos de tracción de materiales metálicos

- Especificaciones de pruebas de propiedades de tracción comunes en normas internacionales;
- Se pone énfasis en la estandarización del proceso de prueba y la confiabilidad de los datos de prueba.

#### 2. ISO 148 — Prueba de impacto Charpy

- Estandarizar la preparación de probetas de impacto y las condiciones de ensayo;
- Promover la coherencia y comparabilidad de los datos entre países.

#### 3. ISO 6507 — Prueba de dureza Vickers

- Especificar en detalle los requisitos técnicos para las pruebas de dureza;
- Se utiliza ampliamente en la evaluación de la dureza de materiales duros como la aleación de tungsteno.

### 5. Equipos de prueba y control ambiental

- El equipo de prueba debe cumplir con los requisitos técnicos de las normas pertinentes para garantizar la precisión de la carga y la precisión de la recopilación de datos;
- Las condiciones ambientales (temperatura, humedad) tienen un impacto significativo en los resultados de las pruebas y deben mantenerse estables;
- Las placas de aleación de tungsteno requieren el uso de accesorios y dispositivos de medición especiales.

### 6. Notas sobre la aplicación estándar

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La preparación de la muestra debe realizarse estrictamente de acuerdo con el tamaño y la forma estándar para evitar la concentración de tensiones y defectos que afecten los resultados;
- Las placas de aleación de tungsteno para diferentes propósitos pueden seleccionar estándares de prueba y parámetros apropiados de acuerdo con los requisitos de rendimiento reales;
- Combinadas con una variedad de pruebas de propiedades mecánicas, las propiedades del material se evalúan exhaustivamente para guiar la optimización del proceso y el diseño de aplicaciones.

## VII. Resumen

El sistema estándar de pruebas de propiedades mecánicas proporciona una base científica para la investigación, el desarrollo, la producción y el control de calidad de placas de aleación de tungsteno. Las normas ASTM, GB e ISO tienen características propias y se complementan entre sí, lo que promueve la internacionalización y la estandarización de los métodos de prueba de placas de aleación de tungsteno. Las empresas e instituciones de investigación deben seleccionar las normas de prueba de forma razonable según las necesidades reales para garantizar la precisión y la fiabilidad de los resultados.

### 4.4 Análisis de composición de elementos y contenido de impurezas (ICP, XRF, ONH)

Las placas de aleación de tungsteno dependen en gran medida del control preciso de su composición química y de un límite estricto de contenido de impurezas. La detección precisa de la composición elemental no solo contribuye a garantizar el rendimiento del diseño del material, sino que también desempeña un papel clave en la monitorización y el control de calidad del proceso de producción. Esta sección se centra en las técnicas de análisis de composición elemental y contenido de impurezas más utilizadas, como la espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP), la espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) y el analizador de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno (ONH), y analiza su aplicación en las pruebas de placas de aleación de tungsteno.

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

##### 1. Principio técnico

- El ICP utiliza plasma de alta temperatura para excitar átomos e iones en la muestra y producir espectros característicos;
- Según la intensidad y la longitud de onda del espectro de emisión, se puede analizar cuantitativamente el contenido de múltiples elementos en la muestra.

##### 2. Ámbito de aplicación

- Determinar con precisión el contenido de elementos principales (tungsteno, níquel, hierro, cobre, etc.) y elementos traza de aleación en placas de aleación de tungsteno;
- Detectar elementos traza de impurezas como plomo, azufre, fósforo, etc. para garantizar la pureza de los materiales;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Alta sensibilidad y capacidad de análisis simultáneo de múltiples elementos, adecuado para sistemas de aleaciones complejos.

### 3. Preparación de la muestra

- Por lo general, las muestras sólidas deben disolverse en una solución, generalmente utilizando disolución ácida (como agua regia);
- El pretratamiento de la muestra debe estar estrictamente regulado para evitar la contaminación y la pérdida de elementos.

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

### 1. Principio técnico

- La XRF se basa en la emisión de rayos X fluorescentes característicos por parte de las muestras después de ser excitadas por rayos X, y la identificación y cuantificación de los elementos se logra mediante el análisis de su energía e intensidad;
- No es necesario disolver la muestra, adecuado para la detección directa de muestras sólidas, en polvo y en escamas.

### 2. Ámbito de aplicación

- Determinación rápida del contenido de elementos principales en placas de aleación de tungsteno;
- Se utiliza para la detección rápida de la composición elemental y el control de calidad en los sitios de producción;
- La profundidad de detección es limitada y caracteriza principalmente los componentes superficiales o cercanos a la superficie de la muestra.

### 3. Ventajas y desventajas

- La velocidad de detección es rápida y la operación es simple, pero la sensibilidad es menor que la del ICP;
- La capacidad de detección de elementos ligeros (como oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) es limitada.

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

### 1. Principio técnico

- El analizador ONH mide el contenido de gas oxígeno, nitrógeno e hidrógeno liberado al quemar o pirolizar la muestra;
- El análisis cuantitativo se realiza utilizando un detector de conductividad térmica o una técnica de absorción infrarroja.

### 2. Ámbito de aplicación

- Mida con precisión el contenido de impurezas no metálicas como oxígeno, nitrógeno e hidrógeno en placas de aleación de tungsteno;
- Las impurezas no metálicas tienen un impacto significativo en las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión de las placas de aleación de tungsteno;
- Indicador importante de control de calidad.

### 3. Requisitos de la muestra

- La forma y el peso de la muestra deben controlarse estrictamente para garantizar la repetibilidad de la prueba;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La superficie de la muestra debe estar limpia, libre de grasa y contaminación.

#### 4. Aplicación integral y control de calidad

- Las tres tecnologías se complementan entre sí para formar un sistema de detección completo de la composición química de las placas de aleación de tungsteno;
- El ICP es adecuado para la cuantificación precisa de sistemas de elementos complejos, el XRF es adecuado para la detección rápida en el sitio y el ONH es para impurezas no metálicas;
- Las pruebas periódicas ayudan a supervisar el proceso de producción, optimizar los parámetros del proceso y garantizar una calidad estable del producto.

#### V. Resumen

El análisis preciso de la composición de los elementos y el contenido de impurezas es fundamental para garantizar el alto rendimiento de las placas de aleación de tungsteno. Las tecnologías ICP, XRF y ONH presentan cada una sus propias ventajas. Su aplicación combinada permite satisfacer las diferentes necesidades de prueba de las placas de aleación de tungsteno y proporciona una base científica para el control de la producción y la innovación en I+D.

#### 4.5 Detección de defectos superficiales (ultrasónicos, CT, corrientes de Foucault, partículas magnéticas)

Como material clave de alto rendimiento, la calidad superficial de la placa de aleación de tungsteno afecta directamente su vida útil y la estabilidad del rendimiento del producto. La detección oportuna y precisa de defectos superficiales y cercanos a la superficie es crucial para garantizar la calidad y seguridad general de la placa. Las tecnologías de detección de defectos superficiales y cercanos a la superficie más utilizadas incluyen las pruebas ultrasónicas (UT), la tomografía computarizada (TC), las pruebas por corrientes de Foucault (ET) y las pruebas por partículas magnéticas (MT). Esta sección detalla los principios, el ámbito de aplicación y las ventajas de estas tecnologías.

##### 1. Pruebas ultrasónicas (UT)

###### 1. Principio técnico

- Cuando las ondas ultrasónicas de alta frecuencia se propagan dentro del material y encuentran defectos, generarán ondas reflejadas y las señales reflejadas se detectarán para determinar la ubicación y el tamaño de los defectos.
- La sonda transmite y recibe ondas ultrasónicas para lograr pruebas no destructivas de defectos internos y superficiales.

###### 2. Ámbito de aplicación

- Adecuado para detectar defectos como grietas internas, inclusiones, poros y delaminación entre capas de placas de aleación de tungsteno;
- Tiene una buena sensibilidad de detección de defectos internos de materiales de placa gruesa;
- Se puede utilizar para detección en línea y fuera de línea.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Ventajas

- No destructivo, no contaminante, gran profundidad de detección, alta resolución;
- El tamaño y la forma del defecto se pueden analizar cuantitativamente.

## 2. Tomografía computarizada (TC)

### 1. Principio técnico

- placa de aleación de tungsteno en múltiples ángulos a través de rayos X y reconstruir una imagen tridimensional usando una computadora;
- Muestra con precisión la distribución espacial tridimensional y la morfología de los defectos internos.

### 2. Ámbito de aplicación

- Inspección de alta resolución de estructuras internas complejas para identificar pequeñas grietas, poros e inclusiones;
- Adecuado para I+D y control de calidad de alta gama;
- Existen ciertas restricciones sobre las placas de aleación de tungsteno más gruesas y los parámetros deben ajustarse de acuerdo con la potencia del equipo.

### 3. Ventajas

- Proporcionar imágenes 3D intuitivas para facilitar la ubicación de defectos y el análisis de la morfología;
- Capaz de evaluación detallada de la integridad estructural.

## 3. Prueba de corrientes de Foucault (ET)

### 1. Principio técnico

- El campo magnético alterno se utiliza para inducir corrientes parásitas en la superficie del material conductor. La distribución de las corrientes parásitas en el defecto cambia, y sus características se reflejan al detectar la señal de corrientes parásitas.
- Se utiliza principalmente para la detección de defectos superficiales y cercanos a la superficie.

### 2. Ámbito de aplicación

- Adecuado para detectar grietas superficiales, corrosión y daños locales en placas de aleación de tungsteno;
- Puede escanear rápidamente grandes superficies;
- Detección sin contacto, adecuada para piezas con formas complejas.

### 3. Ventajas

- Velocidad de respuesta rápida y alta sensibilidad;
- El proceso de prueba no es destructivo y no requiere preparación especial.

## 4. Prueba de partículas magnéticas (MT)

### 1. Principio técnico

- El material magnético se magnetiza aplicando un campo magnético externo y se genera un campo magnético de fuga en los defectos de la superficie y cercanos a la superficie, y la posición del defecto se revela mediante la adsorción de polvo magnético;
- Adecuado para detectar grietas superficiales y cercanas a la superficie.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Ámbito de aplicación

- La aleación de tungsteno contiene elementos de aleación de hierro y tiene cierto magnetismo, lo que la hace adecuada para pruebas de partículas magnéticas;
- Adecuado para detectar grietas superficiales, poros y grietas por fatiga;
- Se utiliza principalmente para la detección rápida de líneas de producción.

## 3. Ventajas

- Fácil de operar y de bajo costo;
- Adecuado para pruebas rápidas in situ.

## V. Estrategia de detección integral

- Seleccionar métodos de inspección apropiados según el objeto de inspección y el tipo de defecto;
- Se recomienda utilizar una combinación de múltiples tecnologías de detección para defectos complejos y componentes clave para mejorar la precisión de la detección;
- Establecer procesos de prueba estandarizados para garantizar la confiabilidad y repetibilidad de los resultados de las pruebas.

## VI. Resumen

Las tecnologías de ensayos por ultrasonidos, TC, corrientes de Foucault y partículas magnéticas constituyen una amplia gama de herramientas para la detección de defectos superficiales y cercanos a la superficie en placas de aleación de tungsteno. La aplicación racional de estas tecnologías de ensayos no destructivos permite revelar completamente la distribución de defectos en el interior y la superficie del material, garantizar la calidad y la seguridad de las placas de aleación de tungsteno y brindar una sólida garantía para la investigación, el desarrollo y la aplicación industrial de estas placas.

### 4.6 Evaluación de la rugosidad de la superficie y la adherencia del recubrimiento

La placa de aleación de tungsteno no solo afecta su apariencia, sino que también influye directamente en sus propiedades mecánicas, su resistencia a la corrosión y el efecto de la tecnología de procesamiento posterior. La rugosidad superficial es un indicador clave para evaluar la planitud y finura de la superficie del material, mientras que la adhesión del recubrimiento determina la estabilidad y durabilidad de la capa protectora o funcional durante el uso. Esta sección se centra en el método de medición de la rugosidad superficial de la placa de aleación de tungsteno y la tecnología de evaluación de la adhesión del recubrimiento.

## 1. Medición de la rugosidad superficial

### 1. Importancia

- La rugosidad de la superficie afecta directamente la precisión de adaptación y el rendimiento de fricción de las placas de aleación de tungsteno y otros componentes;
- Una rugosidad demasiado alta puede provocar concentración de tensiones y reducir la vida útil por fatiga;
- Una buena rugosidad de la superficie favorece una adhesión uniforme del revestimiento.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Métodos de medición comunes

- **Perfilómetro de contacto** : escanea el perfil de la superficie a través de un lápiz para obtener parámetros de rugosidad (como Ra, Rz, etc.);
- **Perfilómetro óptico** : medición sin contacto mediante interferencia de luz blanca o láser, adecuado para análisis de rugosidad en micras y nanómetros;
- **Microscopio de fuerza atómica (AFM)** : adecuado para mediciones de morfología de superficies de ultra alta precisión, utilizado principalmente en investigación científica y aplicaciones de alta gama.

## 3. Parámetros clave

- **Ra (rugosidad media aritmética)** : refleja el valor medio de las subidas y bajadas de la superficie y es el indicador más utilizado;
- **Rz (rugosidad de altura de diez puntos)** : refleja la diferencia entre picos y valles y evalúa el grado máximo de ondulación de la superficie;
- **Rq (rugosidad cuadrática media)** : Promedio cuadrático medio estadístico, adecuado para evaluar superficies complejas.

## 2. Evaluación de la adhesión del recubrimiento

### 1. La importancia de la adhesión

- El revestimiento protege la placa de aleación de tungsteno de las influencias ambientales como la corrosión, el desgaste y las altas temperaturas;
- Una buena adhesión garantiza la estabilidad a largo plazo del recubrimiento durante su uso;
- Una mala adhesión puede provocar que el revestimiento se descascare, lo que reduce la vida útil y el rendimiento del material.

### 2. Metodología de evaluación

- **Prueba de arranque** : utilice un equipo especial para medir la fuerza de arranque máxima necesaria para que el revestimiento se desprenda del sustrato y evalúe cuantitativamente la adhesión;
- **Prueba de rayado** : Raspe con una fuerza que aumente gradualmente para observar el desprendimiento del revestimiento y juzgar la fuerza de adhesión;
- **Prueba de impacto** : evalúa el rendimiento antidesprendimiento del recubrimiento a través de la carga de impacto;
- **Método de pelado de cinta** : retire rápidamente la cinta después de pegarla, observe la situación de pelado del revestimiento y realice una prueba cualitativa rápida.

### 3. Condiciones experimentales

- La temperatura y la humedad del entorno de prueba deben mantenerse estables para evitar afectar los resultados;
- La superficie de la muestra debe tratarse previamente y limpiarse para garantizar la consistencia de la adhesión del recubrimiento;
- Seleccionar métodos y estándares de prueba apropiados para garantizar la comparabilidad de los resultados.

## 3. Relación entre la rugosidad superficial y la adherencia

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Una superficie moderadamente rugosa puede mejorar la adherencia mecánica del revestimiento y mejorarla;
- Una superficie demasiado rugosa o demasiado lisa afectará el rendimiento del recubrimiento;
- La rugosidad de la superficie debe optimizarse según el tipo de recubrimiento y el entorno de uso.

#### 4. Control de calidad y optimización de procesos

- Monitorizar los parámetros críticos durante el proceso de fabricación midiendo periódicamente la rugosidad y la adhesión;
- Optimizar los procesos de rectificado, pulido y pretratamiento de superficies para mejorar la calidad de la superficie;
- Sobre la base de las características de los materiales de recubrimiento, se formulan estándares de tratamiento de superficies científicos y razonables.

#### V. Resumen

La rugosidad superficial y la adhesión del recubrimiento son indicadores importantes que afectan el funcionamiento y la vida útil de las placas de aleación de tungsteno. El uso de métodos avanzados de medición y evaluación permite controlar eficazmente la calidad del producto, mejorar el rendimiento integral de las placas de aleación de tungsteno y ofrecer sólidas garantías para su amplia aplicación.

#### 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

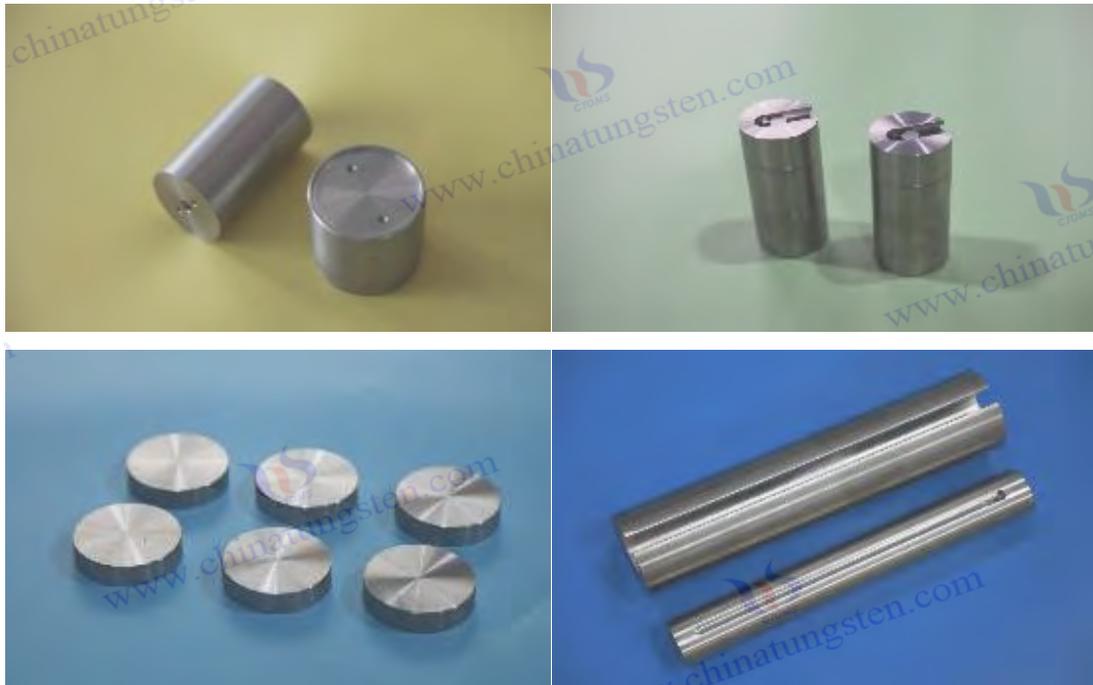
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

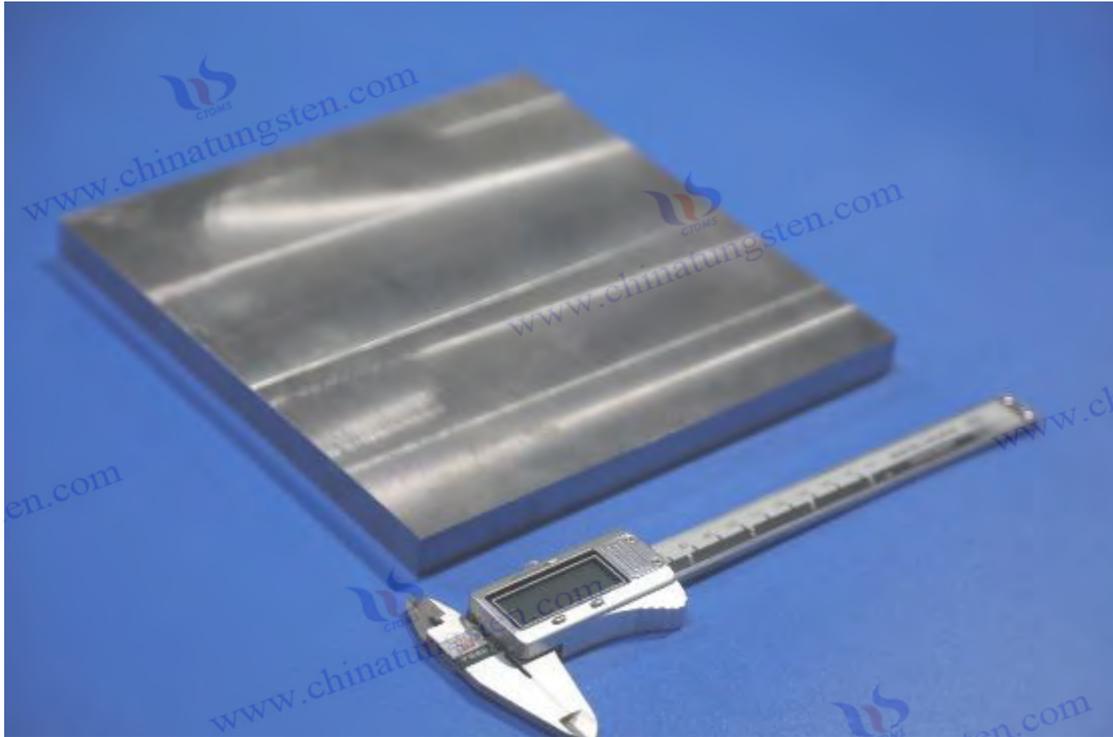
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### 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 5 Campos de aplicación típicos de la placa de aleación de tungsteno

### 5.1 Placas de blindaje y dispositivos de control térmico de la industria nuclear

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en el blindaje y el control térmico de la industria nuclear debido a su alta densidad, alto punto de fusión y excelente resistencia a la radiación, lo que las hace fundamentales. Con el desarrollo de la tecnología nuclear, se imponen mayores requisitos en cuanto a la resistencia a la radiación, la resistencia mecánica y la estabilidad térmica de los materiales. Las placas de aleación de tungsteno se han convertido en una opción ideal gracias a sus propiedades únicas.

#### 1. El papel y la demanda de las placas de blindaje de la industria nuclear

##### 1. Protección contra la radiación

- Los reactores nucleares, las instalaciones de tratamiento de desechos nucleares, los equipos de medicina nuclear y otros lugares deben proteger eficazmente la radiación para garantizar la seguridad de los operadores;
- La placa de aleación de tungsteno tiene una excelente capacidad de absorción de rayos gamma y rayos X debido a su alto número atómico ( $Z=74$ ) y alta densidad (aproximadamente  $17,0-18,5 \text{ g/cm}^3$ );
- Puede reemplazar el blindaje de plomo tradicional y evitar la toxicidad del plomo y la contaminación ambiental.

##### 2. Absorción de neutrones

- En los reactores nucleares, algunas aleaciones de tungsteno se mejoran para absorber neutrones añadiendo elementos específicos (como níquel y hierro);

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La placa de protección debe tener una buena estabilidad estructural y resistencia al daño por radiación para garantizar un servicio a largo plazo.

### 3. Requisitos de rendimiento mecánico y térmico

- Necesita soportar altas temperaturas, altas presiones y entornos de radiación, lo que requiere que las placas de aleación de tungsteno tengan alta resistencia y excelente estabilidad térmica;
- El coeficiente de expansión térmica debe coincidir con el de otros materiales estructurales para evitar el agrietamiento y la deformación causados por la tensión térmica.

## 2. Características de aplicación de los dispositivos de control térmico

### 1. Gestión térmica

- Los reactores nucleares y las instalaciones nucleares generan una gran cantidad de energía térmica, lo que requiere el uso de materiales de alta conductividad térmica para una disipación efectiva del calor;
- La placa de aleación de tungsteno es mejor que otros materiales de metales pesados, lo que ayuda a mantener estable la temperatura del sistema.

### 2. Resistencia a altas temperaturas

- Las placas de aleación de tungsteno pueden mantener la integridad estructural y un rendimiento estable en entornos de alta temperatura y son adecuadas para la fabricación de componentes de control térmico;
- El diseño de aleación especial mejora la resistencia mecánica y la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

### 3. Soporte estructural

- En el dispositivo de control térmico, las placas de aleación de tungsteno sirven como componentes de soporte y carga para garantizar el funcionamiento seguro del sistema;
- Tiene un buen rendimiento de procesamiento y puede satisfacer las necesidades de personalización de formas complejas.

### 3. Ventajas de la placa de aleación de tungsteno en la industria nuclear

- **Ventaja de alta densidad** : proporciona una protección eficaz contra la radiación y reduce el espesor y el peso del blindaje;
- **Fuerte resistencia a la radiación** : resiste la degradación del material inducida por la radiación y extiende la vida útil;
- **Excelente estabilidad térmica** : se adapta a los cambios de temperatura en condiciones de trabajo complejas en la industria nuclear;
- **Respetuoso con el medio ambiente y no tóxico** : sustituye a los materiales de plomo tóxicos y cumple con los requisitos modernos de protección medioambiental.

### 4. Casos típicos de aplicación

- paneles de protección de reflectores en centrales nucleares;
- Revestimientos para contenedores de almacenamiento y transporte de residuos nucleares;
- Paneles de protección radiológica en equipos de radioterapia médica;
- Estructura de soporte de control térmico en el sistema del ciclo del combustible nuclear.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## V. Tendencias y desafíos del desarrollo

- Las placas de aleación de tungsteno en la industria nuclear tenderán a evolucionar hacia materiales compuestos multifuncionales y de alto rendimiento;
- Mejorar la resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la oxidación y la resistencia al daño por radiación es el foco de investigación y desarrollo;
- Lograr la producción en masa de placas de aleación de tungsteno de alta densidad y gran tamaño y reducir los costos son desafíos de la industria.

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en los dispositivos de blindaje y control térmico. Gracias a la innovación tecnológica continua y la optimización de procesos, el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno seguirá mejorando para satisfacer las necesidades de seguridad, protección ambiental y eficiencia operativa de la industria nuclear.

### 5.2 Estructuras de protección aeroespacial y placas de contrapeso

Las placas de aleación de tungsteno desempeñan un papel importante en las estructuras de protección y los sistemas de contrapeso en el sector aeroespacial gracias a su alta densidad, alta resistencia y excelente resistencia a la radiación y al calor. Con el continuo avance de la tecnología aeroespacial, los requisitos de rendimiento de los materiales son cada vez más estrictos. Las placas de aleación de tungsteno se han convertido en un material clave para mejorar la seguridad y el rendimiento de las aeronaves gracias a sus ventajas únicas.

#### 1. Aplicación en estructuras de protección

##### 1. Blindaje protector contra la radiación

- Los vehículos aeroespaciales están expuestos a rayos cósmicos y radiación solar en entornos espaciales o de gran altitud. Las placas de aleación de tungsteno pueden absorber eficazmente partículas y rayos de alta energía para proteger la seguridad de los equipos electrónicos y del personal de las naves espaciales.
- En comparación con los materiales tradicionales, la aleación de tungsteno tiene una mayor eficiencia de protección contra la radiación, reduce el espesor y el peso del blindaje y mejora la capacidad de carga de las aeronaves.

##### 2. Estructura a prueba de balas y resistente a impactos.

- En las partes clave de los aviones militares y naves espaciales, las placas de aleación de tungsteno se utilizan para fabricar blindaje antibalas y capas resistentes a los impactos, resistiendo eficazmente el impacto de proyectiles de alta velocidad y micrometeoritos;
- La aleación de tungsteno lo convierte en un material de protección ideal para garantizar la seguridad de los equipos y el personal.

##### 3. Sistema de protección térmica

- Durante el vuelo, la temperatura superficial de la nave espacial varía drásticamente. Las placas de aleación de tungsteno ofrecen una excelente resistencia a altas temperaturas y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un excelente rendimiento de expansión térmica, y pueden utilizarse como capas de aislamiento térmico y escudos térmicos.

- Ayuda a proteger las estructuras de la ablación por altas temperaturas y del daño por fatiga térmica.

## 2. El papel clave de la placa de contrapeso

### 1. Equilibrio del centro de gravedad y estabilidad del vuelo

- Las placas de aleación de tungsteno se utilizan en el sistema de contrapeso de los vehículos aeroespaciales para ajustar el centro de gravedad de la aeronave y garantizar el control de actitud y la estabilidad durante el vuelo;
- La alta densidad hace que el contrapeso sea de tamaño pequeño, ahorrando espacio y satisfaciendo las necesidades de diseño compacto.

### 2. Reducción de vibraciones

- Los contrapesos de aleación de tungsteno pueden reducir eficazmente la vibración de la aeronave, reducir la fatiga mecánica y prolongar la vida útil del equipo;
- Ayuda a mejorar la comodidad del vuelo y la confiabilidad del sistema.

### 3. Diseño compacto

- Las placas de aleación de tungsteno permiten el diseño de estructuras de contrapeso más delgadas y livianas, lo que ayuda a reducir el peso total.
- Admite el procesamiento personalizado de formas complejas para satisfacer los requisitos de diseño de diferentes aeronaves.

## 3. Ventajas de la placa de aleación de tungsteno

- **Alta gravedad específica** : mejora significativamente la eficiencia del contrapeso y reduce el volumen y el peso;
- **Excelentes propiedades mecánicas** : garantizan la resistencia y tenacidad de la estructura protectora;
- **Resistencia a altas temperaturas** : se adapta a altas temperaturas y entornos extremos;
- **Excelente resistencia a la radiación** : garantiza la seguridad de los sistemas electrónicos de las naves espaciales.

## 4. Casos típicos de aplicación

- Sistemas de blindaje radiológico y contrapeso en plataformas satelitales;
- Contrapesos de blindaje antibalas y ajuste del centro de gravedad para aviones de combate y drones militares;
- Paneles de aislamiento térmico y contrapesos estructurales para vehículos aeroespaciales.

## V. Tendencias y desafíos del desarrollo

- Con la creciente demanda de productos livianos y de alto rendimiento, la optimización de la microestructura y la integración de materiales compuestos de placas de aleación de tungsteno se han convertido en puntos críticos de investigación;
- Mejorar la resistencia a la fatiga térmica y la tenacidad al impacto de las placas de aleación de tungsteno es una dificultad técnica clave;

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La tecnología de producción a gran escala, de bajo costo y alta eficiencia necesita urgentemente un avance.

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en las estructuras de protección aeroespaciales y los sistemas de contrapeso. Sus propiedades físicas y mecánicas únicas no solo satisfacen las necesidades de protección de alta resistencia y contrapeso preciso, sino que también contribuyen a una operación segura, estable y eficiente de las aeronaves. En el futuro, gracias a la innovación en materiales y la mejora de los procesos, las placas de aleación de tungsteno tendrán un mayor potencial de aplicación en el sector aeroespacial.

### 5.3 Placas protectoras de alta densidad en dispositivos de radioterapia médica

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en equipos de radioterapia médica debido a su alta densidad y excelente capacidad de blindaje radiológico. Se emplean principalmente para fabricar placas de protección radiológica eficientes. El funcionamiento seguro de los equipos de radioterapia exige estrictos requisitos de protección radiológica para pacientes y personal médico. Las placas de aleación de tungsteno se han convertido en un material importante para garantizar la seguridad de la radioterapia gracias a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas.

#### 1. Necesidad de protección radiológica en los equipos de radioterapia

- Los rayos X y gamma generados durante la radioterapia tienen un poder de penetración extremadamente fuerte y una alta energía. Sin una protección eficaz, pueden causar daños por radiación al personal y los equipos circundantes.
- La placa protectora debe absorber y bloquear eficazmente la radiación, evitar fugas de radiación y garantizar la seguridad del entorno de tratamiento.

#### 2. Ventajas del rendimiento de protección de la placa de aleación de tungsteno

##### 1. Efecto de protección superior gracias a la alta densidad.

- Las placas de aleación de tungsteno suelen tener un espesor de entre 17 y 19 g/cm<sup>3</sup>, mucho mayor que el de materiales tradicionales como el plomo. Pueden lograr un efecto de blindaje igual o incluso mejor con un espesor menor.
- Hacer que la estructura general del equipo de radioterapia sea más compacta y más fácil de diseñar e instalar.

##### 2. Excelente resistencia mecánica y durabilidad.

- Las placas de aleación de tungsteno tienen buena resistencia mecánica y tenacidad, lo que puede cumplir con los requisitos de uso a largo plazo de los equipos médicos;
- La resistencia a la corrosión y al desgaste prolonga la vida útil de la placa protectora y reduce los costos de mantenimiento.

##### 3. Seguridad ambiental

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- En comparación con materiales tóxicos como el plomo, las placas de aleación de tungsteno son más respetuosas con el medio ambiente, evitan el riesgo de toxicidad del plomo y están más en línea con los estándares de seguridad médica modernos.

### 3. Formularios de solicitud y configuraciones típicas

- **Cubierta protectora y puerta de protección** : utilice una placa de aleación de tungsteno para hacer una cubierta protectora y una puerta para evitar fugas de radiación;
- **Limitador y filtro del haz de radiación**: controla con precisión la dirección y la intensidad de la radiación a través de placas de aleación de tungsteno;
- **Soportes y revestimientos de equipos** : mejoran la resistencia estructural de los equipos de radioterapia y garantizan la seguridad radiológica.

### 4. Requisitos de fabricación y procesamiento

- Se debe garantizar la densidad y uniformidad de la placa de aleación de tungsteno para evitar microporos y defectos que afecten el efecto de protección;
- Requisitos estrictos de tratamiento de superficie para garantizar la suavidad y el rendimiento anticorrosión;
- Mecanizado de precisión para satisfacer los requisitos estructurales y dimensionales especiales de los equipos de radioterapia.

### V. Tendencias y desafíos del desarrollo

- Promover la combinación de placas de aleación de tungsteno y materiales compuestos para mejorar aún más la eficiencia de blindaje y el nivel de peso ligero;
- Materiales de protección de aleación de tungsteno para nuevos equipos de radioterapia;
- Resuelva el problema de fabricación de placas de aleación de tungsteno de alto rendimiento y gran tamaño y reduzca costos.

### VI. Resumen

Como material protector de alta densidad en dispositivos de radioterapia médica, las placas de aleación de tungsteno garantizan la seguridad y la eficacia de la radioterapia gracias a sus excelentes propiedades de blindaje y mecánicas. Con el avance de la tecnología médica, las placas de aleación de tungsteno desempeñarán un papel cada vez más importante en la protección de equipos de radioterapia y promoverán la mejora continua de la seguridad médica.

### 5.4 Placa de aleación de tungsteno para paredes de hornos de alta temperatura y entornos térmicos

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en paredes de hornos de alta temperatura y diversos entornos térmicos gracias a su excelente rendimiento a altas temperaturas, estabilidad térmica y resistencia a la corrosión. Se han convertido en materiales estructurales y de protección clave para equipos de alta temperatura. Con el desarrollo de la tecnología de procesos de alta temperatura, se imponen mayores requisitos de resistencia térmica y resistencia mecánica a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

los materiales. Las placas de aleación de tungsteno, gracias a sus ventajas únicas, han demostrado un excelente rendimiento en condiciones de trabajo extremas.

## **1. Requisitos de rendimiento de los materiales de las paredes de hornos de alta temperatura**

### **1. Resistencia a altas temperaturas**

- El material de la pared del horno debe soportar entornos de alta temperatura que van desde cientos a miles de grados Celsius para garantizar un funcionamiento estable a largo plazo;
- La placa de aleación de tungsteno alcanza una temperatura de hasta 3422 °C. Posee una excelente resistencia a altas temperaturas y resiste eficazmente la corrosión térmica y la oxidación.

### **2. Adaptación de la expansión térmica**

- La placa de aleación de tungsteno tiene un bajo coeficiente de expansión térmica y puede combinarse bien con otros materiales de horno, lo que reduce la concentración de tensión térmica y evita el agrietamiento y la deformación.

### **3. Resistencia mecánica y tenacidad**

- Debe mantener suficiente resistencia y tenacidad en entornos de alta temperatura para soportar choques térmicos y cargas mecánicas;
- La aleación de tungsteno mejora sus propiedades mecánicas integrales a altas temperaturas mediante la regulación de los elementos de aleación y el proceso de tratamiento térmico.

## **2. Características de aplicación de las placas de aleación de tungsteno en entornos térmicos.**

### **1. Piezas estructurales térmicamente estables**

- Se utiliza como material estructural para paredes de hornos de alta temperatura, intercambiadores de calor y dispositivos de protección térmica para garantizar la integridad estructural del equipo;
- Las placas de aleación de tungsteno pueden prevenir eficazmente los daños por oxidación y corrosión en atmósferas de alta temperatura.

### **2. Protección contra la radiación térmica**

- En un entorno térmico, las placas de aleación de tungsteno pueden reflejar y absorber eficazmente la radiación térmica y proteger las partes sensibles del equipo debido a su alta densidad y alto punto de fusión.
- Ayuda a mantener una distribución estable del campo térmico y a mejorar la eficiencia térmica.

### **3. Resistencia a la fatiga térmica**

- La placa de aleación de tungsteno tiene un diseño organizativo especial para mejorar la resistencia del material a la fatiga térmica y la estabilidad del ciclo térmico, extendiendo así su vida útil.

## **3. Ejemplos típicos de aplicación**

- Revestimiento de hornos de alta temperatura y placas protectoras, utilizadas en metalurgia, sinterización de cerámica y hornos de fabricación de semiconductores;

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

- Componentes estructurales de hornos de tratamiento térmico y hornos de vacío;
- Paneles aislantes resistentes al calor para reactores de alta temperatura e intercambiadores de calor.

#### 4. Procesamiento de materiales y puntos clave de la tecnología

- Las placas de aleación de tungsteno deben someterse a un tratamiento térmico de precisión y un tratamiento de fortalecimiento de la superficie para mejorar la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación;
- Optimizar la microestructura de la placa, mejorar la densidad y la uniformidad y mejorar las propiedades mecánicas de alta temperatura;
- Se utiliza tecnología de conformado avanzada para garantizar que el tamaño y la forma de la placa cumplan con los requisitos de instalación del equipo.

#### V. Tendencias de desarrollo y desafíos técnicos

- Mejorar el rendimiento integral de las placas de aleación de tungsteno en entornos térmicos extremos, incluida la resistencia a la oxidación y la estabilidad térmica;
- Investigar y desarrollar materiales de aleación de tungsteno compuestos multifuncionales para lograr la integración de resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y gestión térmica;
- Reducir el costo de producción de placas de aleación de tungsteno de alta temperatura y lograr aplicaciones a gran escala.

#### VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno ofrecen una sólida garantía para el funcionamiento seguro y fiable de equipos industriales de alta temperatura gracias a su excelente resistencia a altas temperaturas y estabilidad estructural. En el futuro, con el continuo avance de la ciencia de los materiales y la tecnología de procesamiento, las placas de aleación de tungsteno desempeñarán un papel cada vez más importante en el campo de las altas temperaturas.

#### 5.5 Revestimiento de piezas mecánicas y placas compuestas de acero para matriz

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en placas compuestas de acero para moldes y materiales de revestimiento para piezas mecánicas gracias a su alta densidad, alta resistencia, excelente resistencia al desgaste y al calor, lo que mejora el rendimiento y la vida útil de la estructura. Al combinarse con acero para moldes y otros materiales, las placas de aleación de tungsteno no solo mejoran la resistencia al desgaste y al impacto de las piezas, sino que también resisten eficazmente a altas temperaturas y entornos corrosivos, logrando un funcionamiento eficiente y estable de las estructuras mecánicas.

#### 1. Antecedentes de aplicación y ventajas de la placa compuesta de acero para moldes

##### 1. Requisitos de la solicitud

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- El molde está sometido a alta presión, alta temperatura y fricción a alta velocidad durante el funcionamiento, por lo que el material del molde debe tener alta dureza, alta resistencia al desgaste y estabilidad térmica;
- La placa de aleación de tungsteno compuesta y el acero de matriz pueden lograr una combinación óptima de dureza superficial y tenacidad interna.

## 2. Ventajas de la placa de aleación de tungsteno

- Las placas de aleación de tungsteno tienen una alta dureza y una excelente resistencia al desgaste, lo que extiende eficazmente la vida útil del molde;
- La alta densidad ayuda a mejorar la rigidez general y la resistencia a la deformación del molde;
- Una buena conductividad térmica promueve una distribución uniforme del calor y reduce la concentración de estrés térmico.

## 2. Funciones y requisitos del revestimiento de piezas mecánicas

### 1. Resistencia al desgaste y a la corrosión

- Los revestimientos para piezas mecánicas se utilizan a menudo en entornos de alto desgaste y corrosión, como asientos de cojinetes, paredes internas del cuerpo de válvulas, etc.
- El revestimiento de placa de aleación de tungsteno mejora la dureza de la superficie y la resistencia a la corrosión de las piezas y reduce la frecuencia de mantenimiento.

### 2. Capacidad de carga y estabilidad

- Las placas de aleación de tungsteno mejoran la capacidad de carga y la resistencia al impacto de la estructura del revestimiento;
- Mejora la estabilidad general y la vida útil de las piezas mecánicas.

## 3. Tecnología y proceso de compuestos

### 1. Compuesto de pulvimetalurgia

- La aleación de tungsteno y el acero para matrices se obtienen mediante un proceso de pulvimetalurgia para garantizar una interfaz densa y sin grietas;
- Puede lograr la transición del gradiente de composición y reducir el estrés causado por la diferencia de expansión térmica.

### 2. Unión mecánica y soldadura

- Se utiliza tecnología de fijación mecánica o soldadura láser para lograr la combinación de placa de aleación de tungsteno y acero, con un proceso flexible;
- La calidad de la soldadura tiene un impacto significativo en el rendimiento del compuesto y los parámetros del proceso deben controlarse estrictamente.

### 3. Tratamiento de superficies

- La superficie compuesta de aleación de tungsteno está rectificadas, pulida y recubierta para mejorar la calidad de la superficie y la resistencia a la corrosión;
- Los recubrimientos, como los cerámicos, mejoran aún más la resistencia al desgaste y a las altas temperaturas.

## 4. Casos típicos de aplicación

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Placas compuestas de moldes de alta resistencia al desgaste para moldeo de plástico y moldes de estampación de metal;
- Asientos de cojinetes y revestimientos de válvulas de equipos mecánicos para mejorar la resistencia al desgaste y la corrosión;
- Material de revestimiento para piezas estructurales mecánicas de alta carga para prolongar la vida útil de los equipos.

## V. Tendencias y desafíos del desarrollo

- Investigar y desarrollar materiales compuestos de aleación de tungsteno de alta resistencia y alta tenacidad para satisfacer las necesidades de condiciones de trabajo complejas;
- Optimizar la estructura de la interfaz compuesta para mejorar la resistencia de unión y la estabilidad térmica;
- Reducir los costos de fabricación de compuestos y promover la aplicación industrial de placas compuestas de aleación de tungsteno.

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno en placas compuestas de acero para moldes y revestimientos de piezas mecánicas mejoran eficazmente la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la estabilidad térmica de las piezas mecánicas, contribuyendo así a un funcionamiento eficiente y duradero de los equipos. Gracias a la avanzada tecnología de compuestos y al tratamiento de superficies, los materiales compuestos de aleación de tungsteno tendrán un amplio potencial de aplicación en el campo de la fabricación mecánica.

### 5.6 Estructuras de disipación de calor/antirradiación en instrumentos de precisión y productos electrónicos

Con el desarrollo de la tecnología electrónica y los instrumentos de precisión, se imponen requisitos cada vez más exigentes en cuanto a la eficiencia de disipación térmica, la estabilidad dimensional y la resistencia a la radiación de los materiales. Las placas de aleación de tungsteno, con su alta densidad, alta conductividad térmica y excelente resistencia a la radiación, se han convertido en materiales estructurales clave para la disipación térmica y la protección en instrumentos de precisión y productos electrónicos, y se utilizan ampliamente en equipos electrónicos de alta gama, estaciones base de comunicaciones, dispositivos láser y sistemas electrónicos espaciales.

#### 1. El papel clave de la estructura de disipación de calor

##### 1. Alta conductividad térmica

- Las placas de aleación de tungsteno tienen buena conductividad térmica, lo que puede conducir de manera eficaz y rápida el calor generado por los componentes electrónicos para evitar el sobrecalentamiento;
- La excelente conductividad térmica garantiza una temperatura estable del dispositivo durante el funcionamiento a alta potencia, mejorando la confiabilidad y la vida útil.

##### 2. Estabilidad dimensional

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La placa de aleación de tungsteno tiene un bajo coeficiente de expansión térmica, lo que garantiza la estabilidad del tamaño de la estructura cuando cambia la temperatura y evita la degradación del rendimiento causada por la deformación térmica;
- Es especialmente adecuado para soportes de disipación de calor en dispositivos microelectrónicos que requieren una precisión dimensional extremadamente alta.

## 2. Requisitos de aplicación de estructuras resistentes a la radiación

### 1. Radiación antielectromagnética

- En equipos electrónicos aeroespaciales, militares y médicos, las placas de aleación de tungsteno se utilizan como materiales de protección para bloquear eficazmente la interferencia electromagnética (EMI);
- Garantizar la transmisión estable de señales electrónicas y el funcionamiento normal de los equipos.

### 2. Radiación antinuclear

- Las placas de aleación de tungsteno se utilizan en equipos de medicina nuclear e instrumentos de detección radiactiva y pueden proteger partículas de alta energía y componentes sensibles;
- Garantizar el funcionamiento estable a largo plazo del equipo y mejorar la seguridad.

### 3. Escenarios típicos de aplicación

- Sustrato de disipación de calor para estaciones base de comunicación de alta frecuencia para garantizar el funcionamiento estable de los equipos de comunicación;
- Soportes de disipación de calor y cubiertas de blindaje en láseres e instrumentos ópticos;
- Blindaje contra la radiación para la electrónica aeroespacial;
- Componentes de protección radiológica y disipación de calor en equipos electrónicos médicos.

### 4. Requisitos de diseño y procesamiento

- Las placas de aleación de tungsteno deben tener una alta pureza y una microestructura uniforme para garantizar la conductividad térmica y las propiedades mecánicas;
- Eficiencia de contacto térmico con otros componentes;
- El recubrimiento de superficie se puede aplicar según sea necesario para mejorar la resistencia a la corrosión y el rendimiento del blindaje electromagnético.

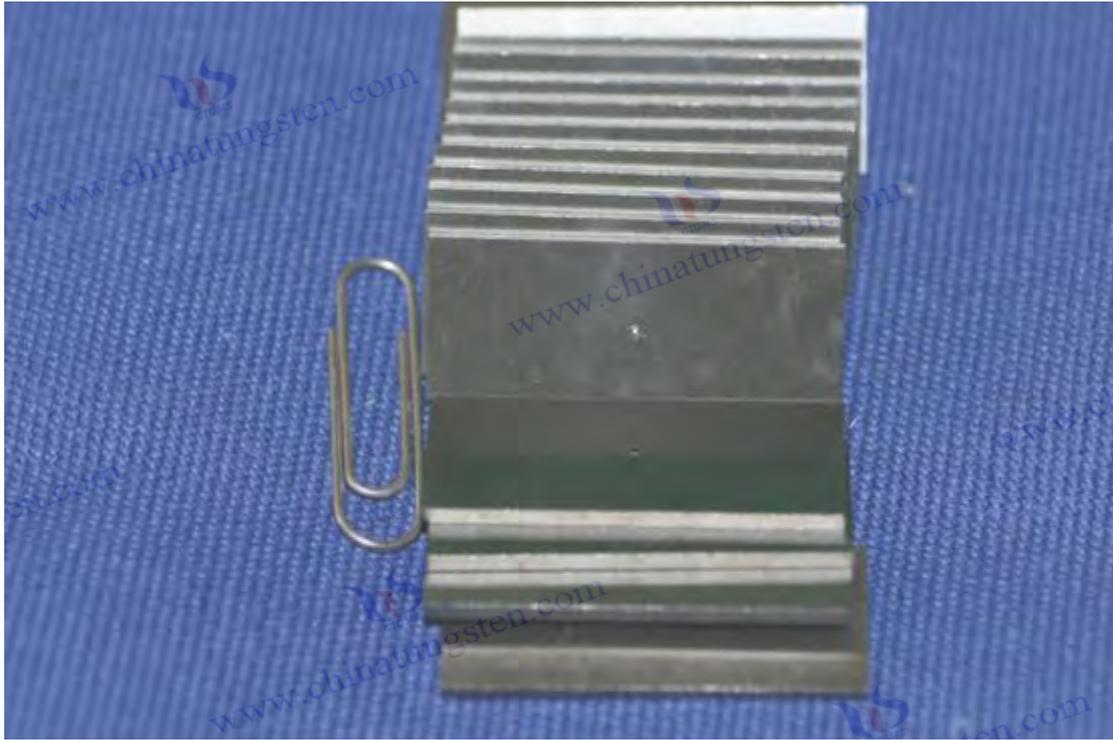
## V. Tendencias de desarrollo y desafíos técnicos

- Diseño de estructura de disipación de calor liviana e integrada, combinada con aleación de tungsteno y otros materiales funcionales para lograr un compuesto multifuncional;
- Mejorar el control de la microestructura de las placas de aleación de tungsteno para mejorar aún más la conductividad térmica y la resistencia a la radiación;
- Reducir los costos de fabricación y promover la popularización y aplicación en el campo de la electrónica civil.

## VI. Resumen

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las placas de aleación de tungsteno se han convertido en un material fundamental para garantizar el rendimiento y la vida útil de los equipos en la disipación de calor y la resistencia a la radiación de instrumentos de precisión y productos electrónicos, gracias a su excelente conductividad térmica y capacidad de protección radiológica. Con el continuo desarrollo de la tecnología electrónica, las placas de aleación de tungsteno demostrarán su valor insustituible en los campos de la electrónica de alta gama.



## Capítulo 6 Investigación, desarrollo e innovación de placas especiales de aleación de tungsteno

### Preparación y propiedades de placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas

Con el desarrollo de la ciencia de los materiales, la nanotecnología se ha aplicado gradualmente a la preparación de placas de aleación de tungsteno, mejorando significativamente las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y las características funcionales de las placas tradicionales. Las placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas logran el refinamiento del grano, el fortalecimiento de la interfaz y la optimización de la fase mediante la regulación de la microestructura, lo que mejora considerablemente el rendimiento integral del material y ofrece una nueva opción para aplicaciones de alta gama.

#### 1. Tecnología de preparación de placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas

##### 1. Preparación de nanopulvos

- El polvo de tungsteno y el polvo de aleación a escala nanométrica se preparan utilizando tecnologías avanzadas como molienda de bolas de alta energía, deposición de vapor y reducción química;
- El tamaño de las partículas de polvo se refina al rango de decenas de nanómetros, lo que mejora la densificación del material y el rendimiento de unión de la interfaz.

##### 2. Molienda de bolas de alta energía y mezcla uniforme.

- Se logra una mezcla uniforme y una aleación mecánica mejorada de los polvos mediante la molienda de bolas de alta energía;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Refina eficazmente los granos y distribuye uniformemente las fases de fortalecimiento para mejorar la resistencia mecánica y la tenacidad.

### 3. Tecnología de sinterización rápida

- Utilice procesos de sinterización rápida, como la sinterización por plasma con chispa (SPS) y la sinterización por microondas, para acortar el tiempo de sinterización e inhibir el crecimiento del grano;
- Mantiene la estructura de nanogranos para garantizar una alta densidad y un rendimiento excelente.

### 4. Optimización del tratamiento térmico

- Utilice un proceso de tratamiento térmico a baja temperatura para estabilizar la estructura nanocristalina y reducir la tensión interna;
- Ajuste el estado del tejido para lograr un equilibrio de rendimiento óptimo.

## 2. Ventajas de rendimiento de las placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas

### 1. Propiedades mecánicas mejoradas

- El refinamiento del grano mejora significativamente la resistencia a la tracción y el límite elástico, logrando una combinación de alta resistencia y tenacidad;
- El mecanismo de fortalecimiento de la nanointerfaz aumenta la tenacidad a la fractura y mejora la resistencia al impacto.

### 2. Estabilidad térmica y resistencia al desgaste.

- Las placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas exhiben una excelente estabilidad térmica y pueden resistir el crecimiento de granos y la degradación del rendimiento a altas temperaturas;
- La dureza de la superficie y la resistencia al desgaste se mejoran significativamente para adaptarse a las duras condiciones de trabajo.

### 3. Excelente conductividad térmica y propiedades eléctricas.

- La estructura de nanogranos optimiza la trayectoria de conducción del calor y mejora la eficiencia de la conducción del calor;
- Tiene buena conductividad eléctrica y puede cumplir con los requisitos de disipación de calor de dispositivos electrónicos y equipos de alta frecuencia.

### 3. Áreas de aplicación típicas

- Piezas estructurales ligeras y de alta resistencia para la industria aeroespacial;
- Paneles de blindaje resistentes a la radiación para la industria nuclear;
- Sustrato de disipación de calor electrónico de alto rendimiento;
- Moldes de precisión y piezas mecánicas de alta resistencia al desgaste.

## IV. Desafíos y direcciones futuras

- El alto costo de la preparación de nanopulvos y el complejo proceso de producción limitan su aplicación a gran escala;
- Los nanocristales tienden a crecer en entornos de alta temperatura, lo que afecta la estabilidad del rendimiento a largo plazo;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Los procesos de sinterización y tratamiento térmico deben optimizarse aún más para lograr un equilibrio entre rendimiento y costo.

## V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas mejoran significativamente la resistencia mecánica, la tenacidad y las propiedades funcionales de los materiales mediante una fina regulación de la microestructura, lo que promueve su aplicación y mejora en campos de alta tecnología. En el futuro, con la mejora continua de la tecnología de preparación y la reducción de costes, las placas de aleación de tungsteno nanoestructuradas se convertirán en una importante línea de desarrollo para la tecnología de materiales de aleación de tungsteno.

## 6.2 Estrategias de diseño de aleaciones multicomponentes y de microaleación

Con la diversificación de los requisitos de rendimiento de los materiales de aleación de tungsteno, la microaleación y el diseño de aleaciones multicomponente se han convertido en vías técnicas clave para mejorar el rendimiento integral de las placas de aleación de tungsteno. Mediante la introducción de elementos de aleación traza y sistemas de aleación multicomponente, se pueden mejorar significativamente las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y las características funcionales de las aleaciones de tungsteno, y se puede controlar con precisión el rendimiento de los materiales para cumplir con los estrictos requisitos de la industria aeroespacial, nuclear y de fabricación de alta gama.

### 1. Descripción general de la tecnología de microaleación

#### 1. Definición y mecanismo de acción

- La microaleación se refiere a la adición de elementos de aleación en concentraciones muy bajas (generalmente menos del 1%) a aleaciones a base de tungsteno;
- Estos oligoelementos mejoran la resistencia y tenacidad de la aleación a través de mecanismos como el fortalecimiento por solución sólida, el fortalecimiento por precipitación y el fortalecimiento de los límites de grano;
- Los elementos de microaleación también pueden refinar los granos, optimizar la microestructura y mejorar el rendimiento general de los materiales.

#### 2. Elementos de microaleación de uso común

- Titanio (Ti), niobio (Nb), vanadio (V), circonio (Zr), aluminio (Al), molibdeno (Mo), etc.;
- Los diferentes elementos tienen distintos efectos en la dureza, tenacidad y estabilidad térmica de la aleación de tungsteno. Elegir la combinación correcta de elementos es clave para el diseño.

### 2. Estrategia de diseño de aleaciones multielemento

#### 1. Construcción de un sistema de aleación multicomponente

- Adopte un diseño de relación de múltiples elementos para lograr el efecto sinérgico de los elementos de aleación;
- Optimizar la microestructura y el gradiente de rendimiento mediante la combinación adecuada de la matriz y los elementos de refuerzo;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Por ejemplo, W-Ni-Fe-Ti, W-Ni-Cu-Mo y otros sistemas.

## 2. Aplicación del concepto de aleaciones de alta entropía

- Presentamos el concepto de diseño de aleaciones de alta entropía, utilizando la mezcla equimolar de múltiples elementos para mejorar la estabilidad del material y la resistencia a la fatiga térmica;
- Esto permite que las placas de aleación de tungsteno exhiban una excelente durabilidad en entornos extremos.

## 3. Microaleación y mejora del rendimiento de aleaciones multicomponentes

### 1. Propiedades mecánicas

- Los elementos de microaleación promueven el fortalecimiento del grano fino y aumentan el límite elástico y la resistencia a la tracción;
- Al controlar la fase de precipitación, se puede mejorar la tenacidad a la fractura y la resistencia al impacto del material.

### 2. Estabilidad térmica

- Los elementos de microaleación inhiben el crecimiento del grano y la transformación de fases y mejoran el rendimiento a alta temperatura;
- Mejora la adaptación a la expansión térmica, reduce la tensión térmica y aumenta la vida útil por fatiga térmica.

### 3. Características

- Optimizar la conductividad eléctrica y las propiedades magnéticas para satisfacer las necesidades de las aplicaciones electrónicas y magnéticas;
- Mejorar la resistencia a la radiación y aumentar la confiabilidad de los materiales utilizados en la industria nuclear.

## 4. Proceso de preparación y desafíos técnicos

- La distribución uniforme de elementos traza de aleación es difícil y requiere un control preciso de los procesos de mezcla de polvos y sinterización;
- El diseño de la composición de la aleación es complejo y requiere una combinación de simulación computacional y verificación experimental;
- El proceso de preparación de aleaciones multicomponentes de alta entropía aún se encuentra en la etapa de investigación y su aplicación industrial requiere superar los cuellos de botella técnicos.

## V. Dirección de desarrollo futuro

- Combinado con ciencia de materiales computacionales avanzada, se diseñan aleaciones de tungsteno microaleadas de alto rendimiento;
- Desarrollar procesos de preparación de bajo costo y alta eficiencia para lograr una producción a gran escala de aleaciones multicomponentes;
- El rendimiento y el potencial de aplicación de las aleaciones de tungsteno microaleadas en condiciones de trabajo extremas.

## VI. Resumen

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La microaleación y el diseño de aleaciones multicomponente ofrecen una forma importante de mejorar el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno. Gracias al control preciso de los elementos y al efecto sinérgico de múltiples componentes, se optimizan al máximo las propiedades mecánicas y las características funcionales del material. En el futuro, con el continuo avance de la teoría y la tecnología, las placas de aleación de tungsteno microaleadas desempeñarán un papel cada vez más importante en el campo de la fabricación de alta gama.

### **placas de aleación de tungsteno resistentes a altas temperaturas.**

La estabilidad y el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno en entornos de alta temperatura afectan directamente su aplicación en la industria aeroespacial, nuclear y de fabricación a alta temperatura. Mediante una optimización razonable de la organización y el diseño del proceso de tratamiento térmico, se puede mejorar significativamente la resistencia a altas temperaturas de las placas de aleación de tungsteno, incluyendo la estabilidad térmica, la resistencia a la oxidación y la resistencia mecánica, para satisfacer las necesidades de condiciones de servicio extremas.

## **1. Factores clave que afectan la resistencia a altas temperaturas de las placas de aleación de tungsteno**

### **1. Microestructura**

- El tamaño del grano, las características del límite del grano y la distribución de la segunda fase afectan directamente la estabilidad térmica del material;
- Los granos refinados y las fases de fortalecimiento distribuidas uniformemente ayudan a inhibir el crecimiento del grano y mejoran la resistencia a altas temperaturas.

### **2. Composición del material**

- Los elementos de aleación como el titanio (Ti), el molibdeno (Mo) y el niobio (Nb) mejoran la resistencia a la oxidación a alta temperatura y la resistencia a la fluencia al formar fases estables;
- Una relación razonable puede optimizar las características de expansión térmica y reducir la tensión térmica.

## **2. Estrategia de optimización organizacional**

### **1. Refinamiento y homogeneización del grano**

- Adopte molienda de bolas de alta energía, sinterización rápida y otras tecnologías para obtener una estructura de grano fina y uniforme;
- El mecanismo de fortalecimiento del límite del grano previene eficazmente el crecimiento del grano a altas temperaturas.

### **2. Fortalecimiento de la segunda fase**

- Introducción de partículas de segunda fase pequeñas y estables para fortalecer los límites de grano y mejorar la resistencia a la fluencia;
- Las partículas de la segunda fase se distribuyen uniformemente para evitar la formación de zonas de concentración de tensiones.

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

### 3. Diseño del proceso de tratamiento térmico

#### 1. Tratamiento térmico de presinterización

- Regular el tamaño de las partículas de polvo y la uniformidad de la composición para evitar defectos durante la sinterización;
- Adoptar condiciones de temperatura y atmósfera adecuadas para promover la densificación.

#### 2. Tratamiento de solución a alta temperatura

- Mediante el tratamiento térmico de solución a alta temperatura, las fases se disuelven y separan, los elementos de aleación se distribuyen uniformemente y se mejora la homogeneidad del material;
- Prevenir la precipitación de fases gruesas y mantener la estabilidad organizacional.

#### 3. Procesamiento oportuno

- Controlar el tamaño y la distribución de la fase precipitada para mejorar la resistencia a altas temperaturas;
- Optimizar la temperatura y el tiempo de envejecimiento para lograr propiedades mecánicas óptimas.

#### 4. Control de la atmósfera

- El tratamiento térmico se realiza en una atmósfera protectora (como argón, nitrógeno) para reducir la oxidación;
- Algunos procesos utilizan tratamiento térmico al vacío para garantizar la calidad de la superficie y la pureza interna.

#### 4. Efecto de mejora del rendimiento

- Después del tratamiento térmico, la placa de aleación de tungsteno tiene granos finos, una estructura uniforme y una resistencia a la fluencia significativamente mejorada;
- La resistencia a altas temperaturas y la tenacidad a la fractura se mejoran significativamente para adaptarse a cargas de alta temperatura y al choque térmico;
- La estabilidad térmica mejorada extiende la vida útil del material en entornos de alta temperatura.

#### 5. Ejemplos de aplicaciones y tendencias de desarrollo

- Materiales de protección de alta temperatura para álabes de turbinas de motores de aeronaves y piezas estructurales;
- Materiales estructurales resistentes al calor para componentes de alta temperatura de reactores nucleares;
- Componentes clave resistentes a altas temperaturas en hornos industriales de alta temperatura y equipos de tratamiento térmico.

En el futuro, combinado con la tecnología avanzada de caracterización de microestructura y simulación numérica, el diseño organizacional y el proceso de tratamiento térmico de las placas de aleación de tungsteno resistentes a altas temperaturas se optimizarán aún más para lograr avances continuos en el rendimiento del material.

## VI. Resumen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La optimización de la organización y el tratamiento térmico de precisión son los medios fundamentales para mejorar el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno resistentes a altas temperaturas. Mediante el control del tamaño de grano, el fortalecimiento de la distribución de fases y los parámetros del proceso de tratamiento térmico, se pueden mejorar significativamente la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas del material a altas temperaturas, lo que garantiza una aplicación fiable de las placas de aleación de tungsteno en entornos extremos.

#### **6.4 Mecanismo de unión de la interfaz de placas compuestas de tungsteno-cobre/tungsteno-níquel**

Las láminas compuestas de tungsteno-cobre (W-Cu) y tungsteno-níquel (W-Ni) combinan la alta densidad, el alto punto de fusión y la resistencia mecánica del tungsteno con la buena conductividad eléctrica, la conductividad térmica y la tenacidad del cobre y el níquel. Se utilizan ampliamente en los campos de la disipación de calor electrónico, la gestión térmica y los materiales estructurales de alta temperatura. El rendimiento de las láminas compuestas depende en gran medida de la calidad y el mecanismo de unión de la interfaz. Un conocimiento profundo del proceso de unión de la interfaz es crucial para optimizar las propiedades del material y los procesos de fabricación.

#### **1. Características de la estructura de la interfaz de la placa compuesta de tungsteno-cobre/tungsteno-níquel**

- Existen diferencias significativas en las propiedades físicas y químicas entre el tungsteno, el cobre y el níquel, incluido el punto de fusión, el coeficiente de expansión térmica, la estructura reticular, etc.
- Generalmente hay una capa de transición o capa de difusión en el área de la interfaz, que afecta la resistencia de la unión mecánica y la conductividad térmica de la interfaz;
- Una excelente unión de la interfaz requiere buena humectabilidad y unión metalúrgica entre los metales y reducción de grietas y poros en la interfaz.

#### **2. Análisis del mecanismo de enlace de la interfaz**

##### **1. Unión mecánica**

- A través de presión física y deformación plástica, el tungsteno y el cobre, polvo o placa de níquel entran en contacto estrecho para formar una unión preliminar;
- La unión mecánica proporciona el soporte estructural básico de la interfaz, pero la resistencia de la unión es limitada.

##### **2. Unión metalúrgica**

- Durante la sinterización a alta temperatura o difusión térmica, el tungsteno se difunde y se disuelve con átomos de cobre y níquel;
- Formar una capa de difusión de transición para mejorar la unión de la interfaz y la conductividad térmica;
- El tungsteno y el níquel forman una determinada solución sólida o fase intersticial, que mejora la tenacidad de la interfaz.

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

### 3. Difusión y reacciones interfaciales

- Los elementos se difunden en la interfaz, formando fases de aleación fina o fases de transición, que facilitan la transferencia de tensión;
- Controlar el proceso de difusión puede evitar la formación de fases frágiles y mejorar la estabilidad de la interfaz.

### 3. Factores clave que afectan el rendimiento de la unión de la interfaz

#### 1. Tamaño y distribución de partículas de polvo

- El polvo fino y uniforme ayuda a formar una interfaz densa;
- Grandes diferencias en el tamaño de las partículas pueden provocar defectos en la interfaz.

#### 2. Temperatura y atmósfera de sinterización

- La temperatura de sinterización debe ser lo suficientemente alta para promover la difusión y la unión metalúrgica, pero evitar el crecimiento excesivo del grano;
- La atmósfera protectora evita la oxidación de la interfaz y la mantiene limpia.

#### 3. Suprimir la presión y el tiempo.

- Una presión suficiente ayuda a eliminar los poros interfaciales y mejorar la unión mecánica;
- El tiempo de sinterización afecta la profundidad de difusión y la uniformidad de la estructura de la interfaz.

### 4. Impacto de la unión de interfaces en el rendimiento

- Una buena unión de la interfaz mejora la conductividad térmica y eléctrica de la placa compuesta, satisfaciendo las necesidades de disipación de calor eficiente;
- La fuerza de unión de la interfaz determina directamente la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga térmica del material;
- Una mala unión interfacial puede provocar la formación de grietas y reducir la confiabilidad general del material.

### 5. Ingeniería de interfaz y tecnología de optimización

- Los tratamientos de activación de superficies, como la limpieza con plasma, mejoran la humectabilidad y la calidad de la unión;
- Añadir activadores de interfaz o materiales de capa de interfaz para promover la unión por difusión y la estabilización de la interfaz;
- Adopte un diseño de interfaz de aleación de gradiente para aliviar las diferencias de expansión térmica y reducir el estrés térmico.

### 6. Ejemplos de aplicación

- Las placas compuestas de cobre y tungsteno se utilizan ampliamente en sustratos de disipación de calor de dispositivos electrónicos y dispositivos de conmutación de alta potencia;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Las placas compuestas de tungsteno y níquel se utilizan para piezas estructurales resistentes al desgaste y de alta resistencia y materiales de protección para la industria nuclear;
- La optimización de la unión de la interfaz mejora la vida útil y la estabilidad del rendimiento de los paneles compuestos en entornos extremos.

## VII. Resumen

Las placas compuestas de tungsteno, cobre y tungsteno-níquel son un factor clave para determinar el rendimiento del material. Mediante la optimización de la unión mecánica, la difusión metalúrgica y la ingeniería de interfaces, se pueden lograr materiales compuestos de alta resistencia, alta conductividad térmica y alta tenacidad para cumplir con los estrictos requisitos de disipación de calor electrónico y materiales estructurales de alta temperatura. En el futuro, el desarrollo de la tecnología de diseño y control de interfaces promoverá aún más la mejora del rendimiento y la expansión de las aplicaciones de las placas compuestas de aleación de tungsteno.

### 6.5 Investigación y desarrollo de recubrimientos superficiales y láminas resistentes al desgaste y a la corrosión

Las placas de aleación de tungsteno suelen enfrentarse a retos complejos como el desgaste mecánico, la corrosión y la oxidación a alta temperatura en numerosas aplicaciones industriales. Para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión de las placas de aleación de tungsteno, la tecnología de recubrimiento de superficies se ha convertido en una línea clave de investigación y desarrollo. Gracias a la diversificación de materiales de recubrimiento y a los avanzados procesos de recubrimiento, no solo se han mejorado significativamente las propiedades superficiales de las placas de aleación de tungsteno, sino que también se han ampliado sus áreas de aplicación.

#### 1. Descripción general del desgaste y la corrosión de la superficie de la placa de aleación de tungsteno

- Las placas de aleación de tungsteno son propensas al desgaste superficial en entornos de alta carga y fricción frecuente, lo que afecta su vida útil.
- La oxidación a alta temperatura y la corrosión química provocan la degradación de la superficie, debilitando la resistencia mecánica y el rendimiento general;
- Los defectos superficiales y las microfisuras pueden convertirse fácilmente en fuentes de corrosión y provocar daños materiales de mayor envergadura.

#### 2. Tipos y características de la tecnología de recubrimiento de superficies

##### 1. Recubrimiento cerámico

- Los materiales comúnmente utilizados incluyen óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), óxido de titanio ( $TiO_2$ ), nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ), etc.
- Tiene alta dureza, alta resistencia al desgaste y excelente resistencia a altas temperaturas;
- Adecuado para uso en condiciones extremas de desgaste y alta temperatura.

##### 2. Recubrimiento de metal

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Los recubrimientos de metales como cobre, níquel y cromo se logran mediante galvanoplastia, pulverización y otros métodos;
- Mejorar la conductividad de la superficie y la resistencia a la corrosión;
- Adecuado para aplicaciones de protección y refrigeración electrónica.

### 3. Recubrimiento compuesto

- El recubrimiento compuesto de cerámica y metal combina las ventajas de ambos, con dureza y tenacidad;
- Se prepara utilizando procesos avanzados como la deposición física de vapor (PVD) y la deposición química de vapor (CVD).

### 4. Tecnología de nano-recubrimiento

- Utilizar nanomateriales para preparar recubrimientos de estructura ultrafina para mejorar la adhesión y la resistencia al desgaste;
- Tiene excelentes propiedades autoreparadoras y anticorrosivas.

## 3. Proceso de preparación del recubrimiento

### 1. Deposición física de vapor (PVD)

- La película delgada se deposita mediante tecnología de evaporación o pulverización catódica y el recubrimiento es denso y uniforme;
- Se utiliza comúnmente para preparar recubrimientos compuestos de cerámica y metal duro.

### 2. Deposición química de vapor (CVD)

- Adecuado para recubrimiento uniforme de áreas grandes, con fuerte adhesión de recubrimiento;
- La composición y el espesor del recubrimiento se pueden controlar para cumplir con requisitos de rendimiento específicos.

### 3. Galvanoplastia y pulverización

- El proceso de galvanoplastia es simple y eficiente, adecuado para aplicaciones de recubrimiento de metales;
- La tecnología de pulverización es flexible y adecuada para recubrimientos gruesos y piezas de formas complejas.

### 4. El papel del recubrimiento de superficies en la mejora del rendimiento

- Mejora significativamente la dureza de la superficie y la resistencia al desgaste de las placas de aleación de tungsteno y extiende su vida útil;
- Previene eficazmente la oxidación y la corrosión química y protege la estructura del material;
- Mejore la conductividad térmica y las propiedades eléctricas de la superficie para satisfacer las necesidades de la electrónica de alta gama y los instrumentos de precisión.

## V. Avances y desafíos de la I+D

- Siguen surgiendo nuevos materiales de recubrimiento funcionales, como cerámicas superduras y nanocompuestos;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La resistencia de unión y la adaptación de la expansión térmica entre el revestimiento y el sustrato de la placa de aleación de tungsteno son dificultades técnicas;
- Es necesario desarrollar procesos de recubrimiento a baja temperatura para reducir el estrés térmico del sustrato y la degradación del rendimiento;
- Considere el respeto al medio ambiente y la rentabilidad del recubrimiento y promueva su aplicación industrial.

## VI. Dirección futura del desarrollo

- Investigación y desarrollo de recubrimientos compuestos multifuncionales para lograr resistencia integrada al desgaste, resistencia a la corrosión, conductividad térmica y resistencia a la radiación;
- Tecnologías de recubrimiento inteligente, como materiales de recubrimiento autorreparadores y respetuosos con el medio ambiente;
- Combinado con el diseño de nanoestructura de superficie, se mejoran aún más la adhesión y el rendimiento;
- Optimice el flujo del proceso para lograr una preparación de recubrimiento eficiente y que ahorre energía.

## VII. Resumen

La tecnología de recubrimiento de superficies es clave para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión de las placas de aleación de tungsteno. Gracias a la innovación de materiales y la optimización de procesos, se ha mejorado considerablemente la vida útil y la fiabilidad de las placas de aleación de tungsteno en condiciones de trabajo rigurosas, ofreciendo sólidas garantías para su aplicación en la industria aeroespacial, nuclear, dispositivos electrónicos y otros campos.

### 6.6 Diseño de placa de aleación de tungsteno funcional antimagnética/conductora térmica y eléctrica

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en campos de alta tecnología como la electrónica, la industria aeroespacial y la energía nuclear gracias a su excelente densidad, resistencia y alto punto de fusión. Con el desarrollo tecnológico, el diseño funcional de las placas de aleación de tungsteno se ha extendido gradualmente a la conductividad térmica, la conductividad eléctrica y las propiedades antimagnéticas para satisfacer las diversas necesidades en condiciones de trabajo complejas. Mediante el control de la composición, el diseño de la microestructura y la tecnología de compuestos, se pueden mejorar eficazmente la conductividad térmica, la conductividad eléctrica y el rendimiento magnético de las placas de aleación de tungsteno.

#### 1. Principio de diseño de la placa de aleación de tungsteno conductora térmica y eléctrica

##### 1. Control de la composición de la aleación

- La introducción de elementos metálicos de alta conductividad térmica, como el cobre (Cu), la plata (Ag) y el aluminio (Al), mejora significativamente la conductividad térmica y la conductividad eléctrica del material;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Ajustar la proporción de tungsteno con respecto a otros elementos para lograr una distribución razonable de la matriz y la fase conductora, teniendo en cuenta tanto la resistencia como la conductividad.

## 2. Optimización de la microestructura

- Optimizar el tamaño de grano y la morfología de la matriz de tungsteno, reducir la resistencia térmica del límite de grano y mejorar la eficiencia de conducción térmica;
- La interfaz de fases se controla mediante pulvimetalurgia y un proceso de sinterización rápida para reducir la resistencia de la interfaz y la resistencia térmica.

## 3. Diseño de materiales compuestos

- Adopte tungsteno-cobre, tungsteno-plata y otros sistemas compuestos para formar una red conductora continua para garantizar una alta conductividad térmica y eléctrica;
- Desarrollar materiales funcionalmente graduados para lograr una optimización zonificada del rendimiento superficial e interno.

## Estrategia de diseño de placa de aleación de tungsteno antimagnética

### 1. Control del elemento magnético

- Reducir o evitar el uso de elementos magnéticos fuertes (como hierro Fe, cobalto Co, níquel Ni) para reducir la respuesta magnética del material;
- Se utilizan metales no magnéticos o débilmente magnéticos como elementos de aleación para garantizar una permeabilidad magnética general baja.

### 2. Estructura cristalina y control de defectos

- Al refinar los granos y reducir la estructura del dominio magnético, se aumenta la anisotropía magnética y se reduce el rendimiento magnético macroscópico;
- Controlar la morfología y distribución de la fase precipitada y reducir la agregación de la fase magnética.

## Características de rendimiento de la placa de aleación de tungsteno funcional

### 1. Alta conductividad térmica y eléctrica.

- La conductividad térmica puede alcanzar varias veces la de las aleaciones de tungsteno tradicionales, satisfaciendo las necesidades de disipación de calor de dispositivos electrónicos y comunicaciones de alta frecuencia;
- La resistividad se reduce, lo que garantiza buenas propiedades eléctricas y es adecuado para materiales de contacto y estructuras de electrodos.

### 2. Características de respuesta magnética baja

- Baja permeabilidad magnética y excelentes propiedades antimagnéticas, adecuado para control de campo magnético de precisión y equipos de resonancia magnética médica;
- Reduce la interferencia del campo magnético y mejora la estabilidad del sistema y la precisión de la medición.

### 4. Campos de aplicación

- Sustratos de disipación de calor para dispositivos electrónicos de alto rendimiento y piezas estructurales conductoras;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Estructuras de instrumentos y equipos en la industria aeroespacial que son sensibles a interferencias magnéticas;
- La industria nuclear requiere materiales de protección que tengan en cuenta tanto la disipación del calor como las propiedades antimagnéticas;
- Materiales estructurales clave en equipos de resonancia magnética (MRI) médica.

#### 5. Desafíos de diseño y fabricación

- El equilibrio entre la conductividad térmica y eléctrica y la resistencia mecánica requiere una optimización integral en muchos aspectos;
- El control de la resistencia térmica y la resistencia eléctrica de la interfaz compuesta es difícil y el proceso de preparación requiere altos requisitos;
- La mejora de las propiedades antimagnéticas impone mayores exigencias a la selección de elementos de aleación y al control de la microestructura.

#### 6. Tendencias futuras del desarrollo

- Utilizar la ciencia de materiales computacionales para guiar el diseño de componentes y lograr un control preciso de la conductividad térmica, la conductividad eléctrica y las propiedades antimagnéticas;
- Desarrollar materiales nanoestructurados y con gradientes funcionales para mejorar el rendimiento de la interfaz y la estabilidad general;
- Promover la aplicación de la tecnología de fabricación aditiva en placas de aleación de tungsteno funcionales para lograr la fabricación integrada de estructuras complejas;
- Explore la tecnología de materiales inteligentes para lograr una respuesta dinámica y el ajuste del rendimiento de la placa de aleación de tungsteno.

#### VII. Resumen

Gracias al diseño científico de la composición y al control de la microestructura, las placas de aleación de tungsteno funcionales, termoconductoras, electroconductoras y antimagnéticas, cumplen con los múltiples requisitos de gestión térmica, propiedades eléctricas y magnéticas en aplicaciones de alta gama. Con el avance de la tecnología de materiales y los procesos de fabricación, este tipo de placa de aleación de tungsteno funcional desempeñará un papel cada vez más importante en los sectores aeroespacial, de las comunicaciones electrónicas, de la industria nuclear y de los equipos médicos.

#### 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

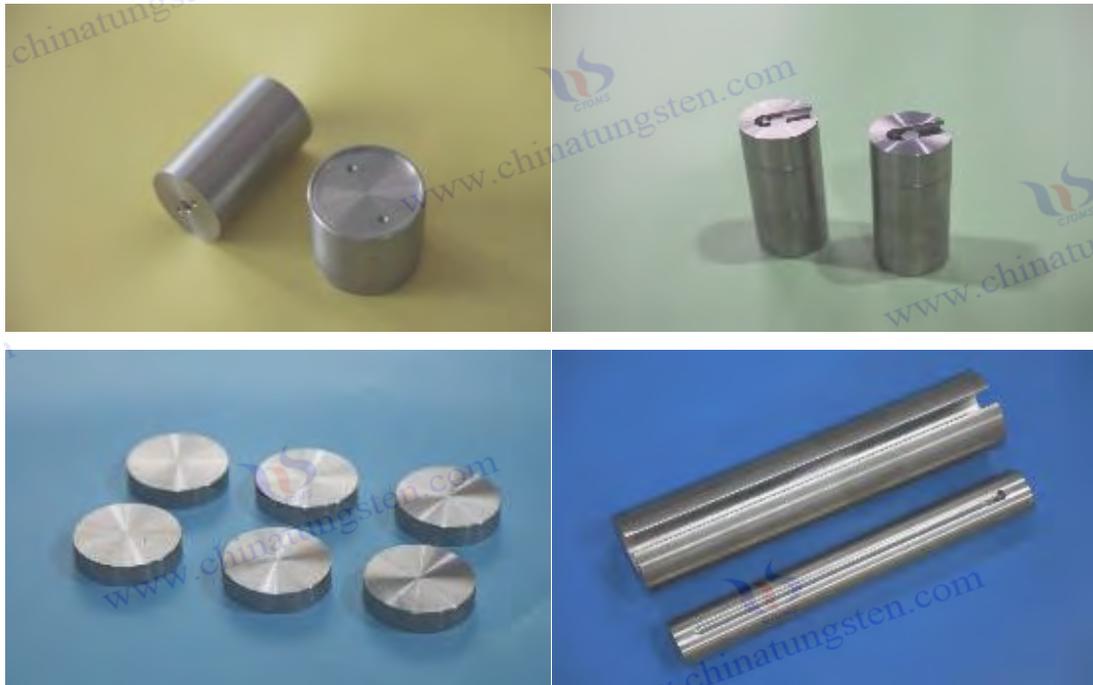
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 7 Normas internacionales y sistema de calidad de las placas de aleación de tungsteno

### 7.1 Normas relacionadas con las placas de aleación de tungsteno de China (GB/T, YS/T)

Como uno de los principales proveedores de recursos de tungsteno y fabricantes de materiales de tungsteno del mundo, China ha establecido un sistema de normalización relativamente completo para productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno, que abarca las condiciones técnicas, los métodos de ensayo, las tolerancias dimensionales, la calidad superficial, los indicadores de rendimiento y las especificaciones de ensayo de las placas de aleación de tungsteno. La norma nacional (GB/T) y la norma de la industria de metales no ferrosos (YS/T) constituyen conjuntamente la base de calidad y las especificaciones industriales de las placas de aleación de tungsteno en el mercado chino.

#### 1. Descripción general del sistema estándar

##### 1. Norma Nacional (GB/T)

- Las normas GB/T son normas nacionales recomendadas con alta autoridad y universalidad;
- Se utiliza principalmente para orientar el tamaño, la tolerancia, las condiciones técnicas y los métodos de prueba de las placas de aleación de tungsteno;
- Es aplicable a puntos de referencia de evaluación de calidad en diversos campos industriales generales, productos de exportación y contratos de adquisición nacionales.

##### 2. Estándar de la industria (YS/T)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- El estándar YS/T está formulado por la Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China y refleja el último nivel técnico de la industria;
- Más específico y detallado, a menudo utilizado en los requisitos de índice técnico de placas de aleación de tungsteno especiales;
- Tiene mayor previsión y aplicabilidad para productos de aleación de tungsteno con nuevos materiales y nuevos procesos.

## 2. Ejemplos de normas nacionales de uso común (GB/T)

Norma N°	Nombre estándar	Contenido
GB/T 4187	Placa de tungsteno	Especifica la clasificación, tamaño, apariencia, propiedades mecánicas y métodos de prueba de las placas de tungsteno.
GB/T 3462	Tolerancias dimensionales para chapas de metales raros	Cubre los estándares de tolerancia de espesor y ancho para placas de tungsteno, molibdeno y otras.
GB/T 2040	Métodos de análisis químico para productos de tungsteno	Aplicable al análisis de W, Fe, Ni, Cu y otros elementos en placas de aleación de tungsteno.
GB/T 8170	Reglas de redondeo numérico	El control de tamaño y la inspección de placas de tungsteno

Nota: En los procesos de adquisición y aceptación reales, el estándar GB/T 4187 se utiliza a menudo como estándar básico.

## 3. Ejemplos de normas de la industria de metales no ferrosos de uso común (YS/T)

Norma N°	Nombre estándar	Ámbito de aplicación
YS/T 519	Productos de aleación de tungsteno pesado	Aplicable a hierro de tungsteno-níquel, placas de cobre de tungsteno-níquel y otros productos.
YS/T 795	Placa de aleación de tungsteno	Proporcionar indicadores claros del rendimiento y la apariencia de placas gruesas, placas medianas y placas delgadas.
YS/T 670	Métodos de prueba para materiales de tungsteno de pulvimetalurgia	Especificaciones de pruebas para propiedades microscópicas como densidad y porosidad
YS/T 629	Método de análisis de la composición química de la aleación a base de tungsteno	Métodos analíticos de alta precisión que implican la detección simultánea de múltiples elementos

## IV. Principales indicadores del contenido estándar

### 1. Control de dimensiones y tolerancias

- Desviación de espesor, desviación de ancho, planitud de la superficie del tablero;
- Uniformidad de bordes, control de deformación, etc.

### 2. Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento;
- Índice de dureza (HV, HB), tenacidad al impacto, etc.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Calidad de la superficie

- No se permiten grietas, descamación, incrustaciones de óxido ni inclusiones;
- Rugosidad de la superficie  $Ra \leq$  valor especificado, se permiten ligeros rayones.

### 4. Defectos internos y control organizacional

- Especificar métodos de prueba tales como ultrasonidos, tomografía computarizada y otras pruebas no destructivas;
- La microestructura es uniforme, sin inclusiones ni agujeros significativos.

### 5. Rango de composición química

- Contenido de elementos principales e impurezas como W, Ni, Fe, Cu y Mo;
- Se ajusta a clasificaciones de grados específicos (por ejemplo, Grado 1, Grado 2, Grado especial).

## V. Implementación de normas y prácticas de certificación de calidad

### 1. Objetos aplicables

- Para empresas de producción, unidades de compra, instituciones de investigación científica y departamentos de inspección de calidad;
- Brindar soporte técnico unificado para comercio, exportación y licitación de proyectos.

### 2. Alinearse con los estándares internacionales

- En los últimos años, las normas chinas se han ido acercando a las ISO y ASTM;
- Mejorar la compatibilidad internacional de las normas adoptando conversiones equivalentes, explicaciones complementarias y otros métodos.

### 3. Normas de control interno de la empresa

- Algunas empresas líderes han formulado especificaciones técnicas empresariales más estrictas basadas en la implementación de GB/T y YS/T;
- Por ejemplo, mayor precisión dimensional, límites de impurezas más bajos y una calidad de superficie más fina.

## VI. Resumen

El sistema estándar de placas de aleación de tungsteno de China proporciona una base y soporte técnico para el diseño, la producción, las pruebas y la distribución de productos. La norma GB/T refleja las especificaciones nacionales unificadas de gestión técnica, mientras que la norma YS/T refleja el nivel de desarrollo tecnológico de la industria. Con la expansión de las placas de aleación de tungsteno en campos de aplicación de alta gama, estas normas también se revisan y mejoran continuamente, desempeñando un papel fundamental para garantizar la calidad del producto y promover la modernización tecnológica.

### 7.2 Interpretación de las normas americanas (ASTM, MIL)

Como líder importante en la industria global de materiales de alta gama, Estados Unidos ha establecido un sistema de normas relativamente completo y ampliamente utilizado para materiales de tungsteno y aleaciones de tungsteno. Este sistema se compone principalmente de **las normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)** y MIL (Estándares Militares de EE. UU.). No solo proporciona especificaciones técnicas para los sectores militar, aeroespacial,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electrónico y otros, sino que también desempeña un papel importante en el comercio global, la gestión de calidad y la certificación internacional.

## 1. Descripción general del sistema de normas ASTM

### 1. Naturaleza de la Norma

Las normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) son **un sistema de normas técnicas aceptado internacionalmente** que enfatiza las propiedades de los materiales, los métodos de prueba y las especificaciones generales, y se utilizan ampliamente en la fabricación industrial, el control de calidad, el cumplimiento comercial y otros campos.

### Normas ASTM típicas relacionadas con las placas de aleación de tungsteno

Norma N°	Nombre estándar	Ámbito de aplicación
ASTM B702	Especificación para productos de pulvimetalurgia de aleaciones pesadas de tungsteno	Incluye requisitos técnicos para diversos productos como placas, barras, tortas redondas y piezas forjadas.
ASTM B777	Estándar de producto de aleación de tungsteno de alta densidad	Aclarar las propiedades mecánicas, la composición química y la tolerancia dimensional de los materiales.
ASTM B760	Especificaciones técnicas para placas, láminas y tiras de tungsteno y molibdeno	Adecuado para la preparación e inspección de calidad de placas gruesas y delgadas.
ASTM E1477	Métodos de referencia para la detección de metales raros	Análisis espectral, térmico y detección estructural de materiales como tungsteno y molibdeno.

### 3. Puntos clave de la norma

- **Requisitos de composición** : especificar el contenido de tungsteno, la proporción de elementos de aleación y los límites de impurezas;
- **Dimensiones y tolerancias** : incluyendo espesor, ancho, planitud y conformación de los bordes;
- **Propiedades mecánicas** : resistencia a la tracción, límite elástico, ductilidad;
- **Métodos de prueba** : incluyendo prueba de tracción, prueba de dureza, prueba ultrasónica, etc.;
- **Calidad de la superficie** : La oxidación, el desprendimiento, las inclusiones, etc. están claramente definidos.

## 2. Descripción general del sistema de estándares militares MIL

### 1. Naturaleza de la Norma

MIL-STD (Estándar Militar) es **un sistema de estándares para productos militares desarrollado por el Departamento de Defensa de EE. UU.** y ampliamente utilizado en aplicaciones de alta tecnología, como armamento militar, aeroespacial e ingeniería de precisión. El sistema prioriza la fiabilidad, la seguridad y la consistencia en condiciones extremas.

### Normas representativas relacionadas con las placas de aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Norma N°	Nombre estándar	Características
MIL-T-21014	Estándar de material de alta densidad de aleación de tungsteno	Incluidos los requisitos de tamaño, rendimiento y proceso de placas, varillas y anillos.
MIL-C-14550	Normas del proceso de niquelado para superficies metálicas	Requisitos de galvanoplastia y adaptabilidad ambiental de los materiales a base de tungsteno
Estándar militar MIL-45662	Normas de control de equipos de medición y prueba	Para la inspección de materiales y la gestión de la trazabilidad de la calidad
Estándar militar MIL-883	Normas de prueba de componentes electrónicos	Adecuado para aleaciones de tungsteno utilizadas en placas de soporte de chip o materiales de disipación de calor.

### 3. Características del estándar militar

- **Altos requisitos de adaptabilidad ambiental** : énfasis en el desempeño estable en ambientes de alta temperatura, radiación e impacto;
- **Confiabilidad mecánica estricta** : límites inferiores claros para resistencia, tenacidad a la fractura y rendimiento a la fatiga;
- **Control estricto de la consistencia del lote** : se requiere una buena trazabilidad y verificación de la consistencia;
- **Igual énfasis en la certificación de seguridad y medioambiental** : abarcando restricciones sobre elementos nocivos, pruebas de envejecimiento de materiales, etc.

### 3. Relación complementaria entre las normas ASTM y MIL

Dimensiones de comparación	Normas ASTM	Estándar MIL
Áreas de aplicación	Industria general, uso civil, investigación científica.	Industria aeroespacial, de defensa y militar
Tipo estándar	Especificaciones del producto + métodos de prueba	Rendimiento de la aplicación + adaptabilidad ambiental
Enfoque de la inspección	Propiedades del material	Fiabilidad del sistema y adecuación de las condiciones de trabajo
Apertura estándar	Recursos públicos, ampliamente adoptados	Antecedentes militares, parcialmente confidenciales

Nota: En el diseño y la producción reales de placas de aleación de tungsteno de alta gama, las empresas a menudo necesitan cumplir con los requisitos ASTM y MIL.

### 4. Aplicación en la producción y exportación de placas de aleación de tungsteno.

- **Base contractual técnica** : Las normas ASTM B702, B777, etc. se utilizan a menudo como normas básicas para adquisiciones internacionales y acuerdos técnicos;
- **Interfaz del sistema de gestión de calidad** : los estándares MIL requieren compatibilidad con ISO 9001, AS9100 y otros sistemas;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Certificación internacional** : El cumplimiento de las normas ASTM/MIL ayuda a ingresar a mercados de alto nivel como América del Norte y la Unión Europea;
- **Orientación sobre métodos de prueba** : Los métodos de prueba físicos y químicos especificados en la norma se adoptan ampliamente como base para las pruebas.

## V. Resumen

Los sistemas de normas ASTM y MIL constituyen un pilar fundamental para la gestión de la calidad de los materiales de aleación de tungsteno en Estados Unidos. Su rigor, sistematicidad y autoridad son reconocidos a nivel mundial. ASTM proporciona criterios generales para la evaluación del rendimiento de los materiales, mientras que la norma MIL se centra en la fiabilidad del servicio en condiciones extremas. En el competitivo mercado internacional, las empresas chinas deberían evaluar activamente las normas ASTM/MIL para mejorar la adaptabilidad internacional y la competitividad de sus productos en el mercado de alta gama.

### 7.3 Recopilación de normas europeas e ISO para placas de aleación de tungsteno

Con el desarrollo y la expansión de la aplicación de la tecnología de materiales de aleación de tungsteno en todo el mundo, Europa y la Organización Internacional de Normalización (ISO) han establecido un conjunto de sistemas de normas para placas de aleación de tungsteno de amplia aplicabilidad y alta autoridad. Estas normas no solo sirven para la fabricación industrial local, la supervisión comercial y el cumplimiento ambiental en Europa, sino que también se han convertido en una referencia internacionalmente aceptada, impulsando considerablemente la aplicación generalizada de productos de placas de aleación de tungsteno en campos de alta tecnología como la energía nuclear, la aviación, la electrónica y la medicina.

## 1. Introducción al Sistema de Normas Internacionales ISO

### 1. Naturaleza de las normas ISO

- ISO (Organización Internacional de Normalización) es la organización de normalización más autorizada e influyente del mundo;
- Sus estándares de material de tungsteno son manejados principalmente por comités técnicos como ISO/TC 119 (comité técnico de metalurgia de polvos) e ISO/TC 261 (fabricación aditiva);
- Las normas ISO se centran en la universalidad, la coordinación y el reconocimiento mutuo, y se utilizan ampliamente en el comercio internacional, la certificación y las inspecciones de cumplimiento.

### 2. Ejemplos de normas ISO comunes relacionadas con las aleaciones de tungsteno

Norma N°	Nombre estándar	Contenido involucrado
ISO 4499	Método de análisis de microestructura de polvos metálicos y sus productos.	de polvo de tungsteno y placa de aleación de tungsteno sinterizada
ISO	Método de determinación de la densidad del	Determinación de la densidad mediante métodos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5755	material de tungsteno	arquimedianos y geométricos
ISO 6892-1	Ensayo de tracción de materiales metálicos Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente	Se aplica a la prueba de propiedades de tracción de placas de aleación de tungsteno.
ISO 3928	Prueba de flexión de material metálico	Prueba de la ductilidad y el comportamiento de fractura de placas de aleación de tungsteno

Las normas ISO utilizan en su mayoría métodos de prueba comunes, que complementan a las ASTM, y algunas se han integrado con las normas de la UE.

## 2. Descripción general del sistema de normas europeas EN

### 1. Fuente estándar

- Las normas EN (Norma Europea) están formuladas uniformemente por el Comité Europeo de Normalización (CEN);
- Las placas de aleación de tungsteno se derivan principalmente de normas de países miembros como la alemana DIN, la francesa NF, la británica BS y la española UNE;
- Tiene efecto legal dentro de la UE y es la base de cumplimiento para los productos que ingresan al mercado europeo.

### 2. Ejemplos de normas EN típicas

Norma N°	Nombre estándar	Norma nacional original
EN 2516	Especificaciones del material de aleación de tungsteno de alta densidad	Derivado de la Norma de la Industria Aeronáutica Francesa (NF L)
EN 10204	Normas del documento de certificación de calidad de materiales	Ampliamente utilizado en el sistema de trazabilidad de calidad de placas de aleación de tungsteno.
EN ISO 6507	Método de prueba de dureza micro-Vickers para metales	Equivalente a ISO 6507 para pruebas de dureza
EN ISO 9001	Requisitos del sistema de gestión de calidad	para fabricantes de placas de aleación de tungsteno

## 3. Implementación y características de las normas europeas

### 1. Refinamiento de los indicadores técnicos

- Hay clasificaciones más detalladas para el control del espesor de la placa, grado de tolerancia, modelado de bordes, etc.
- Existen altos requisitos para el control de la calidad de la superficie, microestructura, inclusiones no metálicas, etc.

### Altos requisitos de protección y cumplimiento ambiental

- Énfasis en el cumplimiento de RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas) y REACH (Registro y Evaluación de Sustancias Químicas);
- Establecer límites estrictos para impurezas nocivas como el plomo, el cadmio y el mercurio;
- Se requiere la Hoja de Datos de Seguridad (SDS/MSDS) y la información completa del ciclo de vida del material.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. El sistema de certificación está altamente estandarizado.

- Los productos deben pasar la certificación de marca CE, la declaración de conformidad RoHS y pruebas de terceros;
- La empresa necesita pasar las certificaciones ISO 9001, ISO 14001 (medio ambiente) y otras certificaciones de sistemas de gestión;
- Las cadenas de suministro militares, de energía nuclear y de aviación también deben cumplir con sistemas avanzados como EN 9100 e ISO/TS 16949.

### 4. La importancia internacional de las normas ISO y EN

- **Aceptado globalmente** : Las normas ISO se utilizan ampliamente en documentos técnicos y protocolos de aceptación para el comercio internacional;
- **Coordinación técnica** : Las normas EN ISO aceleran el reconocimiento mutuo de las normas de calidad europeas e internacionales;
- **Promover las exportaciones** : si los fabricantes chinos de placas de aleación de tungsteno pasan la certificación estándar ISO/EN, les resultará más fácil ingresar a los mercados de alta gama de Europa y Estados Unidos;
- **Integración de tecnología** : la mayoría de los importadores y usuarios finales europeos prefieren utilizar productos con doble certificación ISO/EN.

### 5. Implicaciones para las empresas manufactureras chinas

dirección	sugerencia
<b>Actualización tecnológica</b>	Evaluación comparativa de las normas EN 2516, ISO 4499 y otras para mejorar la estructura y el rendimiento del producto
<b>Sistema de Calidad</b>	Establecer un sistema de control de calidad de proceso completo que cumpla con los requisitos ISO/EN
<b>Cumplimiento ambiental</b>	Fortalecer la investigación y la implementación de regulaciones ambientales como RoHS y REACH
<b>Certificación internacional</b>	Obtener activamente las certificaciones CE, ISO y EN para mejorar la influencia internacional de la marca.

## VI. Resumen

El sistema de normas europeas e ISO para placas de aleación de tungsteno está altamente estandarizado, es ecológico y tecnológicamente avanzado, y representa la única vía para que los fabricantes chinos e internacionales avancen hacia el mercado de alta gama. Su contenido normativo no solo se centra en el rendimiento del material y los métodos de inspección, sino que también incorpora requisitos más sistemáticos como la seguridad ambiental, la gestión del ciclo de vida y la certificación del sistema. Para las etapas iniciales y finales de la cadena de suministro de la industria de las placas de aleación de tungsteno, la evaluación comparativa y la adaptación activa a estas normas son un paso clave para mejorar la competitividad internacional y fomentar el desarrollo sostenible.

### 7.4 Requisitos de cumplimiento ambiental de RoHS, REACH y MSDS

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A medida que aumenta la atención mundial a la protección del medio ambiente y la salud humana, la producción, el uso y la distribución de placas de aleación de tungsteno también deben cumplir con una serie de regulaciones ambientales y estándares de seguridad de materiales internacionales. Entre ellos, el sistema de cumplimiento, representado por **la Directiva RoHS de la UE, el reglamento REACH y la \*\*Ficha de Datos de Seguridad del Material (MSDS)\*\***, se ha convertido en un requisito indispensable para acceder al mercado internacional. Los fabricantes de placas de aleación de tungsteno deben priorizar la integridad y precisión de la composición de sus materiales, la gestión química y la divulgación de información.

## 1. Directiva RoHS (Restricción del uso de ciertas sustancias peligrosas)

### 1. Introducción a RoHS

La Directiva RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas) es una directiva ambiental obligatoria emitida por la Unión Europea que restringe el uso de ciertas sustancias peligrosas en productos electrónicos y eléctricos. Su objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente, así como promover la sustitución gradual de elementos nocivos en los productos electrónicos.

### 2. Aplicabilidad de las placas de aleación de tungsteno

Aunque las placas de aleación de tungsteno no son productos electrónicos y eléctricos terminados típicos, **cuando se utilizan en piezas estructurales de equipos electrónicos, disipadores de calor, placas base conductoras térmicas o componentes de embalaje**, deben cumplir con los requisitos de RoHS, especialmente cuando se exportan a Europa o se utilizan en productos terminales electrónicos.

### 3. Sustancias restringidas y valores límite

Sustancias restringidas	Concentración máxima permitida (en material homogéneo)
Plomo (Pb)	0,1% (1000 ppm)
Cadmio (Cd)	0,01 % (100 ppm)
Mercurio (Hg)	0,1% (1000 ppm)
Cromo hexavalente (Cr <sup>6+</sup> )	0,1%
Bifenilos polibromados (PBB)	0,1%
Éteres de difenilo polibromados (PBDE)	0,1%
Ftalatos (DEHP, BBP, DBP, DIBP)	0,1% cada uno

### 4. Medidas de cumplimiento

- Controlar estrictamente la fuente de materias primas de aleación y elementos de impurezas;
- Establecer un sistema de pruebas RoHS (como la prueba XRF);
- Obtener una declaración de conformidad con RoHS de terceros o un informe de prueba;
- El símbolo RoHS debe estar marcado en el embalaje y las etiquetas del producto.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Reglamento REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas)

### 1. Introducción a REACH

REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias y Preparados Químicos) es la normativa química más estricta de la UE. Se aplica a **todas las sustancias y productos químicos que las contienen, fabricados o comercializados en la UE**, y su objetivo es evaluar su impacto en la salud humana y el medio ambiente.

### 2. Requisitos relacionados con las placas de aleación de tungsteno

- Aunque el tungsteno en sí no está restringido, si la placa de aleación de tungsteno contiene **sustancias muy preocupantes (SVHC)**, como ciertas impurezas de metales pesados, adhesivos, materiales de revestimiento de superficies, etc., es necesario declararlo;
- Las placas de aleación cuyo volumen de producción o importación anual supere una tonelada deberán registrarse;
- Los productos que contienen  $\geq 0,1\%$  de SVHC deben notificarse de forma proactiva a los clientes y enviarse a la ECHA (Agencia Europea de Sustancias Químicas) para su notificación.

### 3. Estrategia de cumplimiento

- Actualice siempre la lista SVHC publicada por la ECHA;
- Clasificación de conformidad de los productos químicos utilizados en placas de aleación de tungsteno;
- Cooperar con los clientes finales para completar las declaraciones REACH;
- Establecer un sistema de seguimiento para garantizar la transparencia de la cadena de suministro.

## 3. MSDS (Hoja de datos de seguridad del material)

### 1. El papel y el estado de las MSDS

MSDS (Hoja de datos de seguridad del material) es un documento de información de seguridad química aceptado internacionalmente que enumera la información de composición del material, las propiedades físicas y químicas, los peligros, el tratamiento de emergencia, el transporte y la eliminación, etc. Es la información básica para el comercio de exportación, la gestión de la seguridad, el uso del cliente y la declaración de cumplimiento.

### 2. Requisitos de MSDS para placas de aleación de tungsteno

- Las placas de aleación de tungsteno generalmente se consideran **productos sólidos**, pero aún se requiere MSDS para referencia del cliente, especialmente cuando hay contacto con polvo o fluido de corte;
- La MSDS debe cubrir todos los elementos de aleación, las impurezas y la información sobre riesgos de procesamiento;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Debe cumplir con el formato SGA (Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos).

### 3. Elementos de contenido de muestra de la MSDS (16 elementos en total)

1. Información del producto y de la empresa
2. Ingredientes
3. Identificación de peligros
4. Medidas de primeros auxilios
5. Medidas de lucha contra incendios
6. Tratamiento de emergencia por fugas
7. Requisitos de manipulación y almacenamiento
8. Controles de exposición y protección personal
9. Propiedades físicas y químicas
10. Estabilidad y reactividad
11. Información toxicológica
12. Información ecológica
13. Métodos de eliminación
14. Información de envío
15. Información regulatoria
16. Otra información

Nota: Las MSDS deben prepararse en inglés y se deben proporcionar versiones multilingües (como chino, alemán, japonés, etc.) cuando sea necesario.

### 4. Prácticas de cumplimiento y sugerencias para empresas de placas de aleación de tungsteno

Dirección de Cumplimiento	Estrategia de respuesta empresarial
Selección de materiales	Evite utilizar elementos restringidos o de alta preocupación y establezca un sistema de revisión de materia prima
Sistema de prueba	Detección rápida RoHS/REACH/XRF y pruebas ICP durante la fase de adquisición
Gestión de archivos	Establecer MSDS, RoHS, REACH y otros archivos de cumplimiento y actualizarlos periódicamente
Colaboración con el cliente	Proporcionar de forma proactiva declaraciones de cumplimiento, informes de pruebas y documentos de soporte técnico.
Certificación de terceros	Mejore la confianza con la certificación de organizaciones autorizadas como SGS, TÜV e Intertek

### V. Resumen

RoHS, REACH y MSDS constituyen los tres sistemas fundamentales de cumplimiento ambiental para que los productos de placas de aleación de tungsteno se introduzcan en el mercado internacional, especialmente en el mercado de la UE. Estas normativas no solo limitan el uso y la emisión de sustancias peligrosas en las placas de aleación de tungsteno, sino que también exigen a las empresas una mayor responsabilidad por la composición de sus materiales, sus características

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de seguridad y su impacto ambiental. Ante las crecientes barreras ambientales globales, los fabricantes de placas de aleación de tungsteno necesitan establecer un mecanismo sistemático de gestión del cumplimiento ambiental, fortalecer los conceptos de diseño ecológico y mejorar integralmente la competitividad sostenible de sus productos.

## 7.5 Sistemas de gestión de calidad en los campos de la aviación, la energía nuclear y la medicina (AS9100, ISO 13485, etc.)

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en industrias clave como la aeroespacial, la ingeniería de energía nuclear y la de equipos médicos, gracias a su alta densidad, alta resistencia, resistencia a altas temperaturas y a la radiación. Sin embargo, estas industrias tienen requisitos extremadamente estrictos en cuanto a la fiabilidad, seguridad, trazabilidad y consistencia de los materiales. Por lo tanto, si las empresas desean entrar en estos mercados de alta gama con placas de aleación de tungsteno, deben establecer y cumplir plenamente con los sistemas de gestión de calidad específicos de cada sector, como la AS9100 (aeroespacial), la ISO 13485 (dispositivos médicos), la NQA-1 (energía nuclear) y otras normas.

### 1. AS9100: Sistema de gestión de calidad aeroespacial

#### 1. Introducción a la Norma

AS9100 es una norma de sistemas de gestión de calidad específica para el sector aeroespacial, desarrollada por el Grupo Internacional de Calidad Aeroespacial (IAQG). Amplía la norma ISO 9001 y amplía los requisitos específicos de las industrias de aviación, aeroespacial y defensa. Es un estándar común para la cadena de suministro global de empresas como Boeing, Airbus, NASA y Lockheed.

#### 2. Requisitos clave

- **Trazabilidad del producto** : El proceso de producción, la fuente de materia prima, los parámetros del proceso y los registros de pruebas de cada lote de placas de aleación de tungsteno deben ser rastreables;
- **Gestión de riesgos** : identificar y controlar riesgos como defectos de materia prima, desviaciones de proceso y retrasos en la entrega;
- **Control de cambios** : Cualquier cambio en el diseño, proceso o materiales del producto debe ser estrictamente aprobado;
- **Capacidades anti-falsificación y anti-interferencia** : evitan que materiales falsificados y de calidad inferior ingresen al sistema de aviación;
- **Mejora Continua y Satisfacción del Cliente** : Enfatiza la colaboración de procesos y la optimización continua entre proveedores y clientes.

#### 3. Importancia de la aplicación en placas de aleación de tungsteno.

Si se utilizan placas de aleación de tungsteno como **componentes tales como estructuras de vuelo aeroespacial, contrapesos de satélite, elementos inerciales, etc.** , deben pasar el control AS9100 para demostrar que cumplen con los requisitos integrales del campo de la aviación en cuanto a confiabilidad del material, propiedades mecánicas y consistencia.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. ISO 13485: Sistema de gestión de calidad de dispositivos médicos

### 1. Introducción a la Norma

La norma ISO 13485 es una norma internacional de gestión de calidad desarrollada para productos sanitarios. Es aplicable a todas las empresas dedicadas al diseño, la producción, la instalación y el servicio de dispositivos médicos, con especial énfasis en **la seguridad del producto, el cumplimiento normativo y el control de riesgos**.

### 2. Contenido principal

- **Coherencia regulatoria** : exigir que los productos cumplan con las regulaciones médicas pertinentes en diferentes mercados alrededor del mundo (como MDR de la UE, FDA de EE. UU., etc.);
- **Control de higiene y prevención de la contaminación** : Las materias primas, productos semiacabados y productos terminados deben evitar la contaminación biológica o la infección cruzada;
- **Evaluación de biocompatibilidad** : si se utilizan placas de aleación de tungsteno para **la protección de equipos de radioterapia, componentes de dispositivos de imágenes**, etc., es necesario evaluar su seguridad de contacto con el entorno humano;
- **Gestión de registros y documentos** : Establecer registros de calidad detallados, información de trazabilidad y mecanismos de manejo de quejas de los clientes;
- **Gestión de riesgos** : abarca el diseño, la producción, el almacenamiento y el reciclaje del ciclo de vida del producto.

### 3. Escenarios de aplicación

Las placas de aleación utilizadas **en componentes de protección de aceleradores médicos, blindaje de rayos X, dispositivos portadores de medicina nuclear**, etc., necesitan establecer procesos de control de producción y revisión de calidad basados en la norma ISO 13485.

## 3. NQA-1 / ASME / RCC-M: Requisitos de calidad para la industria de la energía nuclear

### 1. Descripción general de las normas de la industria de la energía nuclear

- **NQA-1 (Nuclear Quality Assurance)** : Desarrollado por ASME (American Society of Mechanical Engineers), es el estándar de garantía de calidad para instalaciones nucleares y suministro de materiales de grado nuclear;
- **ASME Sec III** : Normas técnicas para el diseño, fabricación e inspección de equipos y materiales de sistemas de energía nuclear;
- **RCC-M (Código francés de diseño estructural y fabricación de islas nucleares)** : se utiliza para la evaluación estructural y de materiales de proyectos de energía nuclear europeos.

### 2. Requisitos de aplicación y calidad de las placas de aleación de tungsteno.

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan comúnmente en el campo de la energía nuclear:

- Estructura de blindaje del núcleo de energía nuclear;
- barras de control y componentes absorbedores de neutrones;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Contenedores para transporte y almacenamiento de materiales radiactivos.

### 3. Factores clave del control de calidad

Dimensión de control	Descripción de la solicitud
Composición del material	Limitar estrictamente las impurezas radiactivas y las sustancias activadas por neutrones (como boro, cobalto, etc.)
Propiedades mecánicas	Cumple con los requisitos de resistencia a altas temperaturas y resistencia a la fluencia en entornos de irradiación.
Pruebas no destructivas	Todas las placas de aleación de tungsteno deben someterse a pruebas no destructivas integrales, como UT, RT y polvo magnético.
Integridad de archivos	Los archivos de calidad trazables y los informes de evaluación de terceros deben conservarse durante más de 20 años

### IV. Sugerencias para la integración de sistemas y prácticas de certificación

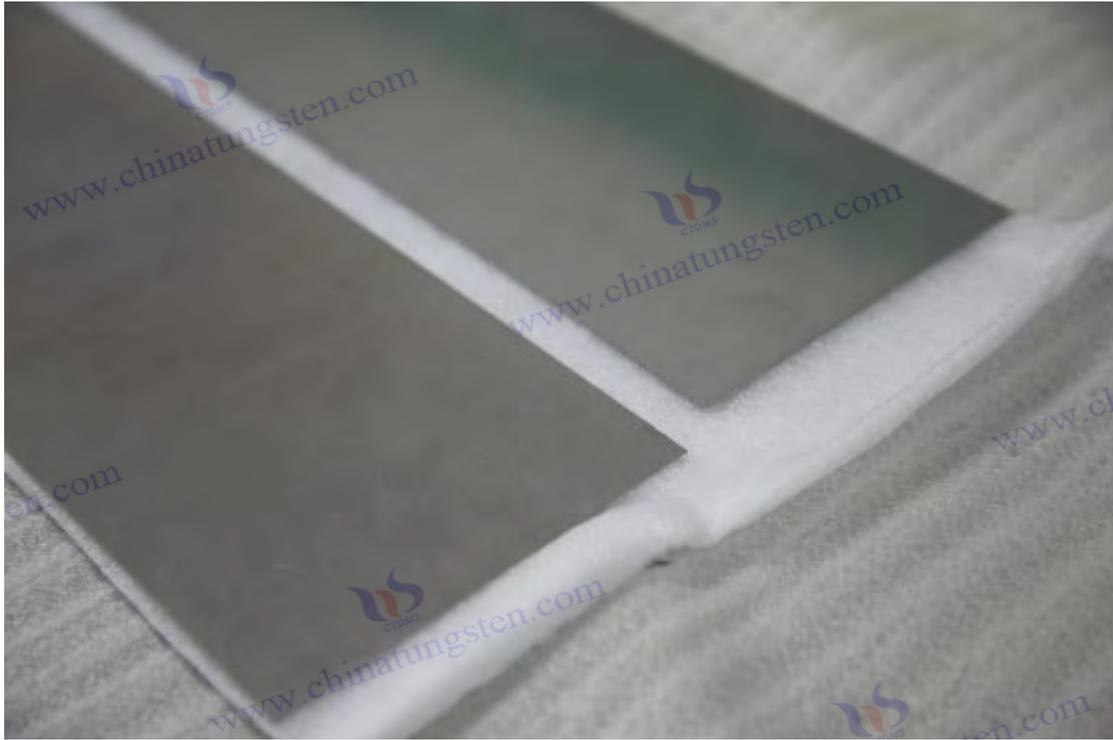
Nombre del sistema	Áreas de aplicación	Prácticas recomendadas
AS9100	Aeroespacial	Establecer un proceso documental profesional y un sistema de control de cambios de ingeniería
ISO 13485	Dispositivos médicos	Optimizar los controles de limpieza, la validación de la cadena de suministro y las evaluaciones de bioseguridad
NQA-1 / ASME	Ingeniería de energía nuclear	Fortalecer el sistema de registro de calidad y aceptar la autorización, certificación y supervisión de terceros.

Las empresas pueden lograr una integración estándar y una optimización de costos a través de un **\*\*Sistema de Gestión Integrado (IMS)\*\***, como por ejemplo utilizando ISO 9001 como marco general y agregando módulos AS9100 o ISO 13485 para mejorar la eficiencia de la gestión.

### V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno utilizadas en los sectores de la aviación, la energía nuclear y la medicina se basan en un conjunto completo de estrictos sistemas de gestión de calidad que abarcan el diseño, los materiales, la fabricación y el servicio posventa. Normas como AS9100, ISO 13485 y NQA-1 no solo garantizan la calidad del producto, sino que también constituyen una importante puerta de entrada al mercado internacional. Si la industria china de aleaciones de tungsteno aspira a alcanzar la alta gama y la internacionalización, debe comenzar por la construcción de sistemas y establecer un mecanismo de aseguramiento de la calidad integral del proceso que cumpla con los estándares técnicos globales.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Capítulo 8 Embalaje, almacenamiento y transporte de placas de aleación de tungsteno

### 8.1 Materiales y formas de embalaje (envasado al vacío, desecante, envasado en bandejas)

Las placas de aleación de tungsteno presentan alta densidad, alto valor añadido y exigencias extremadamente altas en cuanto a calidad superficial y precisión. Tras la producción y las pruebas, el proceso de embalaje no solo es un paso sencillo en el proceso logístico, sino también un medio importante para garantizar la estabilidad de la calidad y la integridad de la apariencia durante el transporte, el almacenamiento y la entrega. La selección adecuada de los materiales de embalaje, las formas de embalaje científicas y el aislamiento eficaz de los factores ambientales son cruciales para garantizar que las placas de aleación de tungsteno no sufran oxidación, corrosión, daños mecánicos, deformaciones ni otros problemas durante el transporte.

#### 1. Principios básicos y objetivos del embalaje

El embalaje de las placas de aleación de tungsteno debe seguir los siguientes principios básicos:

- **Antioxidante, a prueba de humedad, a prueba de polvo y a prueba de golpes mecánicos ;**
- **Fácil de transportar, apilar y transportar ;**
- **Cumplir con los requisitos reglamentarios aduaneros y de comercio internacional ;**
- **Identificación clara y fuerte trazabilidad ;**
- **Se prefieren materiales verdes, respetuosos con el medio ambiente y reciclables .**

El embalaje no sólo responde a necesidades logísticas, sino que también debe incluirse en la gestión de todo el proceso de producción como parte del sistema de control de calidad de la entrega del producto.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Materiales de embalaje de uso común y sus funciones

Tipo de material	Función principal	Notas de aplicación
<b>Película de polietileno (PE)</b>	A prueba de humedad y polvo	Se utiliza para recubrir la superficie de las placas de tungsteno para evitar la oxidación y la adhesión de partículas.
<b>Película compuesta de aluminio y plástico al vacío</b>	A prueba de humedad y antioxidante.	Envasado al vacío de placas de aleación de tungsteno para almacenamiento a largo plazo o exportación.
<b>Junta de espuma/algodón perlado EPE</b>	Amortiguación y resistencia a los golpes.	Colóquelo en el espacio entre las placas para evitar fricción o rotura.
<b>Desecante (gel de sílice/tamiz molecular)</b>	Absorción de humedad y deshumidificación	Colóquelo en un embalaje sellado para mantener un ambiente seco.
<b>Palets de madera (fumigados o sin fumigación)</b>	Soporte y manejo	Transporte de productos terminados de placa de aleación de tungsteno, conveniente para la carga y descarga de montacargas y el envío de contenedores.
<b>Cinta de sellado/film estirable</b>	Estructura de embalaje exterior fija	Previene el deslizamiento de las hojas y el agrietamiento del embalaje.

## 3. Forma típica de embalaje de la placa de aleación de tungsteno

### 1. Envasado al vacío

Adecuado para almacenamiento a largo plazo, transporte de exportación o cuando los clientes tienen requisitos extremadamente altos en la calidad de la superficie.

- Utilice una película compuesta de aluminio y plástico para sellar una o varias placas de tungsteno en una bolsa;
- Coloque un desecante (generalmente gel de sílice, tamiz molecular o carbón activado) antes de sellar;
- Evacuar a más de -0,08 MPa y sellar térmicamente;
- Se puede utilizar con reemplazo de gas (como nitrógeno) para mejorar la resistencia a la corrosión;
- El exterior está protegido por cajas de cartón duras o de madera para evitar colisiones generales.

Ventajas: Aísla eficazmente el aire y la humedad y prolonga la vida útil de la superficie brillante de la placa de tungsteno.

### 2. Embalaje apilado (amortiguación entre placas + sellado de plástico)

- Coloque espuma o algodón perlado de 1 a 2 mm de espesor entre cada placa de aleación de tungsteno;
- Toda la pila está envuelta con película estirable de PE o película de plástico compuesto;
- Si las condiciones lo permiten, agregue cartón para reforzar la protección de la superficie del tablero;
- Adecuado para tableros pasivados o transporte de corta duración.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ventajas: fuerte amortiguación, operación conveniente, bajo costo, adecuado para distribución doméstica.

### 3. Embalaje en palets y cajas de madera.

Se utiliza para envíos a granel, especialmente adecuado para condiciones de exportación y transporte marítimo.

- Todo el tablero se coloca sobre un palé de madera (se debe fijar con cinta de fleje);
- Protección adicional de caja de madera o caja lateral de acero;
- En función del peso se deberá seleccionar un pallet de gran capacidad de carga o una estructura reforzada;
- Debe haber agujeros para montacargas en la parte inferior del pallet para facilitar la carga y descarga.

Los embalajes de madera para exportación deben cumplir con **las normas fitosanitarias internacionales NIMF 15** y utilizar materiales tratados térmicamente o libres de fumigación.

### 4. Identificación de envases y gestión de etiquetas

La gestión científica de etiquetas de envases no solo forma parte de la gestión de calidad, sino que también es un medio importante para evitar errores logísticos y confusiones en la identificación del cliente. Debe incluir la siguiente información básica:

- **Nombre del producto, especificación, modelo, cantidad, número de lote ;**
- **Peso neto, peso bruto, dimensiones, fecha de embalaje ;**
- **Nombre del fabricante e información de contacto ;**
- **Marcado de cumplimiento :** como RoHS, REACH, número MSDS ;
- **Señales de transporte :** íconos como a prueba de humedad, a prueba de presión, hacia arriba y centro de gravedad;
- **Información de personalización del cliente** (como número de proyecto, número de pedido, etc.).

Se pueden utilizar sistemas de códigos de barras o códigos QR para respaldar la gestión de la trazabilidad inteligente.

### 5. Requisitos especiales de embalaje y servicios personalizados

En pedidos personalizados de alta gama, algunos clientes (como agencias de energía nuclear, empresas aeroespaciales e instituciones de investigación científica) presentarán los siguientes requisitos de embalaje especiales:

- **Embalaje limpio :** el envasado al vacío se realiza en una sala limpia de clase 1000;
- **Protección al vacío con bolsa metálica multicapa :** evita que los materiales de protección radiactivos penetren o absorban humedad;
- **Embalaje antiestático :** se utiliza para placas de aleación de tungsteno para equipos electrónicos;
- **Solución de embalaje combinado :** embalaje clasificado de varios tamaños, estructura fija de tubo de manga.

**una base de datos de soluciones de embalaje estándar y un mecanismo de respuesta de embalaje personalizado** según las necesidades del cliente.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno no solo influyen en la apariencia y la seguridad del producto, sino también en la estabilidad de la calidad del material y la satisfacción del cliente durante el transporte. Al seleccionar materiales de embalaje, formas estructurales y sistemas de gestión de etiquetas adecuados, y combinar diseños diferenciados con las características del sector del cliente, se pueden reducir eficazmente los riesgos de transporte y mejorar la imagen de marca corporativa y las capacidades de exportación. A medida que aumenta el acceso a los mercados internacionales, el embalaje ecológico, la identificación inteligente y los sistemas de palés estandarizados se convertirán en ejes clave para el desarrollo del embalaje de placas de aleación de tungsteno.

## 8.2 Requisitos del entorno de almacenamiento y medidas antioxidantes y a prueba de humedad

Las placas de aleación de tungsteno, un material de alta densidad, alta precisión y alto valor añadido, son propensas a **la oxidación superficial, la corrosión, la expansión dimensional o los fallos de embalaje debido a la humedad ambiental, la exposición al oxígeno, la contaminación por polvo o los cambios de temperatura si no se gestionan adecuadamente durante el almacenamiento posterior a la producción**, lo que afecta gravemente su disponibilidad y la satisfacción del cliente. Por lo tanto, es fundamental establecer estándares científicos y estandarizados para el entorno de almacenamiento, así como medidas prácticas de protección contra la humedad y la oxidación, para garantizar la calidad y la seguridad de las placas de aleación de tungsteno durante el almacenamiento a corto o largo plazo.

### 1. Requisitos básicos para el entorno de almacenamiento

Las placas de aleación de tungsteno deben cumplir los siguientes indicadores de control:

Factores de control	Rango recomendado	ilustrar
temperatura	5°C~30°C	Evite fluctuaciones bruscas de temperatura, condensación o expansión térmica.
humedad relativa	≤ 50% HR	Una humedad relativa demasiado alta acelerará la oxidación de la superficie del tungsteno y la corrosión por hidrógeno.
Limpieza del aire	Entorno libre de polvo o con poco polvo (ISO Clase 8 o superior)	Evita que las partículas de polvo se adhieran, evita rayones mecánicos y contaminación conductora.
luz solar directa	evitar	La exposición a los rayos UV puede provocar decoloración de la superficie o envejecimiento del material.
Gas corrosivo	Prohibido (como NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, etc.)	Los gases que contienen azufre y cloro reaccionarán lentamente con el tungsteno.
Flujo de aire	Buena ventilación pero respiraderos no muy fuertes	Mantenga el aire seco y evite la acumulación de humedad.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Si la empresa tiene las condiciones, puede instalar un almacén de temperatura y humedad constantes o un almacén limpio para lograr una gestión de almacenamiento precisa y a largo plazo de placas de aleación de tungsteno de alta gama.

## 2. Tecnologías y medidas comunes de antioxidación

Aunque el tungsteno en sí mismo posee una buena estabilidad química, las placas de aleación de tungsteno (especialmente las que contienen metales aglutinantes como Ni y Cu) pueden experimentar una ligera oxidación o corrosión electroquímica **en ambientes húmedos o ricos en oxígeno. Por lo tanto, se deben tomar las siguientes medidas para mejorar la resistencia a la oxidación:**

### 1. Tratamiento de pasivación superficial

- Después del decapado, lavado alcalino o lavado neutro de la placa de aleación de tungsteno, utilice un agente pasivante para tratarla;
- Puede formar una película protectora densa en la superficie para inhibir la reacción entre el oxígeno y el agua;
- Los pasivadores comunes incluyen ácido cítrico, cromatos, fosfatos, etc.;
- Es especialmente adecuado para procesar productos terminados antes de salir de la fábrica para mejorar la estabilidad del almacenamiento.

### 2. Sellado al vacío o con nitrógeno

- Selle al vacío o llene con nitrógeno la placa de aleación de tungsteno terminada para evitar la intrusión de oxígeno y vapor de agua;
- Adecuado para placas con requisitos extremadamente altos de suavidad y estado de la superficie;
- Generalmente se utiliza junto con bolsas compuestas de aluminio y plástico y películas de alta barrera.

### 3. Método de recubrimiento con microaceite (aceite sellado)

- Aplique ligeramente aceite sellador neutro en la superficie de la placa para formar una capa de aislamiento físico;
- Puede aislar eficazmente el contacto directo con oxígeno, vapor de agua y sulfuro en el aire;
- Se puede limpiar con alcohol o agua alcalina antes de usar;
- Se utiliza comúnmente para el almacenamiento a medio y largo plazo de placas de tungsteno de grado industrial.

## 3. Medidas de control de la humedad y gestión de la humedad

Si las placas de aleación de tungsteno se almacenan en un ambiente húmedo, son propensas al oscurecimiento superficial debido a la oxidación lenta por adsorción de vapor de agua e incluso a la corrosión intergranular. Es necesario implementar medidas de protección contra la humedad en tres aspectos: embalaje, equipo de almacenamiento y control ambiental.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 1. Añadir desecante en el proceso de envasado.

- Utilice materiales de secado como paquetes de gel de sílice y adsorbentes minerales activados;
- El desecante debe colocarse en una bolsa de vacío o en una caja sellada;
- Revise periódicamente el desecante para ver si está saturado y reemplácelo si es necesario.

### 2. Utilice un deshumidificador/aire acondicionado de humedad constante para controlar la humedad en el almacén.

- Área de almacenamiento para placas de aleación de tungsteno;
- El funcionamiento las 24 horas es especialmente necesario en épocas de lluvias o en climas de fuertes lluvias;
- Mantener una HR  $\leq 50\%$  es especialmente importante para las placas de aleación de tungsteno con superficie brillante.

### 3. Espacio de almacenamiento elevado/almohadilla a prueba de humedad

- Las placas de aleación de tungsteno deben **evitar el contacto directo con el suelo** o la pared;
- Utilice paletas, estantes y estructuras de marco de madera como soporte, con divisiones a prueba de humedad en la parte inferior;
- Evite que la humedad y la condensación afecten la placa de tungsteno.

### 4. Estrategia de almacenamiento por niveles y control de ciclos

De acuerdo con los diferentes usos y períodos de almacenamiento de las placas de aleación de tungsteno, se debe formular una estrategia de gestión jerárquica:

Clasificación	Usos típicos	Método de almacenamiento recomendado	Periodo de almacenamiento recomendado
<b>Tablero de alta pureza</b>	Dispositivos médicos, de energía nuclear y electrónicos	Cámara de vacío + desecante + humedad constante	12-18 meses
<b>Placa industrial estándar</b>	Moldes y estructuras mecánicas	Recubrimiento de PE + horno de secado	6-12 meses
<b>Junta de rotación temporal</b>	Para procesamiento interno	Embalaje ordinario, almacenamiento a corto plazo.	$\leq 3$ meses

Las placas con un ciclo largo deben inspeccionarse periódicamente para verificar el estado de la superficie y la estabilidad dimensional para garantizar que aún cumplen con los requisitos de rendimiento antes de su uso.

## V. Resumen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La gestión de placas de aleación de tungsteno es una tarea sistemática. Es necesario no solo prestar atención a las propiedades físicas del material y la sensibilidad de la composición de la aleación al medio ambiente, sino también formular una estrategia de protección contra la humedad y la oxidación con gran adaptabilidad y alta operatividad, en combinación con las instalaciones de almacenamiento, las condiciones climáticas y los ciclos de uso. Con la mejora continua de los estándares globales para el almacenamiento y transporte de materiales de alto rendimiento, las empresas necesitan urgentemente establecer un **mecanismo completo de evaluación de riesgos de almacenamiento** y un **sistema de control de calidad del inventario** para garantizar la estabilidad, fiabilidad y consistencia de las placas de aleación de tungsteno a lo largo de la cadena de suministro.

### 8.3 Precauciones y regulaciones para el transporte nacional e internacional

Al ser un material metálico con alta gravedad específica, resistencia a la corrosión y alto valor añadido, el transporte de placas de aleación de tungsteno no solo afecta la seguridad física y las pérdidas económicas, sino también los ciclos de entrega al cliente, la gestión del cumplimiento normativo internacional y la reputación de la marca. Especialmente en escenarios complejos como el comercio transfronterizo, el transporte aéreo y el transporte marítimo de contenedores, si el método de transporte o el proceso de declaración no están estandarizados, es muy fácil que se produzcan problemas como daños en las placas, oxidación, declaraciones erróneas e incluso devoluciones. Por lo tanto, es fundamental que los proveedores de materiales, el personal de comercio exterior y los responsables de almacenamiento y logística dominen las precauciones clave y los requisitos reglamentarios durante el transporte de placas de aleación de tungsteno, tanto a nivel nacional como internacional.

#### 1. Desafíos y riesgos básicos del transporte de placas de aleación de tungsteno

Las placas de aleación de tungsteno enfrentan principalmente los siguientes problemas durante el transporte:

- **Deformación y daños bajo cargas de alta densidad** : La densidad de la placa de aleación de tungsteno puede alcanzar entre 17 y 19 g/cm<sup>3</sup>. Si el soporte es inestable durante el transporte prolongado, es muy fácil que se aplaste, doble y dañe en las esquinas.
- **Rayas y abrasiones superficiales causadas por vibraciones y golpes** : El agrupamiento inadecuado en cabinas de camiones y barcos puede provocar que las placas se froten entre sí o contra el metal del palé;
- **Oxidación, condensación o expansión higroscópica causadas por cambios de temperatura y humedad** : especialmente durante el transporte a través de zonas climáticas sin protección contra el secado;
- **Los materiales de declaración de exportación incompletos dan lugar a demoras en el despacho de aduanas o devoluciones** : la aduana tiene una gestión estricta sobre los productos de metales raros y las declaraciones irregulares son propensas a detenciones;
- **Diferencias en las regulaciones ambientales y de seguridad del transporte aplicables** : por ejemplo, algunos países europeos y americanos clasifican algunas aleaciones de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno como materiales estratégicos o militares sensibles, que requieren un permiso especial.

## 2. Precauciones en el transporte nacional

Para el transporte de placas de aleación de tungsteno por tierra o aire dentro de China, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

### 1. Estabilidad del embalaje y control del apilado

- Los pallets deben estar hechos de madera maciza o plástico con alta capacidad de carga y placa inferior uniforme;
- placas de aleación de tungsteno y utilice envolturas protectoras en las cuatro esquinas;
- Utilice correas de nailon, film retráctil o correas de acero para evitar que todo el paquete se resbale;
- otros objetos pesados sobre la placa de tungsteno para evitar aplastamientos y deformaciones.

### 2. Selección del modo de transporte y evaluación de rutas

- Para placas de tungsteno de alto valor o precisión, se recomienda dar prioridad a **la entrega en vehículos especiales, transporte aéreo exprés o canales logísticos de baja vibración** ;
- Al transportar a largas distancias, evite áreas de riesgo como temporadas de alta temperatura y alta humedad, vacaciones largas y concentradas, y caminos con baches en áreas montañosas;
- Podemos cooperar con empresas profesionales de logística de metales de terceros con experiencia, como SF Express Large Cargo, Deppon Heavy Cargo y Sinotrans Logistics.

### 3. Etiquetado claro e instrucciones de manipulación

- El exterior del paquete debe estar impreso con íconos como "Por favor, levante objetos pesados", "A prueba de humedad" y "No invertir";
- Si el peso total del palé supera los 500 kg, deberá transportarse con carretilla elevadora o grúa. Queda estrictamente prohibida la descarga forzada manual.

## III. Normas internacionales de transporte y gestión del cumplimiento

### 1. Métodos comunes de transporte de exportación

Modo de transporte	Escenarios aplicables	Características
<b>Transporte marítimo (FCL/LCL)</b>	Exportaciones a gran escala	El ciclo de transporte es largo y se requiere un tratamiento a prueba de humedad.
<b>Transporte aéreo (DHL, FedEx, SF Express)</b>	Pedido urgente, placa ligera	Alto costo, se requiere certificación de aviación
<b>Ferrocarril/Expreso China-Europa</b>	Económico y práctico para exportar a Europa.	La velocidad es media y se requiere despacho de aduana.
<b>Envío exprés internacional (UPS, etc.)</b>	Muestras de lotes pequeños	Declaración de aduanas conveniente, tamaño y peso limitados.

### 2. Normas de declaración aduanera y clasificación de codificación

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las placas de aleación de tungsteno generalmente se clasifican en el Código Aduanero Chino (Código SA) de la siguiente manera:

- **8101.99.10** : Placas y láminas de aleación de tungsteno (sin procesar o preprocesadas)
- **8101.99.90** : Otros productos de tungsteno (para especificar el contenido de aleación y el propósito)

**Los documentos requeridos para la exportación** incluyen:

- Factura del producto y lista de empaque;
- Certificado de origen (por ejemplo, productos chinos exportados a la UE o países miembros del RCEP);
- Confirmación del código aduanero y descripción estandarizada del nombre de la mercancía;
- Si se trata de usos militares, nucleares o de alta tecnología, es posible que se requiera **una licencia de exportación** o una **declaración de uso final** .

### 3. Notas sobre los contenedores de envío

- Intente utilizar gabinetes pesados de 20 pies (20GP) para cargar placas de aleación de tungsteno y evite apilarlas y mezclarlas en cajas de madera comunes;
- Se debe reservar un espacio de amortiguación entre cada palé de placa para evitar colisiones durante el transporte de larga distancia;
- Instalar paquetes desecantes y tapetes a prueba de humedad para garantizar que la HR dentro del contenedor sea inferior al 60%;
- Etiquetas como "Producto de metal pesado de alta densidad" y "Ubicación del punto de elevación" deben colocarse en el exterior de la puerta del gabinete.

### 4. Certificación internacional y cumplimiento de la seguridad del transporte

Si el producto se exporta a Europa, América, Japón, Corea del Sur y otras regiones con altos requisitos, se deben prestar atención a los siguientes términos de cumplimiento del transporte:

- **Hoja de datos de seguridad del material MSDS** : debe indicar las propiedades físicas y químicas de la aleación de tungsteno y las recomendaciones de transporte y almacenamiento;
- **Descripción RoHS / REACH** : Certifica que el producto no contiene metales pesados nocivos ni contaminantes orgánicos;
- **Declaración de reglamentación aplicable al transporte (mercancías no peligrosas)** : La mayoría de las placas de aleación de tungsteno no están clasificadas como mercancías peligrosas, pero se requiere una declaración de estabilidad del material para facilitar el despacho de aduana;
- **Marca de embalaje de las Naciones Unidas o descripción de pieza no perteneciente a las Naciones Unidas** : según sea necesario para indicar que el artículo transportado no incluye artículos incluidos en la Lista de mercancías peligrosas de las Naciones Unidas.

## IV. Mecanismo de prevención y seguro de accidentes de transporte

Las placas de aleación de tungsteno se dañan, se pierden o se entregan incorrectamente durante el transporte, lo que suele conllevar pérdidas económicas significativas. Por lo tanto, se recomienda establecer un mecanismo de respuesta ante riesgos:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Tome fotografías y archívelas antes de salir de la fábrica** : registre el estado del producto terminado como base para reclamos logísticos;
- **Seguro de transporte completo** : puede elegir "seguro de transporte de valor total" para cubrir pérdidas, daños, retrasos en la entrega, etc.
- **Acuerdo de Cooperación Logística** : Firmar un contrato con la empresa de transporte para definir claramente los límites de responsabilidades y evitar ambigüedad en las responsabilidades;
- **Utilice el sistema de seguimiento logístico GPS** : monitoreo en tiempo real de rutas de transporte para pedidos clave.

## V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno son uno de los eslabones de toda la cadena de suministro más susceptibles a los impactos ambientales y de gestión. Desde el ámbito nacional hasta el internacional, desde los métodos de embalaje hasta los procesos de declaración, se requiere una coordinación multidimensional para garantizar su seguridad, cumplimiento normativo y eficiencia en términos de física, normativa y experiencia del cliente. Para las empresas orientadas a la exportación, establecer un sistema de estándares de transporte consolidado, una biblioteca de plantillas de documentos de declaración aduanera y un mecanismo de respuesta a riesgos logísticos mejorará significativamente la confianza del cliente y la capacidad de entrega al mercado.

## 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

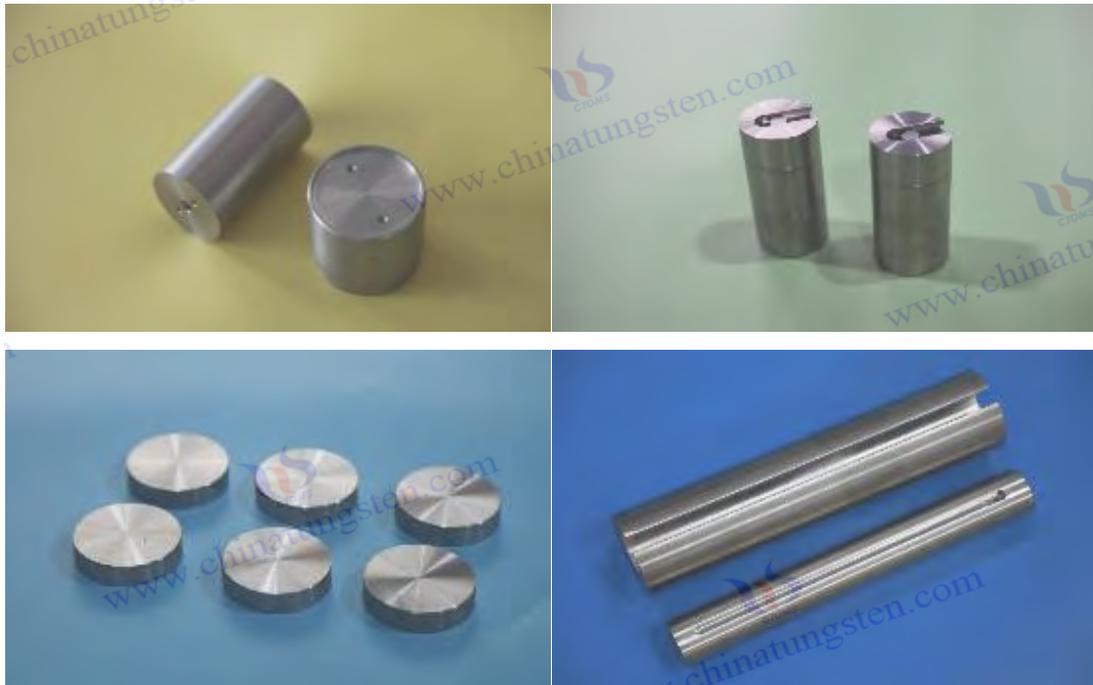
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

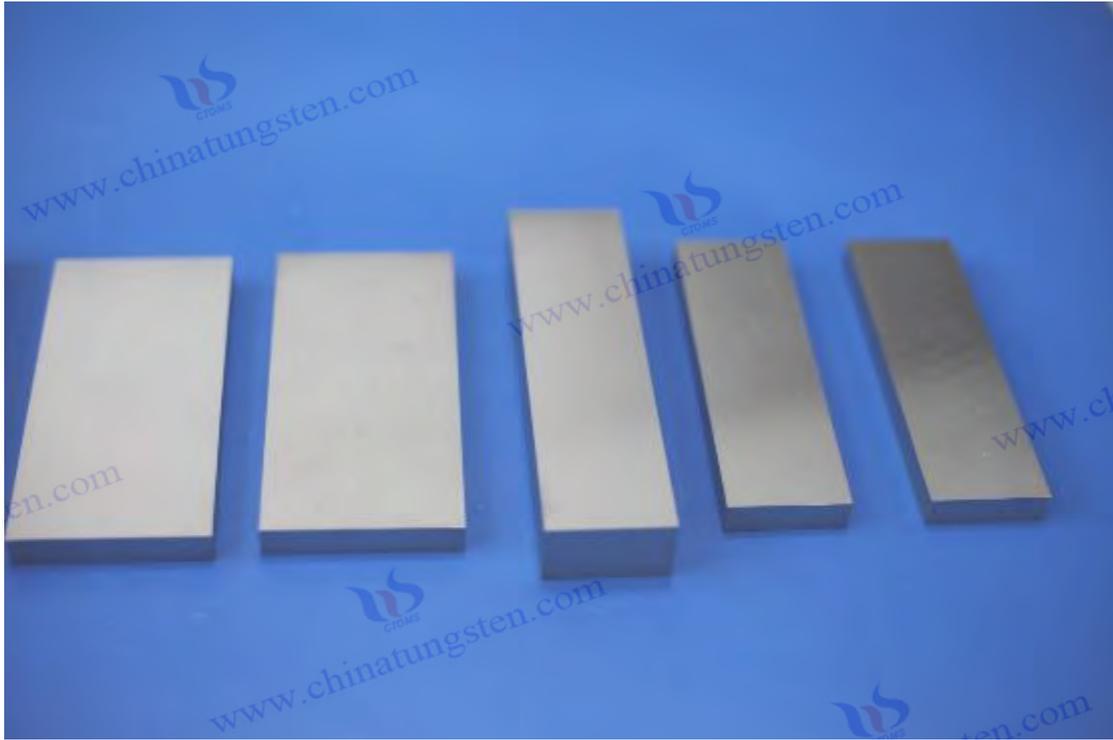
Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://www.tungsten-alloy.com)



#### 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 9 Estructura industrial y tendencia del mercado de placas de aleación de tungsteno

### 9.1 Estado global de los recursos de tungsteno y cadena de procesamiento de placas

El tungsteno es un metal raro estratégico. Se utiliza ampliamente en campos clave como la defensa nacional, la industria aeroespacial, la energía nuclear, la electrónica y la medicina gracias a su alto punto de fusión, alta densidad, alta dureza y excelentes propiedades térmicas, eléctricas y mecánicas. La placa de aleación de tungsteno es un componente importante de los productos de procesamiento profundo de tungsteno y un intermediario clave para lograr un alto rendimiento, así como aplicaciones estructurales y funcionales de los materiales de tungsteno. El desarrollo de su cadena industrial está estrechamente vinculado a la distribución global de los recursos de tungsteno.

#### 1. Distribución global de recursos de tungsteno y patrón de reservas

Según las estadísticas de 2024 del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), las reservas probadas de tungsteno del mundo son de aproximadamente 3,5 millones de toneladas de metal, con una distribución que muestra concentración regional y características **lideradas por cada país** :

País/Región	Reservas de mineral de tungsteno (10.000 toneladas)	Participación de global	Principales zonas mineras
Porcelana	190	Alrededor del 54%	Dayu, Jiangxi, Shizhuyuan, Hunan, Luanchuan, Henan

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rusia	120	Alrededor del 34%	Región Transbaikal, Lejano Oriente
Vietnam	9	< 3%	Mina Perey
Bolivia	5	< 2%	Provincia de Oruro
Otros países (Portugal, Austria, Corea del Sur, etc.)	Menos del 5%	Más dispersos	—

**China es el mayor propietario y principal productor mundial de recursos de tungsteno**. No solo controla más de la mitad de los recursos minerales, sino que también domina más del 70 % de las exportaciones mundiales de materia prima de tungsteno y la capacidad de procesamiento primario, y tiene una importante influencia en la cadena industrial global del tungsteno.

## 2. Proceso de extracción y fundición primaria de recursos minerales de tungsteno

El tungsteno se encuentra principalmente en minerales de tungstato, como la wolframita (con alto contenido de  $WO_3$ ), la scheelita y la tungstenita. El proceso de extracción industrial es el siguiente:

- 1. Minería y procesamiento de minerales** : La minería subterránea y a cielo abierto se utilizan para obtener concentrado de tungsteno de alto grado a través de separación por gravedad, flotación y separación electromagnética;
- 2. Conversión química** : El concentrado de tungsteno se convierte en **paratungstato de amonio (APT) o tungstato de sodio** mediante descomposición alcalina, precipitación ácida y cristalización.
- 3. Fundición de reducción** : el APT se reduce con hidrógeno para producir polvo de tungsteno de alta pureza;
- 4. Preparación de polvo para procesamiento profundo** : El polvo de tungsteno se clasifica por tamaño de partícula y se utiliza para prensado pulvimetalúrgico o fundición a alta temperatura;

Este proceso constituye **la base de recursos para la fabricación de placas de aleación de tungsteno**.

## 3. Estructura de la cadena de producción de placas de aleación de tungsteno

Las placas de aleación de tungsteno se dividen en: "Recursos minerales → Purificación metalúrgica → Diseño de aleación → Conformación de placas → Tratamiento de superficies → Integración de aplicaciones", que se puede dividir en los siguientes enlaces:

### 1. Materias primas

- Incluyendo APT, polvo de tungsteno metálico, polvo de aleación de tungsteno-níquel-hierro, polvo de aleación de tungsteno-cobre, etc.;
- Requiere alta pureza, tamaño de partícula controlable y buena uniformidad de distribución.

### 2. Aleación y prensado

- molibdeno y otros metales aglutinantes en proporción;
- La losa se forma mediante moldeo por compresión o prensado isostático.

### 3. Sinterización y procesamiento térmico

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Sinterización a alta temperatura (1300~1600 °C) en atmósfera de hidrógeno o inerte;
- Los procesos de procesamiento secundario posteriores incluyen el laminado en caliente, el prensado isostático en caliente, el tratamiento al vacío, etc.

#### 4. Acabado de la superficie de la placa y optimización del rendimiento.

- Incluyendo pulido, decapado, galvanoplastia, deposición física de vapor (PVD), etc.
- Para mejorar el acabado de la superficie, la conductividad térmica, la resistencia a la oxidación y otras propiedades.

#### 5. Aplicaciones integradas posteriores

- Piezas estructurales aeroespaciales, armaduras de protección radiológica, máscaras de radioterapia, piezas estructurales de hornos de vacío de alta temperatura, componentes de refrigeración electrónica y otros campos.

#### 4. Características de la división de la cadena industrial global de placas de aleación de tungsteno

Las placas de aleación de tungsteno reflejan características obvias de **la división global del trabajo y la coordinación regional** :

- **China** : Tiene la cadena industrial de tungsteno más completa, incluyendo minería, fundición, aleación y formación de placas, y es la principal fuente de suministro del mundo;
- **Países europeos y americanos** : Son aptos para aplicaciones de alto valor añadido, tecnología militar y sistemas de pruebas estándar. Algunas placas especiales de aleación de tungsteno dependen de la importación o del procesamiento a medida.
- **Japón y Corea del Sur** : Se especializa en el procesamiento de precisión de aleaciones de tungsteno, el tratamiento térmico al vacío y la tecnología de recubrimiento de superficies. Sus productos se utilizan en las industrias electrónica y médica de alta gama.
- **Países en desarrollo** (como Vietnam y Bolivia): ricos en recursos pero débiles en capacidad de procesamiento, sirven principalmente como destinos de exportación de materias primas.

#### V. Resumen

Los recursos de tungsteno determinan el alto umbral y el alto contenido tecnológico de la industria de placas de aleación de tungsteno. Como el mayor país con recursos de tungsteno y centro de procesamiento del mundo, China cuenta con ventajas en toda la cadena, desde las minas hasta las placas, pero también enfrenta múltiples desafíos, como **la modernización de los estándares técnicos, la diversificación de la demanda en etapas posteriores y la intensificación de la competencia en el mercado internacional** . En este contexto, la construcción de un sistema de procesamiento de placas de tungsteno ecológico, eficiente y de alto valor añadido, y la expansión del mercado internacional de alta gama serán la dirección central del desarrollo futuro.

#### 9.2 Análisis de la capacidad del mercado de placas de aleación de tungsteno y su crecimiento futuro

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las placas de aleación de tungsteno, productos de procesamiento profundo, ocupan un lugar insustituible en muchos sectores de alta gama gracias a sus excelentes propiedades físicas y químicas. En los últimos años, con el impulso de la industria manufacturera global de alta gama, la industria militar y la estrategia de seguridad energética, así como el crecimiento de la demanda en mercados emergentes como el médico y el electrónico, la capacidad de mercado de las placas de aleación de tungsteno ha mostrado una tendencia de expansión constante. Esta sección analizará la capacidad de producción, la estructura de la demanda, los factores que impulsan el crecimiento del mercado y las tendencias futuras de desarrollo de las placas de aleación de tungsteno en los mercados global y chino.

## 1. Descripción general del mercado global de placas de aleación de tungsteno

Según datos de la Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA) y varias instituciones de investigación de mercado, para 2024, la capacidad del mercado mundial de placas de aleación de tungsteno será de aproximadamente US \$1.400 a US\$1.600 millones, con una tasa de crecimiento compuesto anual promedio del 6% al 8%, y exhibirá las siguientes características:

### 1. Estructura de mercado diversificada

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en muchos campos, incluida la defensa nacional, la industria aeroespacial, la energía, el tratamiento médico, la fabricación mecánica y la electrónica de precisión.

Industria	Proporción (estimada en 2024)
Aeroespacial y militar	30%
Energía nuclear y nuevas energías	20%
Radiación médica y blindaje	15%
Metalurgia de alta temperatura y fabricación de equipos	10%
Envases de semiconductores y electrónicos	15%
Otros (mohos, investigaciones científicas, etc.)	10%

Especialmente en **placas de protección radiológica, placas de estructura de disipación de calor y componentes de campo térmico de alta temperatura**, las placas de aleación de tungsteno tienen ventajas que no pueden ser reemplazadas por materiales tradicionales como el plomo, el acero y el cobre.

### 2. Aumentó la proporción de productos de alto valor añadido

A medida que los campos de aplicación se vuelven más precisos y funcionales, la demanda del mercado de placas de aleación de tungsteno de alta pureza, alta resistencia y alta densidad continúa en aumento. La proporción de productos que incluyen placas nanoestructuradas, materiales de gradiente funcional y placas compuestas recubiertas aumenta año tras año.

## 2. Tendencia de desarrollo del mercado de placas de aleación de tungsteno en China

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Como el mayor productor y recurso de tungsteno del mundo, la industria china de placas de aleación de tungsteno se ha transformado en la última década, pasando de ser una industria de exportación de recursos a una de procesamiento profundo de materiales. Actualmente, se estima que el mercado chino de placas de aleación de tungsteno supera **los 3000 millones de RMB (aproximadamente 400 millones de dólares estadounidenses)** y continúa expandiéndose en las siguientes áreas:

### 1. Fuerte demanda de fabricación de equipos de alta gama

Estrategias nacionales como "Fabricación de Alta Gama 2025" e "Integración Militar-Civil" han impulsado un fuerte crecimiento de las placas de aleación de tungsteno en los siguientes campos:

- Contrapeso de vehículo hipersónico y estructura de protección térmica;
- Placas de protección de núcleos de energía nuclear y de absorción de neutrones;
- Componentes de blindaje de precisión en sistemas de radioterapia e imágenes por TC;
- Componentes de aislamiento térmico en equipos de procesamiento láser y equipos de plasma.

### 2. Rápida expansión de la capacidad de producción e iteración tecnológica continua

Varias empresas clave representadas por China Tungsten High-Tech, AVIC Matt, Xiamen Golden Heron, CTIA GROUP LTD y otras empresas han seguido aumentando la inversión en el campo de las placas de aleación de tungsteno y han establecido lo siguiente:

- Línea de producción de placas de metalurgia de polvos de alta densidad;
- Línea de producción de placas laminadas en caliente al vacío;
- Línea de proceso de recubrimiento de superficies compuestas;
- Sistema de producción de placas de precisión de alta pureza para placas de protección nuclear médica.

Esta serie de inversiones no sólo mejoró la capacidad de suministro del mercado interno, sino que también mejoró la competitividad de las exportaciones internacionales.

### 3. Fuerza impulsora principal del crecimiento del mercado

El mercado de placas de aleación de tungsteno está impulsado principalmente por los siguientes aspectos:

#### 1. Siguen surgiendo nuevas demandas de aplicaciones

Por ejemplo, la energía nuclear de tercera generación, los dispositivos de fusión nuclear, la energía nuclear aeroespacial, la metalurgia de temperaturas extremadamente altas y los materiales de alta conductividad térmica para el empaquetado de chips electrónicos plantean requisitos de rendimiento más elevados para las placas de aleación de tungsteno e impulsan el crecimiento de su demanda de material.

#### 2. Estrategia de relocalización de la producción mundial y sustitución interna

Las potencias manufactureras como Estados Unidos, Alemania y Japón están promoviendo el regreso de industrias de alta gama y comprando continuamente materiales funcionales basados en tungsteno; al mismo tiempo, China está llevando a cabo la sustitución interna de "materiales de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cuello de botella" y acelerando avances en placas de aleación de tungsteno de alto rendimiento en áreas clave.

### 3. Mejoras materiales derivadas de políticas de protección ambiental ecológicas

Bajo las restricciones de las regulaciones ambientales como RoHS y REACH, las placas de aleación de tungsteno tienen ventajas obvias como sustitutos del plomo en la protección radiológica y los materiales electrónicos, y su tasa de penetración en el mercado continúa aumentando.

## IV. Pronóstico del crecimiento del mercado para los próximos cinco años (2025-2030)

Teniendo en cuenta la orientación de la política mundial, la intensidad de la demanda posterior y la velocidad de la evolución tecnológica, se espera que el mercado de placas de aleación de tungsteno mantenga **una tendencia de crecimiento medio a alto en los próximos cinco años** :

años	Tamaño del mercado global (miles de millones de dólares estadounidenses)	Tamaño del mercado chino (100 millones de yuanes)	Notas
2024	15.5	30	Estimaciones actuales
2025	16.8	34	La demanda de energía nuclear y electrónica ha crecido significativamente
2026	18.5	39	La medicina y las nuevas energías impulsan el lanzamiento de nuevas líneas de producción
2027	20.3	44	Aleaciones multielemento e integración de fabricación inteligente
2028	22.0+	50+	Las nanoláminas y los materiales funcionales compuestos son cada vez más populares

Entre ellos, **los paneles protectores de alta densidad para uso médico** , **los paneles de estructura de enfriamiento electrónico superconductores** y **los paneles con revestimiento de protección térmica láser** se convertirán en los segmentos de mercado de más rápido crecimiento.

## V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno están adquiriendo cada vez mayor relevancia en la industria manufacturera global de alta gama, desempeñando un papel clave en la intersección de materiales estratégicos y funcionales. Con la continua expansión de los escenarios de aplicación, la mejora continua de los estándares de rendimiento y el continuo fortalecimiento de los requisitos ecológicos, el mercado de placas de aleación de tungsteno evolucionará hacia **la alta precisión, la alta funcionalidad y la alta eficiencia** . Aprovechar la oportunidad de modernización de la cadena industrial y la demanda global será la clave del éxito para las empresas de placas de aleación de tungsteno en los próximos cinco años.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 9.3 GRUPO CTIA LTD Placa de aleación de tungsteno

Como promotor importante en el campo de nuevos materiales de aleación de tungsteno en China, CTIA GROUP LTD Se centra en la investigación, el desarrollo, la producción y la aplicación industrial del tungsteno y sus aleaciones, materiales de procesamiento profundo. En particular, en el campo de las placas de aleación de tungsteno, la empresa ha establecido un sistema técnico y una matriz de productos sistemáticos y completos, con sólidas capacidades de integración técnica, desarrollo de equipos e influencia en el sector, ocupando una posición destacada en el mercado nacional de placas de aleación de tungsteno de alta gama.

#### 1. Visión general corporativa y posicionamiento estratégico

CTIA GROUP LTD se posiciona como proveedor de soluciones de materiales de aleación de tungsteno de alto rendimiento. Aprovechando las ventajas industriales de China en recursos de tungsteno, tecnología metalúrgica, equipos de pulvimetalurgia, etc., se centra en el desarrollo sistemático de **aleaciones de tungsteno de alta densidad, placas de tungsteno de alta pureza y piezas estructurales de aleación de tungsteno con formas especiales**. Sus productos se utilizan ampliamente en sectores de alta tecnología como la industria aeroespacial, la ingeniería de energía nuclear, los equipos médicos, los equipos de alta temperatura y la electrónica de precisión.

La empresa se centra en estrategias competitivas diferenciadas y se centra en las siguientes direcciones estratégicas:

- **Sustitución de placas de tungsteno de alta gama: lograr avances nacionales** en las variedades de placas de tungsteno que dependen de las importaciones, como placas de blindaje nuclear, placas de control térmico de precisión, placas de protección médica, etc.;
- **Servicios personalizados diversificados** : Podemos desarrollar diferentes sistemas de aleación (como W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Mo-Ti, etc.) y especificaciones de tamaño de placas de acuerdo con los requisitos del cliente;
- **Actualización de procesos inteligentes: Promover** la construcción de líneas de producción inteligentes integradas para el procesamiento de polvos, prensado, sinterización, laminado y acabado;
- **Fabricación ecológica y exportaciones compatibles:** seguir estrictamente los sistemas de protección ambiental como RoHS, REACH, ISO14001 y establecer canales de calidad para mercados internacionales como Europa, América, Japón y Corea del Sur.

#### 2. Sistema principal de producción de placas de aleación de tungsteno

China Tungsten Intelligence cubre principalmente los siguientes tipos:

Categoría de tablero	Sistema de aleación	Densidad típica (g/cm <sup>3</sup> )	Áreas de aplicación
Placa de tungsteno de alta gravedad específica	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu	17.0~18.5	Aeroespacial, componentes inerciales, pesos de equilibrio
Placa protectora médica	Tipo no magnético W-Ni-Cu	17.0~17.8	Equipos de radioterapia, protección radiológica TC

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<b>Panel de blindaje de ingeniería nuclear</b>	W-Mo, W-Re	18.0~19.0	Protección de reactores nucleares, estructura de absorción de neutrones
<b>Disipador de calor de precisión</b>	W o W-Cu de alta pureza	17,5~19,0	Disipador de calor para microelectrónica, sustrato de empaquetado
<b>Paneles estructurales de temperatura ultraalta</b>	W-Ti-Cr	18,0~18,8	Componentes del campo térmico, revestimiento del dispositivo de reacción
<b>Placas con clasificación funcional</b>	Estructura compuesta W-FGM	Diseñable	Estructura laminada multifuncional

La gama de tamaños del producto cubre **un espesor de 0,3 mm a 50 mm, un ancho de 10 mm a 300 mm, un largo de 20 mm a 1500 mm** y se pueden personalizar placas de formas especiales, placas perforadas, placas ranuradas, placas revestidas y otras piezas estructurales según los dibujos.

### 3. Ventajas de la tecnología principal

Las ventajas técnicas de CTIA GROUP LTD en el campo de las placas de aleación de tungsteno se reflejan principalmente en los siguientes aspectos:

#### 1. Preparación del polvo y control de clasificación

- Desarrolló de forma independiente un proceso de preparación de polvo de tungsteno con reducción de múltiples etapas;
- Lograr un control del tamaño de partículas dentro del rango de 0,5 a 10  $\mu\text{m}$  y admitir parámetros de distribución personalizados;
- Optimizar el mecanismo de dispersión activa según diferentes proporciones del sistema de aleación.

#### 2. Capacidad de formación de trayectorias multiproceso

- Moldeo por compresión: adecuado para tamaños regulares y producción en masa;
- Prensado isostático: se utiliza para requisitos de alta densidad y formas complejas;
- Laminado en caliente + recocido al vacío: mejora la uniformidad de la placa y el rendimiento del procesamiento;
- El tratamiento compuesto PVD mediante pulido de superficies/decapado/vacío cumple múltiples requisitos de rendimiento, como conductividad térmica y resistencia a la corrosión.

#### 3. Sistema de producción inteligente

- Implantar el sistema de gestión MES para conseguir la trazabilidad de los datos a lo largo de todo el proceso productivo;
- Establecer un sistema automático de reconocimiento de imágenes de defectos de placas;
- Dispositivo de protección con bajo contenido de oxígeno de desarrollo propio para mejorar la pureza del tablero.

## IV. Cooperación industrial y resultados de la aplicación en el mercado

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las placas de aleación de tungsteno de CTIA GROUP LTD se han utilizado ampliamente en muchos proyectos nacionales y corporativos clave, incluidos:

- Placas de ultra alta densidad desarrolladas conjuntamente para contrapesos inerciales con **la Corporación de Ciencia y Tecnología Aeroespacial de China**;
- Proporcionar placas de blindaje de grado nuclear para **ingeniería CGN y CNNC**;
- Placas protectoras de aleación de tungsteno para fabricantes de equipos médicos como **Shanghai United Imaging y Mindray Medical**;
- Proporcionar placas de tungsteno conductoras térmicas y piezas estructurales compuestas de disipación de calor a **Huawei, BYD Electronics, etc.**

## V. Desafíos y perspectivas del desarrollo

Aunque CTIA GROUP LTD ha establecido una posición sólida en el mercado nacional, aún enfrenta los siguientes desafíos en el futuro:

- Las materias primas de alta pureza dependen de las importaciones y están sujetas a restricciones de costos;
- Todavía existe una brecha entre nosotros y los gigantes internacionales en términos de sistemas de pruebas y barreras técnicas;
- Es necesario fortalecer la investigación básica en áreas especiales como la absorción de neutrones y la disipación de calor de alta frecuencia.

Para ello, la empresa se centrará en las siguientes direcciones:

- Construir **nuestra propia línea de producción de polvo de alta pureza** para reducir costos y controlar riesgos;
- Cooperar profundamente con institutos de investigación científica para promover la investigación y el desarrollo de vanguardia de **placas funcionales de tungsteno** ;
- Fortalecer la colaboración personalizada con los clientes finales y desarrollar una solución integrada de "placa de tungsteno + procesamiento + empaque + aplicación".

## VI. Resumen

CTIA GROUP LTD, fabricante de placas de aleación de tungsteno, está evolucionando de un fabricante tradicional de materiales a un proveedor integral de soluciones. Su continua optimización de las líneas de productos, las capacidades de proceso y el desarrollo de aplicaciones no solo ha elevado la calidad general de las placas de tungsteno de alto rendimiento de producción nacional, sino que también ha impulsado la industria global de placas de aleación de tungsteno mediante la estrategia "Capacidad de producción de China + Fabricación inteligente de China".

### 9.4 Análisis de la relación entre los costes de las materias primas, los precios de la energía y los precios de las placas

Las fluctuaciones en los precios de las materias primas, los costos de consumo energético, la complejidad del proceso de fabricación y las fluctuaciones de la demanda en el mercado influyen en las placas de aleación de tungsteno. Entre ellas, las materias primas (polvo de tungsteno, metal aglutinante), la energía (electricidad, gas atmosférico), la inversión en equipos y los costos de mano de obra ocupan un lugar central en la estructura de costos de las placas de aleación de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno. Esta sección analizará en profundidad el mecanismo interno de la formación del precio de las placas de aleación de tungsteno y explorará la vía de transmisión y el ciclo de respuesta de las variaciones en los precios de las materias primas y la energía a los precios de mercado de las placas de aleación de tungsteno.

### 1. Análisis de la estructura de costos de las placas de aleación de tungsteno

En términos generales, el costo de fabricación de la placa de aleación de tungsteno consta de las siguientes partes:

Componentes de costos	Rango porcentual (estimación típica)
Costos de materias primas (APT, polvo de tungsteno, Ni/Cu/Fe)	45% ~ 60%
Consumo de energía (electricidad, hidrógeno, gas inerte)	10% ~ 20%
Depreciación de procesos de fabricación y equipos	10% ~ 15%
Costos de mano de obra y gestión	5% ~ 10%
Tratamiento de superficies e inspección de calidad	5% ~ 10%

Se puede observar que **los precios de las materias primas y el consumo de energía** son las principales variables que dominan las fluctuaciones de precios de las placas de aleación de tungsteno.

## 2. Mecanismo de transmisión del precio del APT y del polvo de tungsteno al precio de la placa

### 1. Trayectoria de impacto de las fluctuaciones de los precios de las materias primas upstream

La placa de aleación de tungsteno se compone principalmente de APT (paratungstato de amonio), que se reduce con hidrógeno para obtener polvo de tungsteno, al que se le añaden Ni, Cu y otros metales aglutinantes. El precio del APT está estrechamente relacionado con el precio del concentrado de tungsteno y presenta cierta periodicidad y rapidez. La fluctuación del precio del polvo de tungsteno se reflejará en el precio final de la placa de aleación de tungsteno a través de las siguientes vías:

**Precio del concentrado de tungsteno ↑ → Precio del APT ↑ → Precio del polvo de tungsteno ↑ → Costo del polvo de aleación ↑ → El precio unitario de la placa aumenta**

**Hay un período de retraso de aproximadamente 2 a 4 semanas** en este proceso de transmisión, pero si se trata de un cambio de tendencia a largo plazo, las empresas manufactureras a menudo reducen los riesgos firmando contratos de adquisición trimestrales/anuales y ajustando las estrategias de inventario.

### 2. Sinergia de los precios de los metales de enlace

- **Los precios del níquel (Ni) fluctúan ampliamente** y se han visto significativamente afectados por la demanda de nueva energía (baterías) en los últimos años;
- **Los precios del cobre (Cu) y del hierro (Fe) están más cerca de las fluctuaciones cíclicas de los metales industriales**, pero sus fluctuaciones generales tienen menos impacto que el polvo de tungsteno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Si bien los cambios de costo del metal aglutinante no son tan drásticos como los del polvo de tungsteno, sus fluctuaciones en las placas de aleación a granel (como el sistema W-Ni-Cu) también afectarán significativamente el precio terminal.

### 3. El impacto de los precios de la energía en los costos de producción de láminas

La fabricación de placas de aleación de tungsteno es un proceso que consume mucha energía, y el principal consumo energético se concentra en:

- **Etapa de sinterización en atmósfera protectora de hidrógeno ;**
- **Se requiere horno eléctrico de alta temperatura para laminación en caliente y recocido ;**
- **Se requiere mantenimiento de aire comprimido, agua de refrigeración y electrolitos para el procesamiento en frío y el tratamiento de superficies .**

Los precios de la energía en placas de tungsteno son los siguientes:

Precios de la electricidad y el hidrógeno  $\uparrow \rightarrow$  Coste energético unitario de la chapa metálica  $\uparrow \rightarrow$  Coste marginal de la producción de chapa metálica  $\uparrow \rightarrow$  Aumento del precio del mercado

Tomando como ejemplo los cambios en los precios de la electricidad industrial en algunas provincias de China entre 2022 y 2024, un aumento del 15% al 30% en los precios de la electricidad puede incrementar el costo unitario de consumo de energía de las placas de aleación de tungsteno entre un 3% y un 5%, especialmente para las empresas que utilizan hornos eléctricos de vacío y procesos de sinterización por prensado isostático.

### 4. Fluctuación del precio de las placas de aleación de tungsteno, ciclicidad y vínculo con el mercado

Las placas de aleación de tungsteno muestran las siguientes **características regulares** :

#### 1. Tipo cíclico: el efecto de superposición del ciclo de la materia prima y el inventario industrial.

- Cuando el APT o polvo de tungsteno ingresa al canal ascendente, las empresas preparan los materiales con anticipación, lo que aumenta el precio de las placas;
- Cuando la demanda descendente es insuficiente y el inventario se acumula, los precios de las placas caerán con retraso.

#### 2. Tipo estructural: diferenciación de precios entre paneles de alta gama y paneles estándar

- Las placas delgadas, de alta densidad y de alta pureza, y las placas personalizadas de tamaño pequeño fluctúan más y se ven más afectadas por el consumo de mano de obra y energía;
- Los paneles estándar tienen fuertes economías de escala y precios relativamente estables, lo que hace que sea fácil que se conviertan en precios de referencia de la industria.

#### 3. Regional: Los distintos países tienen diferentes mecanismos de transmisión de precios.

- China utiliza principalmente un sistema de precios basado en costos, y los precios se ven fuertemente afectados por el vínculo entre APT y la energía;
- Las empresas europeas y estadounidenses tienden a adoptar acuerdos de suministro a largo plazo y precios funcionales (como los basados en la eficiencia de protección contra la radiación), lo que hace que las fluctuaciones de precios sean más "sordas".

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 5. Resumen y perspectivas de tendencias

El precio de las placas de aleación de tungsteno refleja una triple relación: **las materias primas desempeñan un papel fundamental, la energía, un papel sinérgico, y el mercado, un papel regulador**. Se prevé que, durante los próximos cinco años, con el endurecimiento de las estrategias globales de recursos de tungsteno y los precios persistentemente altos de la electricidad y el hidrógeno, los precios de las placas de tungsteno seguirán fluctuando dentro de un patrón de fluctuación de alto nivel y diferenciación estructural.

Los fabricantes de placas de aleación de tungsteno deben:

- Fortalecer las capacidades de compra, negociación y reserva de APT y polvo de tungsteno;
- Mejorar la eficiencia energética del proceso y la relación de automatización de los equipos;
- Evite riesgos de precios mediante precios funcionales y estrategias de productos diferenciadas.

Sólo de esta manera podremos lograr ganancias estables y mejorar la resistencia al riesgo del mercado en un entorno energético y de recursos volátil.

### 9.5 Barreras técnicas y estrategia de desarrollo en profundidad de la cadena industrial

Como materiales funcionales metálicos de alta gama, las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en protección nuclear, aeroespacial, equipos médicos, electrónica de precisión, fabricación a alta temperatura y otros campos con requisitos extremadamente altos de rendimiento, precisión, consistencia y fiabilidad. Por lo tanto, existen importantes barreras técnicas y de entrada en este campo. Al mismo tiempo, la cadena industrial global se está expandiendo hacia la alta precisión, la personalización y la ecologización, lo que plantea mayores desafíos para las capacidades de coordinación integrada de las etapas upstream, midstream y downstream.

Esta sección analizará las barreras clave y los planes de respuesta estratégicos de la industria de placas de aleación de tungsteno desde las perspectivas de los umbrales técnicos, las dificultades del proceso central, los mecanismos de coordinación ascendente y descendente, los cuellos de botella de sustitución nacional y los caminos de desarrollo en profundidad.

### 1. Análisis de las principales barreras técnicas de las placas de aleación de tungsteno

Las placas de aleación de tungsteno involucran múltiples disciplinas interdisciplinarias, como la metalurgia, la ingeniería térmica, la ciencia de los materiales y la ingeniería de superficies. Sus barreras técnicas se reflejan principalmente en los siguientes aspectos:

#### 1. Tecnología de control de pureza de la materia prima y polvo.

- La producción de placas de aleación de tungsteno de alto rendimiento debe basarse en APT de alta pureza y las impurezas (como Mo, Si, P, O, C) deben controlarse a nivel de ppm;
- La distribución del tamaño de las partículas de polvo debe controlarse con precisión dentro del rango de 1 a 10  $\mu\text{m}$ . Los diferentes tamaños de partícula tienen un impacto

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

significativo en la velocidad de densificación, la densidad de sinterización y la uniformidad de la organización.

- El control de la actividad del polvo (como el contenido de oxígeno de la superficie) está directamente relacionado con la ductilidad de la lámina y el control de la contracción por sinterización.

## 2. Tecnología de sinterización y densificación

- Los equipos de sinterización isostática de alta temperatura y alta presión son costosos y complejos de controlar;
- El control de la atmósfera protectora de hidrógeno requiere un ajuste preciso del potencial de oxígeno, el caudal y la distribución del campo térmico;
- En el caso de placas con formas especiales y placas de tamaño extra grande, existen problemas como la dificultad para controlar la deformación por sinterización y el riesgo de agrietamiento por tensión.

## 3. Proceso de laminado de placas y tratamiento térmico

- La aleación de tungsteno produce una ventana de laminado en caliente muy estrecha, que es propensa a defectos como grietas en los bordes, deformaciones y granos gruesos;
- El laminado en frío debe combinarse con un recocido intermedio para evitar que la concentración de tensiones provoque grietas;
- El control preciso del espesor de la lámina, la planitud y la tolerancia (dentro de  $\pm 0,02$  mm) es imprescindible para los mercados de alto valor añadido, como los paneles médicos.

## 4. Tratamiento de superficies y control de la función compuesta

- Oxidación a alta temperatura, control de rugosidad de la superficie y altos requisitos de adhesión para galvanoplastia/recubrimiento;
- Los paneles con clasificación funcional y las tecnologías de paneles compuestos multicapa todavía están en la etapa piloto y aún no se han comercializado a gran escala;
- La regulación de la actividad de la superficie (hidrofílica/hidrofóbica, resistencia a la radiación) todavía depende de materiales de membrana importados de alto rendimiento.

## 2. Los principales cuellos de botella en la cadena de la industria de placas de aleación de tungsteno

### 1. El fenómeno del cuello de botella en el eslabón de la materia prima

- La producción de APT de alta pureza y polvo de tungsteno de alta actividad todavía está concentrada en unas pocas empresas líderes, y la pureza y estabilidad de las materias primas tienen un gran impacto en el rendimiento de los productos posteriores;
- Los metales aglutinantes (como Ni, Re y Mo) en su mayoría son importados o dependen de la fundición en lotes pequeños, son sensibles a los precios y tienen cadenas de suministro frágiles.

### 2. Los equipos avanzados dependen de las importaciones

- La mayoría de los equipos de proceso clave, como hornos de sinterización al vacío de alta temperatura, laminadores de precisión, sistemas de PVD de plasma y equipos de pruebas no destructivas por TC, dependen de importaciones de Europa, Estados Unidos, Japón y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Corea del Sur, y presentan problemas como largos ciclos de mantenimiento de equipos, confidencialidad técnica y altos costos de actualización.

### 3. Sistema de control de calidad imperfecto

- Los clientes de alto nivel (energía nuclear, industria militar y médica) tienen requisitos extremadamente altos en cuanto a consistencia y estabilidad de lote a lote, pero los sistemas de calidad de algunas empresas nacionales no los cumplen;
- Hay una falta de plataformas de pruebas no destructivas estandarizadas y de sistemas de simulación física de alta precisión.

### 3. Comparación internacional: brecha tecnológica y dirección de avance

proyecto	Europa, América, Japón y Corea del Sur (empresas representativas)	Situación actual en China (Empresas representativas)	Dirección de la brecha
Pureza de la placa y uniformidad del tejido	Plansee, Tosoh, Hitachi	CTIA GROUP LTDFabricación	Controlar la consistencia del tamaño de las partículas y la densificación de la sinterización
Paneles estructurales compuestos e integración funcional	Toshiba, MolyWorks	La mayoría de ellos son proyectos experimentales o militares.	Recubrimiento PVD, tecnología FGM
Sistema de inspección y prueba de precisión	GE, Bruker, Zeiss	Dependencia de algunas importaciones	Equipos CT/NDT de alta gama
Sistema de Certificación de Calidad Militar/Nuclear	Perfecto (AS9100, MIL-SPEC, ISO13485)	Acelerando el progreso	La mayoría aún se encuentran en la etapa de emparejamiento y conversión.

### 4. Sugerencias para la estrategia de desarrollo en profundidad de la cadena industrial de placas de aleación de tungsteno

#### 1. Ampliación upstream: Construcción de autosuficiencia en polvo de tungsteno de alta pureza y metales aglutinantes de alta gama

- Promover la integración de las capacidades de procesamiento profundo de los recursos de tungsteno y mejorar las capacidades de refinación de APT y de reducción en múltiples etapas;
- Apoyar la construcción de líneas de producción nacionales de materiales de microaleaciones de metales raros y preciosos (como Re y Ta);
- Construir un sistema de producción completo para polvo de aleación a base de tungsteno para lograr un control integrado del tamaño de partícula/pureza/fluidez.

#### 2. Avance intermedio: tecnología de producción inteligente y desarrollo independiente de equipos clave

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Introducción de un sistema de control inteligente para lograr una regulación de circuito cerrado del sinterizado-laminado-trabajo en frío-tratamiento térmico;
- Superar el problema de la sustitución doméstica de los hornos de prensado isostático/sinterización al vacío y promover la integración digital de los equipos;
- Construir una plataforma de "pruebas colaborativas con el cliente + piloto a nivel de línea de producción" para acelerar la verificación de la producción por lotes de nuevos materiales.

### **3. Colaboración posterior: desarrollo de paneles funcionales e innovación conjunta con los usuarios finales**

- Integrar profundamente empresas de electrónica, energía nuclear y equipos médicos, y desarrollar productos personalizados centrados en "integración de rendimiento + reducción de peso estructural + combinación precisa";
- Desarrollar capacidades de entrega integradas, desde materias primas hasta placas de aleación de tungsteno y dispositivos semiacabados o unidades de ensamblaje;
- Promover el sistema de trazabilidad digital de la calidad y establecer la capacidad de rastrear todo el ciclo de vida de los materiales, productos y aplicaciones.

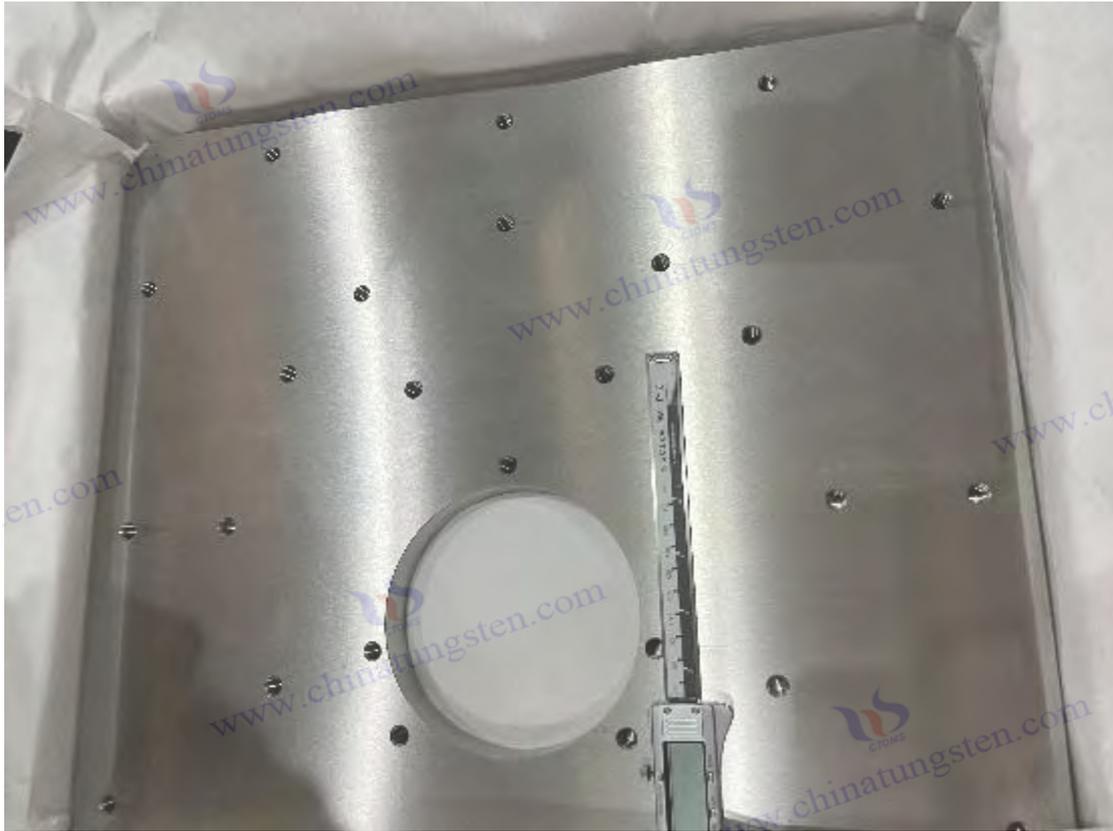
### **4. Sistema estándar y construcción de proyectos de talento**

- Formular normas técnicas y especificaciones de pruebas que cubran toda la cadena de estructuras de materiales compuestos de láminas de polvo;
- Construir un equipo de I+D compuesto que cubra la ciencia de los materiales de tungsteno, la ingeniería de superficies, la simulación física, etc.;
- Alentar a las universidades, institutos de investigación y empresas a construir conjuntamente el "Centro de Investigación de Tecnología de Fabricación Avanzada de Placas de Aleación de Tungsteno".

## **V. Resumen**

La industria de las placas de aleación de tungsteno debe transformarse de una industria basada en la ventaja de los recursos a una industria impulsada por la tecnología, superando barreras técnicas como las materias primas de alta pureza, la sinterización densa, los compuestos funcionales, la ingeniería de superficies y el procesamiento de precisión, y promoviendo la innovación colaborativa en toda la cadena industrial. Solo mediante una profunda integración de la cadena industrial, la introducción de sistemas de fabricación inteligentes y la mejora del sistema de estándares, se podrá consolidar la competitividad de la marca y la iniciativa estratégica de las placas de aleación de tungsteno "Hechas en China" en la feroz competencia del mercado global.

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



## Capítulo 10 Fronteras de la investigación y direcciones de desarrollo de las placas de aleación de tungsteno

### 10.1 Mecanismo de densificación de la placa de aleación de tungsteno de ultra alta densidad

Con la búsqueda intensiva de la densidad de materiales en los campos de la protección de la energía nuclear, la absorción de partículas de alta energía, el contrapeso inercial, los equipos médicos de alta precisión, etc., las placas de aleación de tungsteno de densidad ultraalta (densidad  $\geq 18,5 \text{ g/cm}^3$ ) se están convirtiendo en un nuevo foco de investigación de materiales de tungsteno. El tungsteno en sí mismo tiene una densidad intrínseca extremadamente alta ( $19,25 \text{ g/cm}^3$ ), pero en el proceso de aleación y conformado de la placa, la densidad del producto final suele ser inferior al valor teórico debido a factores como la porosidad organizativa, las inclusiones de impurezas o una relación de metal de unión irrazonable. Lograr **la densificación máxima (densificación casi completa)** de las placas de aleación de tungsteno es uno de los principales obstáculos en la aplicación industrial de placas de tungsteno de alta gama.

Esta sección discutirá sistemáticamente el mecanismo microscópico, los factores influyentes, los métodos principales y los últimos avances de la investigación sobre la densificación de placas de aleación de tungsteno.

#### 1. Principios básicos y definiciones de la densificación

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La densificación se refiere al proceso de eliminación de poros entre partículas y reducción de la distancia entre átomos mediante calentamiento y presurización durante el proceso de conformado por pulvimetalurgia, mejorando así la densidad de volumen y la integridad estructural del material. La densidad relativa es un indicador importante para medir la calidad de la placa de aleación de tungsteno. El método de cálculo es el siguiente:

$$\text{Densidad (\%)} = \text{densidad real} / \text{densidad teórica} \times 100\%$$

En las placas de aleación de tungsteno, la densidad teórica depende de la relación entre el tungsteno y el metal de enlace (como Ni, Cu), mientras que la densidad real se ve afectada por factores como la morfología de las partículas, la contracción por sinterización y los poros residuales.

## 2. Mecanismo microscópico del proceso de densificación

### 1. Reorganización de partículas de polvo y optimización del contacto.

Durante el proceso de prensado, los espacios entre las partículas se minimizan mediante moldeo o prensado isostático, se optimiza el ángulo de contacto entre las partículas y se forma un marco estructural preliminar.

### 2. Difusión superficial y formación del cuello

Al comienzo del calentamiento, se produce una difusión en la superficie de la partícula para formar un "cuello de sinterización", y los átomos migran a lo largo de la superficie hacia el área de baja energía, encogiendo los poros.

### 3. Enlace entre partículas y difusión en masa

En la etapa de alta temperatura, se produce la difusión del límite de grano y la difusión a granel, los poros se encogen, se forman enlaces intermetálicos entre partículas y se establece gradualmente una estructura densa.

### 4. Cierre y contracción de poros

En la etapa de sinterización posterior, los poros cerrados difunden el gas hacia el exterior, los microporos se contraen, la organización se vuelve homogénea y se forma una microestructura cercana a la densidad teórica.

## 3. Factores clave que afectan la densificación

### 1. Características del polvo

- **Distribución del tamaño de partícula** : el polvo fino es más propicio para una alta densificación, pero se oxida fácilmente; el polvo grueso reduce la actividad de sinterización;
- **Morfología y estructura** : El polvo esférico tiene buena fluidez, lo que favorece el prensado y la formación y una densidad uniforme;
- **Contenido de oxígeno e impurezas** : Un alto nivel de oxígeno formará residuos de  $WO_3$ , lo que dificultará la densificación y afectará la estabilidad del tejido.

### 2. Relación de fases del aglutinante

- Metales como Ni y Cu como fases de enlace pueden mejorar significativamente la densidad y la plasticidad, pero una proporción demasiado alta reducirá la densidad final;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La relación óptima requiere un diseño equilibrado entre la resistencia, la ductilidad y la densidad del tablero.

### 3. Presión y métodos de supresión

- Se puede obtener una buena densidad inicial controlando la presión de moldeo a 150~300 MPa;
- El prensado isostático (CIP) puede eliminar eficazmente la direccionalidad de formación y mejorar la consistencia de la densidad.

### 4. Temperatura y atmósfera de sinterización

- La placa de aleación de tungsteno es de 1350 ~ 1550 ° C y debe realizarse en un entorno de vacío o hidrógeno de alta pureza;
- El tiempo de sinterización afecta el cierre de los poros y la uniformidad de la microestructura.

### 5. Posprocesamiento

- El prensado isostático en caliente (HIP) mejora aún más la tasa de densificación después de la sinterización;
- El laminado intermedio + recocido ayuda a eliminar los microporos y mejorar la densidad del grano.

## 4. Principales vías técnicas para mejorar el nivel de densificación

Trayectoria técnica	Ventajas	Puntos clave
<b>CIP</b>	Presión uniforme y alta tolerancia a la complejidad de la forma.	Molde de alta resistencia + tecnología precisa de envasado de polvo
<b>Sinterización en fase líquida</b>	Agregue un metal de unión de bajo punto de fusión para ayudar a la difusión.	Control de la relación de metales de enlace + optimización de la ventana de temperatura
<b>Prensado isostático en caliente (HIP)</b>	Elimina los microporos residuales y mejora la uniformidad microscópica.	Control de ambiente de alta temperatura y alta presión + diseño de cavidad hermética
<b>Homogeneización de nanopulvos + ultrafino</b>	Aumentar la tasa de difusión y mejorar la eficiencia de formación del cuello.	Control de nanoaglomeración + tratamiento superficial para inhibir la oxidación
<b>Laminación en frío múltiple + recocido intermedio</b>	Reduce la porosidad y mejora la densidad de la textura.	Tasa de deformación controlada + liberación de tensión residual
<b>Refusión por láser/refusión por electroescoria y otros procesos nuevos</b>	Densificación de superficies + remodelación de microestructura	Uniformidad de entrada de calor + control del grano de la superficie

## 5. Últimas investigaciones y direcciones futuras

### 1. Modelado de sinterización multiescala

El método de elementos finitos (FEM), la dinámica molecular (MD), la simulación de campo de fase (Fase-Campo) y otras tecnologías se utilizan para simular la evolución de los poros y la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

trayectoria de conducción de tensiones durante el proceso de sinterización de placas de aleación de tungsteno y optimizar la trayectoria de densificación.

## 2. Tecnología de consolidación rápida (como SPS)

La sinterización por plasma de chispa tiene las ventajas de un alto efecto térmico y una alta tasa de compresión, y puede alcanzar una densidad cercana a la teórica en poco tiempo, lo que es adecuado para la preparación rápida y la selección experimental de placas de tungsteno.

## 3. Desarrollo de paneles estructurales compuestos de alta densidad

Desarrollar una estructura de densidad de gradiente, una placa de aleación de tungsteno tipo sándwich (alta densidad en el medio, tenacidad en la superficie) o una placa recubierta para lograr un equilibrio de múltiples propiedades.

## 4. Investigación sobre la trayectoria del proceso de alta densificación + baja deformación

Mediante la combinación de presinterización de temperatura media-baja y alta presión con recocido al vacío secundario, sinterización a presión auxiliar y otros procesos compuestos, se resuelve la contradicción entre la densidad ultra alta y la estabilidad de la deformación, lo que es adecuado para la preparación de placas de área ultra grande.

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno no solo son clave para mejorar su resistencia estructural, resistencia a la radiación y propiedades de gestión térmica, sino que también representan la principal competitividad de la tecnología de procesamiento de aleaciones de tungsteno. En el futuro, la investigación exhaustiva sobre el mecanismo de densificación seguirá impulsando avances tecnológicos en áreas clave como el control de las propiedades del polvo, los modelos físicos de sinterización y los procesos de prensado de compuestos, lo que permitirá una aplicación más amplia de las placas de aleación de tungsteno en entornos extremos y equipos de alta gama.

### 10.2 Fabricación aditiva y placa de aleación de tungsteno inteligente

A medida que la industria manufacturera evoluciona del procesamiento por lotes tradicional a la digitalización, la personalización y la inteligencia, la tecnología de fabricación aditiva (FA) se está incorporando gradualmente a los sistemas de materiales de alto rendimiento, incluidas las aleaciones de tungsteno. En particular, para componentes de placas de aleación de tungsteno con estructuras complejas, requisitos personalizados y un alto rendimiento, la FA ofrece una nueva vía para superar las limitaciones de los procesos convencionales. Además, con el desarrollo de la Industria 4.0, los sistemas de fabricación inteligente que integran detección inteligente, desarrollo basado en datos y control de bucle cerrado están estableciendo el paradigma de producción de próxima generación para las placas de aleación de tungsteno.

Esta sección discutirá sistemáticamente los cambios disruptivos provocados por la inteligencia y la fabricación aditiva en el campo de las placas de aleación de tungsteno desde los aspectos de los principios de la tecnología de fabricación aditiva, la adaptabilidad de las placas de aleación de tungsteno, la integración del sistema de fabricación inteligente y sus perspectivas industriales.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1. Potencial de aplicación de la tecnología de fabricación aditiva en placas de aleación de tungsteno

### 1. Introducción a la fabricación aditiva

La fabricación aditiva es un proceso de fabricación **capa por capa** que construye una estructura tridimensional según un modelo digital mediante láser, haz de electrones, inyección, deposición fundida, etc. Es adecuado para la fabricación de láminas metálicas, carcasas complejas, estructuras de cavidades internas y piezas funcionales integradas.

### 2. Desafíos y avances de la fabricación aditiva en aleaciones de tungsteno

El alto punto de fusión de la aleación de tungsteno (>3400 °C), la alta conductividad térmica y la baja plasticidad generan los siguientes desafíos en la tecnología AM tradicional:

- Es probable que se produzcan grietas y la deformación y deformación son graves;
- El haz láser/electrónico tiene alta reflectividad y baja tasa de absorción de energía;
- El polvo es difícil de esferoidizar y tiene poca fluidez.

Sin embargo, con la madurez de las siguientes tecnologías, AM ha logrado avances en la preparación de placas de aleación de tungsteno:

- **Fusión por haz de electrones (EBM)** : funde el polvo de tungsteno en el vacío para reducir la oxidación y la formación de grietas;
- **Deposición de energía dirigida (DED): adecuada para la reparación** y el conformado casi neto de placas de aleación de tungsteno de gran tamaño;
- **Fusión de lecho de polvo láser (LPBF)**: Excelente densidad (>98%) en la preparación de pequeñas piezas de tungsteno de alta densidad;
- **Revestimiento de plasma** : realiza el compuesto de una capa de tungsteno funcionalmente graduada y un sustrato.

## 2. Ventajas de la fabricación aditiva para mejorar el rendimiento de las placas de aleación de tungsteno

Limitaciones de los procesos tradicionales	La fabricación aditiva supone un gran avance
Es difícil controlar la consistencia del espesor de la placa.	Se puede imprimir en capas, con un control preciso del grosor y la textura.
Las estructuras complejas son difíciles de procesar	Se pueden construir estructuras porosas y cavidades funcionales al mismo tiempo.
Alta tasa de desperdicio de material	Forma casi neta, alta tasa de utilización del material (hasta el 90%)
El diseño del molde de ciclo largo depende de	Elimine los pasos del molde e itere rápidamente los prototipos
La uniformidad de los ingredientes es difícil de controlar.	Se pueden lograr ingredientes personalizados y construcción de composiciones de gradientes.

estructuras funcionales como **canales de conducción de calor, capas de microestructura y sistemas de enfriamiento** en la placa para lograr la evolución de "integración estructura-función" de las placas de aleación de tungsteno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3. Tendencia de integración de la fabricación inteligente en la producción de placas de aleación de tungsteno.

#### 1. Sistema de control de calidad basado en datos

El proceso de sinterización/laminado se controla a través de la monitorización de sensores (campo de temperatura, potencia del láser, morfología del baño fundido) y la retroalimentación del modelo gemelo digital, lo que mejora significativamente la consistencia de fabricación de las placas de tungsteno.

#### 2. Optimizar de forma autónoma los procesos de fabricación

parámetros aditivos (trayectoria de escaneo, potencia del láser), etc. basados en datos históricos y algoritmos de autoaprendizaje para lograr una fabricación adaptativa.

#### 3. Integración de líneas de producción y unidades de fabricación flexibles

A través de la integración de los sistemas MES (sistema de ejecución de fabricación), ERP y CAM, hemos construido una línea de producción de fabricación inteligente de proceso completo de "polvo de tungsteno → placa de tungsteno → componentes de precisión" para satisfacer las necesidades de pedidos de lotes pequeños, alta variedad y alta precisión.

#### 4. Diseño de materiales e identificación de defectos impulsados por IA

- Utilice **algoritmos de aprendizaje automático** para predecir el impacto de la formulación de la aleación en el rendimiento y acelerar el ciclo de diseño del material;
- Utilice modelos de reconocimiento de imágenes para analizar imágenes metalográficas o de TC para lograr una detección rápida y no destructiva de defectos como microfisuras e inclusiones.

### 4. Principales obstáculos técnicos y contramedidas para la fabricación aditiva de placas de aleación de tungsteno

Dificultades técnicas	Análisis de causa	Ruta de respuesta
Polvo difícil de preparar	Los metales con alto punto de fusión no son fáciles de atomizar y tienen poca esfericidad.	Se desarrolló un equipo de atomización de gas inerte y esferoidización de plasma.
Es probable que se produzcan grietas y la tensión térmica es grande.	Gran gradiente de temperatura alta + baja ductilidad	Estrategia de escaneo optimizada + tratamiento térmico + nanoaleación
Deformación de la placa difícil de controlar	La tasa de contracción del material es grande y la capa de formación es delgada.	Aplicar estructuras de soporte, optimizar las rutas de escaneo e imprimir con paneles sándwich
La consistencia del producto AM es inestable	Variación del lote de polvo + ventana de proceso estrecha	Presentamos un sistema de monitoreo en línea + retroalimentación de datos de circuito cerrado
Falta de estándares y métodos de prueba	La industria de placas de aleación de tungsteno AM aún se encuentra en las primeras etapas de desarrollo.	Promover la formulación de normas relacionadas con ISO/ASTM + construcción de bases de datos de procesos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 5. Tendencias futuras y direcciones fronterizas

### 1. Fabricación híbrida: laminación tradicional + reconstrucción aditiva

Al laminar la matriz de placa grande, AM construye áreas locales funcionales para lograr la unidad de resistencia estructural y requisitos funcionales.

### 2. Fabricación colaborativa de múltiples materiales

La alimentación de polvo sincrónica por láser se utiliza para fabricar placas de tungsteno compuestas multifuncionales, como **tungsteno-cobre** y **tungsteno-cerámica**, que pueden adaptarse a cargas complejas y condiciones de trabajo extremas.

### 3. Gemelos digitales e ingeniería genética de materiales

Al integrar la base de datos de parámetros de fabricación aditiva, el big data de desempeño organizacional y el modelo de predicción de desempeño, se construye un circuito cerrado de control inteligente de ciclo completo de placas de aleación de tungsteno con el concepto de “diseño-fabricación-rendimiento”.

### 4. Diseño de polvo de tungsteno para fabricación aditiva.

El desarrollo de polvo de aleación de tungsteno de alta esfericidad, alta fluidez y bajo contenido de oxígeno específicamente para la fabricación aditiva mejorará en gran medida la consistencia del producto y la calidad de conformado.

## VI. Resumen

La fabricación aditiva y la fabricación inteligente se están convirtiendo en los motores clave de la transformación y modernización de la industria de las placas de aleación de tungsteno. No solo amplían los límites de la complejidad estructural de las placas y la integración del rendimiento, sino que también promueven un avance significativo en la eficiencia de la producción, el aprovechamiento de los materiales y las capacidades de fabricación personalizada. Con la profunda integración de láseres, sistemas de control, algoritmos de IA y pulvimetalurgia, surgirá en el futuro una nueva generación de placas de aleación de tungsteno de alto rendimiento, personalizables y con control inteligente, que satisfarán plenamente las múltiples demandas de materiales ligeros, precisos, resistentes e inteligentes en los sectores de la energía nuclear, los equipos de alta gama, la industria aeroespacial y otros.

### 10.3 Integración y expansión de aplicaciones de paneles compuestos multifuncionales

En el contexto del desarrollo de la fabricación de alta gama, equipos para entornos extremos y dispositivos funcionales de acoplamiento multicampo, las placas metálicas de rendimiento único ya no pueden satisfacer las diversas y sistemáticas necesidades de ingeniería. Las **\*\*placas compuestas multifuncionales a base de tungsteno\*\***, como una nueva generación de materiales estructurales de ingeniería, están impulsando la evolución de las placas de aleación de tungsteno de "soporte estructural" a "estructura + función" mediante el diseño estructural, la ingeniería de interfaces y la integración funcional.

Esta sección explorará en profundidad los tipos, mecanismos de conexión de interfaz, métodos de preparación y potencial de expansión de los paneles compuestos multifuncionales en diferentes

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

escenarios de aplicación, y analizará los desafíos técnicos actuales y las tendencias de desarrollo futuras.

### 1. Tipos y conceptos de diseño de paneles compuestos multifuncionales

Múltiples propiedades funcionales, como calor, fuerza, electricidad, magnetismo y protección radiológica, se presentan en una matriz de aleación de tungsteno mediante diseño estructural o introducción de materiales. Sus categorías básicas incluyen:

tipo	Estructura de la composición	Características principales
Placa compuesta de tungsteno y cobre (W-Cu)	Matriz de tungsteno + red/capa intermedia de cobre	Alta conductividad térmica, baja expansión térmica, anticorrosión, antiarco.
Placa compuesta de acero y tungsteno (W-SS)	Matriz de tungsteno + base/superficie de acero inoxidable	Combinación fuerte y resistente, resistencia al impacto, buena maquinabilidad.
Placa compuesta de tungsteno-cerámica (W-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , etc.)	Tungsteno + partículas/recubrimiento cerámico	Antidesgaste, anticorrosión, resistencia a la oxidación a alta temperatura.
Laminados de resina compuesta/polímero de tungsteno	Capa de tungsteno + capa de polímero reforzado con fibra de carbono	Ligero, protege contra interferencias electromagnéticas, mejora la absorción de impactos y las capacidades de absorción de energía.
Materiales clasificados funcionalmente (FGM)	Cambios en la composición o microestructura a lo largo del gradiente de espesor	Alivio de tensiones, equilibrio de tensiones térmicas, integración funcional multicapa

Este tipo de estructura compuesta es ampliamente necesaria en dispositivos de fusión nuclear, elementos de control térmico de plasma, radiadores de aviación, cubiertas protectoras, etc.

### 2. Mecanismo de unión de la interfaz y factores clave de control de las placas compuestas de aleación de tungsteno

El rendimiento de las placas compuestas depende de la calidad de la interfaz entre los diferentes materiales. Debido a las diferencias en los coeficientes de expansión térmica y la capacidad de difusión atómica entre la aleación de tungsteno y otros materiales (como el cobre, el acero y la cerámica), es probable que se produzcan concentraciones de tensiones interfaciales, delaminación y microfisuras. Por lo tanto, es esencial reforzar la unión metalúrgica mediante la ingeniería de interfaces.

#### 1. Método de unión de interfaz

- **Tipo de mordida mecánica** : mejora la fricción de la interfaz a través de una superficie rugosa;
- **Enlace por difusión intermetálica** : la interdifusión atómica en condiciones de calentamiento forma una capa de transición;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Enlace por difusión de reacción (como la capa intermedia de Ti, Cr)** : introducción de elementos activos entre el tungsteno y otros metales para formar compuestos intermetálicos para mejorar la fuerza de unión;
- **Revestimiento metalúrgico de superficie** : se forma localmente una capa de transición mediante fusión por láser/arco para lograr la conexión metalúrgica entre las capas.

## 2. Factores influyentes clave

- **Coincidencia térmica**: los coeficientes de expansión térmica de los dos materiales son cercanos, lo que reduce la fatiga térmica;
- **Actividad interfacial**: formación de una capa de reacción interfacial benigna en lugar de una interfase frágil;
- **Métodos de pretratamiento**: incluyen eliminación de película de óxido, tratamiento de desbaste y recubrimiento de capa de aleación;
- **Ruta del proceso**: La secuencia de prensado, la atmósfera de sinterización y la curva de temperatura deben coordinarse.

## 3. Principales métodos de preparación de placas compuestas a base de tungsteno

Proceso de preparación	de	Introducción al principio	Características de la aplicación
<b>Método de composición por explosión (EXW)</b>		La onda de choque de la explosión impulsa a los metales a colisionar a alta velocidad para lograr la unión metalúrgica.	Alta resistencia de unión entre capas, adecuada para revestimientos de áreas grandes de placas de acero de tungsteno y cobre de tungsteno.
<b>Proceso de prensado isostático en caliente (HIP) para materiales compuestos</b>		Prensado de polvo y unión por difusión a alta temperatura y alta presión	Alta densidad, adecuado para la fusión de polvos heterogéneos y estructuras de rejilla.
<b>Método de laminado en caliente de compuestos</b>		Los materiales compuestos multicapa se calientan y se laminan para formar enlaces metalúrgicos.	Aplicable a compuestos de capas de gradiente de múltiples metales, fuerte uniformidad de control.
<b>Revestimiento láser/deposición direccional</b>		-deposición in situ de capas funcionales o capas intermedias de amortiguación sobre la superficie de la placa de tungsteno	El espesor se puede controlar con precisión, lo que resulta adecuado para la fabricación personalizada de lotes pequeños de componentes de alto rendimiento.
<b>Spray frío</b>		El gas portador de alta velocidad empuja el micropolvo para que golpee el sustrato y forme un enlace mecánico.	Proceso suave, adecuado para sistemas compuestos sensibles al calor (como tungsteno + polímero)
<b>Adhesivo/revestimiento + compuesto sinterizado</b>		Subcontratación/integración de una variedad de materiales, mejorando la densidad general y la resistencia de unión mediante sinterización al vacío	Proceso flexible, adecuado para formas complejas o paneles compuestos microestructurados.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4. Expansión típica de la aplicación de placas compuestas de tungsteno multifuncionales

##### 1. Protección de la industria nuclear y componentes estructurales

- la primera estructura de pared en dispositivos de fusión nuclear;
- Las placas compuestas de tungsteno y cobre se utilizan para **componentes térmicos revestidos de plasma en reactores de fusión** y tienen una excelente conductividad térmica y resistencia a la ablación.

##### 2. Aeroespacial

- Las placas compuestas de alta conductividad térmica W-Cu se utilizan en radiadores de satélites y sistemas de propulsión de naves espaciales;
- Las estructuras de placas de tungsteno con gradación funcional exhiben ventajas de absorción de energía de múltiples capas en armaduras anti-micrometeoros/anti-impacto.

##### 3. Campo de equipos médicos

- Las placas compuestas de tungsteno-polímero se utilizan en estructuras de blindaje ligeras y ajustables para **dispositivos de radioterapia**;
- Las placas de tungsteno compuestas se utilizan para la supresión de dispersión y la mejora de la imagen en equipos SPECT/PET de alta resolución.

##### 4. Industria de alta temperatura e ingeniería de control térmico

- Las placas compuestas de cerámica y tungsteno se utilizan ampliamente en capas reflectantes de hornos de vacío, piezas estructurales de campos térmicos de alta temperatura y revestimientos para el crecimiento de cristales;
- Las placas compuestas de microcanales se utilizan para una rápida transferencia de calor en equipos de láser y haz de electrones.

#### V. Desafíos actuales y futuras direcciones de desarrollo

Preguntas clave	Desafíos correspondientes	Soluciones potenciales
Desajuste térmico de materiales diferentes	Desunión de la interfaz, grietas por fatiga térmica	Introducir la capa de transición de gradiente y la estructura del búfer de diseño
Los parámetros del proceso compuesto son difíciles de estandarizar	Cada sistema compuesto debe ajustarse de forma independiente	Avanzando en la construcción de bases de datos y modelado termodinámico de interfaces
La calidad de la interfaz compuesta es difícil de monitorear	Las microfisuras e inclusiones internas son difíciles de detectar de forma no destructiva.	Presentación de tecnologías de reconocimiento de defectos mediante TC, ultrasonido de matriz en fase e inteligencia artificial
Alto costo y preparación compleja	Las aplicaciones de alta gama son limitadas	Producción modular + fabricación de precisión + conformado de equipos por lotes
Ciclo largo de verificación de la confiabilidad de la aplicación	Especialmente en escenarios con altos requisitos de confiabilidad como la energía nuclear y la industria aeroespacial.	Establecer un sistema experimental de simulación del comportamiento del servicio y adaptabilidad ambiental a largo plazo

#### VI. Resumen

Las placas compuestas multifuncionales de aleación de tungsteno representan un avance clave en la expansión de los materiales de tungsteno, desde soporte estructural hasta aplicaciones de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

acoplamiento multicampo. Mediante el diseño compuesto y el control de interfaz, las placas de aleación de tungsteno pueden combinar múltiples propiedades, como resistencia mecánica, conductividad térmica, resistencia a la radiación y resistencia a la corrosión, cumpliendo con los requisitos de rendimiento integrales en entornos complejos. En el futuro, con el avance de la simulación de materiales, la fabricación aditiva y las plataformas de procesos de alto rendimiento, las placas compuestas multifuncionales de tungsteno serán útiles para una amplia gama de industrias estratégicas, como defensa, energía, aeroespacial, salud y electrónica, con una combinación de rendimiento superior, mayor confiabilidad y procesos de fabricación más flexibles.

#### **10.4 Estudio sobre la evolución del rendimiento del servicio en entornos extremos (irradiación, alta temperatura, corrosión)**

Las placas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en **entornos de servicio extremos**, como la energía nuclear, la industria aeroespacial, los sistemas de control térmico y la protección militar, gracias a su alto punto de fusión, alta densidad, baja presión de vapor y excelente estabilidad térmica. Sin embargo, en condiciones de trabajo rigurosas, como radiación intensa, alta alternancia de temperaturas y atmósferas altamente corrosivas (como gases halógenos, sales fundidas y plasma), su rendimiento puede experimentar cambios complejos, como la evolución organizativa, la atenuación del rendimiento y la degradación de la interfaz. Por lo tanto, la investigación exhaustiva del comportamiento de servicio de las placas de aleación de tungsteno en entornos extremos es fundamental para mejorar su fiabilidad a largo plazo y su aplicabilidad en ingeniería.

Esta sección analizará sistemáticamente el efecto de la radiación, la respuesta a la carga térmica de alta temperatura, el mecanismo de degradación en entornos corrosivos y los métodos de diseño y evaluación específicos para construir una "imagen panorámica de la evolución del rendimiento" de las placas de aleación de tungsteno en condiciones extremas.

#### **1. Cambios microestructurales y efectos mecánicos en entornos de fuerte irradiación.**

##### **1. Fuentes de radiación y niveles de energía típicos**

- Irradiación de neutrones (reactores de fusión/fisión nuclear):  $>10^{18}$  n/cm<sup>2</sup> ;
- Implantación de iones (He<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Fe<sup>+</sup>): puede simular daños por desplazamiento y efectos de burbujas;
- Rayos gamma/rayos X: simulan los efectos térmicos y de ionización de la radiación.

##### **2. Evolución de la microestructura**

- **Bucles de dislocación y agregación de vacantes** : formación de defectos de irradiación a escala nanométrica, reduciendo la ductilidad;
- **Formación de burbujas y agregación** : precipitación en los límites de grano o segundas fases, causando fácilmente fragilización y desconchado;
- **Segregación inducida por irradiación** : enriquecimiento local de elementos de aleación como Ni y Fe, cambiando la energía del límite del grano;

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

- **Refinamiento y reorganización del grano** : se puede inducir un comportamiento de nano-recristalización bajo irradiación a largo plazo.

### 3. Degradación del rendimiento macro

- Reduce el alargamiento y la tenacidad al impacto y aumenta la sensibilidad a la fractura frágil;
- El módulo elástico y la conductividad térmica disminuyen;
- La vida útil por fatiga térmica se acorta y el modo de falla cambia de falla plástica a fractura frágil.

## 2. Degradación del rendimiento y evolución organizacional en condiciones de servicio de alta temperatura

Las placas de aleación de tungsteno funcionan a temperaturas superiores a 1000 °C y se enfrentan a fenómenos inducidos por altas temperaturas, como engrosamiento del grano, degradación de la interfaz y migración de elementos, que afectan su estabilidad estructural y conductividad térmica.

### 1. Mecanismo microscópico de alta temperatura

- **Crecimiento del grano** : impulsado por la energía superficial, especialmente en sistemas de tungsteno puro o de aleación con energía de límite de grano débil;
- **Redistribución de elementos** : los elementos de aleación (como Ni y Cu) se segregan o evaporan a altas temperaturas;
- **Transformación de disolución/precipitación de segunda fase** : afecta la dureza y el comportamiento de fluencia;
- **Crecimiento de huecos y grietas** : los microhuecos provocados por el estrés térmico evolucionan hasta convertirse en microgrietas y finalmente fallan.

### 2. Degradación de las propiedades mecánicas a alta temperatura.

- El límite elástico disminuye (la temperatura de iniciación de la fluencia disminuye);
- La velocidad de fluencia aumenta y la vida útil de la fluencia se acorta;
- Los ciclos de fatiga térmica provocan deslizamiento de los límites de grano y delaminación interlaminar.

### 3. Comportamiento de acoplamiento de carga térmica

- Los ciclos de calor y frío de alta frecuencia aceleran la fractura de la interfaz;
- El gradiente térmico induce la migración de componentes y la acumulación de tensión interna;
- Es necesario considerar la tolerancia al choque térmico bajo pulsos transitorios de alta temperatura (como el retorno de naves espaciales y la descarga de pulsos de dispositivos de fusión).

## 3. Rutas de fallo y estrategias de protección en entornos corrosivos

La aleación de tungsteno puede enfrentar serios riesgos de corrosión en ciertos medios, especialmente en entornos **como gas halógeno, vapor de agua a alta temperatura, sal fundida ácida y electrolitos.**

### 1. Tipo y medio de corrosión

- **Corrosión en fase gaseosa** ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ): provoca la formación y desprendimiento de la capa de óxido;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Corrosión por sales fundidas** (NaCl- KCl, LiF-BeF<sub>2</sub>): penetra los límites de grano y forma una capa frágil;
- **Corrosión electroquímica**: especialmente en componentes electrónicos médicos, electrodos y otras aplicaciones, el sistema tungsteno-Cu es más sensible;
- **Corrosión por plasma**: la alta temperatura excita las partículas y las hace bombardear la superficie, provocando ablación y desorción atómica.

## 2. Mecanismo de falla por corrosión

- La disolución anódica local o la oxidación de los límites del grano provocan el desprendimiento del grano;
- Una vez que se rompe la película de pasivación de la superficie, la corrosión se intensifica;
- El proceso de oxidación-reducción alternada debilita la densidad de la superficie;
- Cuando se combina con alta temperatura/irradiación, la tasa de corrosión aumenta significativamente.

## 3. Medidas de protección

- **Recubrimiento de superficie** (CrN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC): proporciona protección de pasivación a alta temperatura;
- **Optimización de elementos de aleación**: introducir elementos anticorrosivos (Re, Ta, Mo) para mejorar la resistencia a la oxidación de la solución sólida;
- **Diseño de estructura compuesta**: uso de placas compuestas W-SS/W-Cu para inhibir la expansión de la capa de corrosión;
- **Proceso de densificación de superficies**: se utilizan revestimiento láser, PVD, etc. para reducir la porosidad de la superficie.

## 4. Avances en los métodos de prueba y la investigación de simulación en entornos extremos

### 1. Plataforma de pruebas de vida acelerada y simulación

- Utilizar equipos de irradiación externa del reactor y de implantación de iones para simular el entorno nuclear;
- La mesa de calentamiento de ciclo de alta frecuencia y el dispositivo de choque térmico transitorio simulan cargas térmicas aeroespaciales;
- La cámara de pulverización de sal a alta temperatura, la cámara de corrosión electroquímica y la cámara de pulverización de ácido fluorhídrico simulan entornos de corrosión industrial.

### 2. Estudio de simulación de acoplamiento de múltiples campos

- Establecer un modelo numérico multcampo de calor-mecánica-irradiación-corrosión para predecir la evolución del desempeño;
- Utilice el **método de campo de fase, dinámica molecular, Monte Carlo**, etc. para simular el comportamiento del límite de grano;
- Combinando la mecánica de fracturas y la teoría de la fatiga, se construye un modelo de predicción de vida.

### 3. Monitoreo en línea y evaluación de daños

- Interferómetro láser para medir la deformación;
- Termografía infrarroja para evaluar gradientes térmicos;

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Ensayos no destructivos (ecografía, rayos X) para monitorizar la evolución del daño interno;
- El reconocimiento de imágenes mediante inteligencia artificial se utiliza para rastrear microfisuras y cuantificar la progresión de la corrosión.

## V. Dirección de desarrollo futuro y estrategias de respuesta de ingeniería

Dirección de desarrollo	Importancia de la ingeniería
Construcción de bases de datos de servicios extremos	Proporcionar una base de datos para la selección de materiales y la predicción de la vida útil.
Sistema inteligente de percepción y control de retroalimentación	Formar un sistema de monitoreo de daños en tiempo real y autoajuste del rendimiento para mejorar la seguridad de los materiales en servicio.
Desarrollo de estructuras compuestas multifuncionales	Integre resistencia a la corrosión, resistencia a la radiación, resistencia al choque térmico y otras capacidades para mejorar el rendimiento del servicio en entornos extremos.
Método de diseño de vida útil de alta confiabilidad para la fusión/aeroespacial	Cumplir con los estrictos requisitos de vida útil de la placa de tungsteno para proyectos estratégicos como ITER, exploración espacial y propulsión a temperaturas ultra altas.

## VI. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno en entornos extremos, como alta irradiación, altos gradientes de temperatura y corrosión intensa, están controladas por complejos mecanismos microscópicos. Su estabilidad estructural y las leyes de evolución del rendimiento determinan directamente su fiabilidad ingenieril. Un profundo conocimiento de los cambios microestructurales inducidos por la irradiación, la evolución del grano y los mecanismos de daño en la interfaz a altas temperaturas, así como las rutas de fallo en entornos corrosivos, permite orientar el desarrollo de nuevos sistemas de materiales y el diseño de nuevas estructuras. En el futuro, debemos fortalecer la integración interdisciplinaria, el modelado numérico y la vinculación entre la verificación en campo y las placas de aleación de tungsteno para impulsar el desarrollo de "materiales estructurales adaptables a entornos extremos" en las placas de aleación de tungsteno.

### 10.5 Materiales alternativos de alto rendimiento y futuras estrategias sostenibles para placas de tungsteno

A medida que la industria global evoluciona hacia un peso más ligero, un mayor rendimiento y una mayor protección ambiental, las placas de aleación de tungsteno ofrecen ventajas únicas, como una densidad, un punto de fusión y una protección radiológica extremadamente altos. Sin embargo, su alto coste, la escasez de recursos, la dificultad de procesamiento y la sensibilidad ambiental también limitan sus aplicaciones a gran escala. Para lograr la equivalencia funcional o la sustitución parcial, y al mismo tiempo reducir la dependencia de los recursos de tungsteno, la comunidad científica de materiales explora activamente diversos **sistemas de materiales**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**alternativos de alto rendimiento** y considera el **desarrollo sostenible** de las propias placas de tungsteno.

En esta sección se analizarán los cuatro aspectos de la ruta de sustitución de materiales, la tecnología de fabricación ecológica, el sistema de reciclaje y la estrategia sostenible de la industria, y se propondrán soluciones viables para que las placas de aleación de tungsteno sigan manteniendo su competitividad en la futura fabricación de alta gama.

### 1. Dirección de desarrollo de materiales alternativos funcionales de alto rendimiento

Aunque las placas de aleación de tungsteno son difíciles de reemplazar por completo en muchas situaciones, ya existen varios sistemas de materiales con un rendimiento competitivo y ventajas de costo en algunas aplicaciones. Los principales tipos alternativos incluyen:

#### 1. Sistema de material metálico de alto punto de fusión.

- **Placa de aleación de molibdeno (Mo, TZM)** : densidad ligeramente menor ( $10,2 \text{ g/cm}^3$ ), buena conductividad térmica, mejor procesabilidad que el tungsteno, adecuada para entornos de campo caliente;
- **Aleaciones a base de hafnio y niobio** : excelente resistencia a altas temperaturas, pero poca resistencia a la corrosión;
- **Materiales a base de renio** : tienen una excelente estabilidad en entornos de temperaturas ultra altas ( $>2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ), pero son extremadamente caros y solo se utilizan en dispositivos aeroespaciales especiales.

#### 2. Materiales compuestos de alta densidad

- **Placa compuesta de polímero de tungsteno (polímero W)** : fabricada en placa protectora liviana mediante moldeo por inyección o unión, adecuada para escenarios médicos y de protección radiológica;
- **Placa compuesta funcional W-Cu** : Combinando alta densidad y alta conductividad térmica, es adecuada para la disipación de calor de naves espaciales y la gestión térmica de dispositivos electrónicos;
- **Placas compuestas de óxido de tierras raras y metal (como Gd-W,  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-W}$ )** : mejoran la capacidad de absorción de radiación y mejoran la resistencia al choque térmico.

#### 3. Cerámicas y compuestos de matriz cerámica

- **Placas cerámicas reforzadas con carburo de silicio (SiC) y nitruro de boro (BN)** : tienen excelente resistencia a la oxidación a alta temperatura y propiedades dieléctricas y se pueden utilizar para protección de control térmico;
- **Compuestos intermetálicos (como TiAl,  $\text{MoSi}_2$ )**: ligeros, buena resistencia a altas temperaturas, pero conductividad térmica limitada.

#### 4. Nuevos materiales funcionalmente graduados (FGM)

Al cambiar gradualmente la composición o estructura a lo largo de la dirección del espesor, se puede lograr la regulación del estrés térmico y el alivio del estrés de la interfaz, reemplazando parcialmente la estructura de la placa de tungsteno multicapa y teniendo una mejor capacidad de ajuste de ingeniería.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Estrategia de fabricación sostenible de placas de aleación de tungsteno

Además del reemplazo, la placa de tungsteno en sí necesita ser optimizada sistemáticamente en torno al "ahorro de energía, reducción del consumo y reducción de carbono", manteniendo al mismo tiempo sus ventajas de alto rendimiento.

### 1. Tecnología de metalurgia de polvos verdes

- Desarrollar auxiliares de sinterización de alta densidad y baja temperatura;
- Utilice esferoidización de plasma, molienda de bolas de alta energía y otros métodos para mejorar la tasa de rendimiento;
- Reducir la proporción de gas inerte utilizado en la sinterización atmosférica y promover la reducción de hidrógeno limpio.

### 2. Tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D)

- Las piezas estructurales de tungsteno con configuraciones complejas se fabrican a pedido mediante deposición de energía dirigida por láser (DED) y fusión por haz de electrones (EBM) para reducir el desperdicio de material;
- Mejore eficazmente la eficiencia de fabricación de placas de aleación de tungsteno personalizadas o de lotes pequeños.

### 3. Tratamiento de superficies de ahorro energético y tecnología compuesta

- Utilice la deposición de película fina verde como PVD y CVD para reemplazar la galvanoplastia;
- Utilice métodos de tratamiento no térmico, como modificación de superficie con láser, pulverización en frío, pulverización de plasma, etc., para reducir el consumo de energía;
- Promover la estructura compuesta de sustrato renovable y capa superficial de tungsteno para mejorar la relación costo/rendimiento general.

## 3. Reciclaje y reutilización de placas de aleación de tungsteno

El tungsteno es un metal estratégico clave a nivel nacional, y su recuperación y reciclaje se han convertido en el eslabón central del desarrollo sostenible de la industria.

### 1. Métodos de reciclaje de placas de tungsteno

- Los desechos industriales se reciclan directamente o se reprocessan mecánicamente;
- Extraer polvo de metal de tungsteno de dispositivos desechados y preparar nuevas placas de aleación;
- Se quita el revestimiento de la superficie y luego se prensa/sinteriza para formar una lámina secundaria.

### 2. Cadena de procesos de remanufactura y “residuo cero”

- Para abordar el problema de degradación del rendimiento durante la regeneración de placas de tungsteno, se introdujo la regulación de microaleaciones;
- Restauración de la integridad cristalina del tungsteno mediante tecnología de tratamiento térmico/lisis de plasma;
- Promover el proyecto piloto de reciclaje de placas de aleación de tungsteno en equipos nucleares y militares retirados.

### 3. Establecimiento de normas nacionales e internacionales de reciclaje

- Establecer un sistema de certificación para el reciclaje de materiales a base de tungsteno (como GRS, ISO 14021);

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Promover la ampliación de las responsabilidades del “reciclaje verde” en áreas de uso clave como los equipos médicos y de aviación;
- Utilice plataformas de blockchain y big data para rastrear todo el ciclo de vida de los materiales de tungsteno.

#### 4. Baja carbonización y perspectivas estratégicas de las placas de aleación de tungsteno en el futuro.

Camino de desarrollo sostenible	Objetivos clave	Implementaciones potenciales
<b>Reducir la huella de carbono y las emisiones totales</b>	Cumplir con las limitaciones de la política global de pico de carbono/neutralidad de carbono	Utilizar electricidad verde para la fundición, introducir tecnología baja en carbono e integrar un mecanismo de comercio de carbono en la cadena industrial
<b>Abrir el “ciclo verde cerrado” de la cadena industrial</b>	Construir un ciclo completo de recursos → productos → reciclaje → regeneración	Establecer estándares industriales, apoyar plataformas de reciclaje y establecer cuotas de reciclaje.
<b>Desarrollo de paneles funcionales personalizados para fabricación de alta gama</b>	Satisfacer las nuevas demandas de integración estructural-funcional en entornos de servicio extremos	Promover la fabricación transfronteriza de compuestos "tungsteno +", placas estructurales modulares y aditiva multifuncional.
<b>Diversificación, seguridad y estabilidad de las cadenas de suministro globales</b>	Reducir la dependencia de un único recurso/origen	Desarrollar recursos en el extranjero y construir líneas de producción de refinación local + fabricación inteligente

#### V. Resumen

Las placas de aleación de tungsteno siguen ocupando un lugar insustituible en la fabricación de alta gama. Sin embargo, ante la nueva situación de escasez global de recursos, requisitos ambientales más estrictos y un progreso tecnológico acelerado, la exploración de materiales alternativos, la optimización de los procesos de fabricación de placas de tungsteno y la promoción del reciclaje y la fabricación ecológica serán la única vía para lograr un desarrollo sostenible a largo plazo. El futuro de las placas de aleación de tungsteno ya no se basa en la competencia de un solo material, sino en una competencia integral de "sistema de materiales + sistema de procesos + trayectoria industrial". Solo si se continúa trabajando con ahínco en la sostenibilidad, las bajas emisiones de carbono, el alto rendimiento y la inteligencia, las placas de tungsteno podrán seguir desempeñando un papel importante en el futuro sistema de fabricación.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Un apéndice

### Apéndice 1: Parámetros físicos y mecánicos comunes de las placas de aleación de tungsteno

Nombre del proyecto	unidad	Placa de tungsteno puro (W)	Placa de aleación W-Ni-Fe	Placa de aleación W-Ni-Cu	Tablero compuesto W-Cu
Densidad teórica	g/cm <sup>3</sup>	19.25	17,0~18,5	17.0~18.2	14,5~17,0
Punto de fusión	°C	3410	3300~3400	3200~3400	~3000 (aproximadamente)
Calor específico (temperatura normal)	J/(kg·K)	134	140~160	140~160	170~180
Conductividad térmica (25°C)	W/(m·K)	170~180	70~110	80~120	180~220
Coefficiente de expansión térmica	10 <sup>-6</sup> /K	4,5~5,0	5.0~8.0	6.0~8.5	6,5~10,0
Resistividad (20°C)	μΩ·cm	5.4~5.7	15~35	20~40	2~4
resistencia a la tracción	MPa	700~1000	700~1000	600~900	400~600
Fuerza de fluencia	MPa	600~850	600~900	550~850	300~500
Alargamiento	%	<3	10~30	10~30	5~15
Dureza Brinell (HB)	-	>300	200~300	180~280	120~220
Dureza Shore (HRB)	-	>100 (HRC aproximado)	80~95	75~90	60~85
Resistencia a la corrosión (en atmósfera de temperatura normal)	-	excelente	bien	bien	generalmente
magnético	-	ninguno	tener	Bajas propiedades magnéticas (algunas las tienen)	ninguno
Rendimiento de protección contra la radiación (rayos gamma)	d=10 mm tasa de bloqueo	>85%	>80%	>80%	>75%

#### ilustrar:

- Placa de tungsteno puro (W): presenta la mayor densidad, punto de fusión y dureza, y se utiliza a menudo en condiciones de trabajo extremas, como el control térmico de altas temperaturas y la protección radiológica. Su desventaja es su dificultad de procesamiento y su fragilidad.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Placa de aleación W-Ni-Fe: es un representante de las aleaciones de alta densidad, tiene buena tenacidad mecánica y densidad equilibrada, y se usa ampliamente en piezas inerciales y placas protectoras;
- Placa de aleación W-Ni-Cu: tiene buena conductividad térmica y no es magnética, adecuada para blindaje electromagnético y contrapeso de alta densidad;
- Placa compuesta W-Cu: tiene las ventajas de conductividad térmica, conductividad eléctrica y densidad, y se utiliza a menudo en estructuras de gestión térmica electrónica y soportes de componentes de microondas.

**Apéndice 2: Tabla comparativa de grados de aleación de tungsteno y composiciones químicas**

Código de marca/estándar	País/Estándar	Tipo de aleación	Principales componentes químicos (fracción de masa, %)	Características
W1 (ASTM B760)	ASTM	Tungsteno puro	$W \geq 99,95$	Lámina de tungsteno de alta pureza, utilizada para campos térmicos, dispositivos de vacío, etc.
W-3Ni-7Fe (aleación pesada de tungsteno)	Nomenclatura industrial común	Aleación W-Ni-Fe	$W \approx 90, Ni \approx 3, Fe \approx 7$	Aleación de tungsteno de alta densidad, con resistencia estructural y tenacidad.
W-7Ni-3Cu	Nomenclatura industrial común	Aleación W-Ni-Cu	$W \approx 90, Ni \approx 7, Cu \approx 3$	Aleación de tungsteno no magnética, adecuada para campos de electrónica y protección.
WCu75 (o WCu25)	Nomenclatura industrial común	Material compuesto de cobre y tungsteno	$W \approx 75, Cu \approx 25$	Placa de cobre de tungsteno de alta conductividad térmica para disipación de calor y estructura de puesta a tierra.
YW1 (YS/T 798)	Normas de la industria no ferrosa de China	Hierro níquel tungsteno	$W \geq 90, Ni:Fe \approx 7:3$	Grado general para componentes inerciales militares y placas de contrapeso
YW2 (YS/T 798)	Normas de la industria no ferrosa de China	Sistema tungsteno-níquel-cobre	$W \geq 90, Ni:Cu \approx 7:3$	Lámina no magnética de alta gravedad específica, utilizada en tratamientos médicos, instrumentos, etc.
G26F (MIL-T-21 014)	Estándar militar estadounidense MIL	Aleación W-Ni-Fe	$W \approx 90, Ni \approx 6, Fe \approx 4$	Aleación de tungsteno estándar militar, proyectil perforante, compartimento de cola de misil, etc.
W90NiFe (ISO 3767)	Normas internacionales ISO	Aleación W-Ni-Fe	$W \approx 90, Ni + Fe \approx 10$	Descripción estándar de aleaciones generales de alta densidad
K20W (DIN EN)	Normas alemanas DIN/EN	Compuestos de W-Cu	$W \approx 80, Cu \approx 20$	tungsteno de alta conductividad, estándar europeo, adecuada para dispositivos de control térmico.
WL10 (dopado con)	Utilizado internacionalmente	Tungsteno dopado	$W \geq 98,5, La_2O_3 \approx 1,0 \sim 1,2$	El material de tungsteno dopado con lantano mejora la estabilidad térmica y la resistencia al

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

tungsteno puro)	(ASTM/ISO)			agrietamiento.
WD100 (marca de la empresa)	CTIA GROUP LTD (código interno)	Placa de tungsteno microaleado	$W \geq 92$ , total de elementos de microaleación como Ni, Re, Ta $\leq 5$	Aleación de desarrollo propio, teniendo en cuenta la resistencia, la resistencia a la radiación y la conductividad térmica.
TCW6025	marca corporativa japonesa	Aleación de W-Cu	$W \approx 60$ , Cu $\approx 40$	Adecuado para componentes de microondas, placas disipadoras de calor, etc.
WC20 (para electrodos)	ISO 6848	Tungsteno dopado	$W \geq 98$ , CeO <sub>2</sub> $\approx 2,0$	El tungsteno dopado se utiliza generalmente para electrodos de soldadura, pero algunas placas también lo utilizan.

**ilustrar:**

- Las placas de aleación de tungsteno de la serie W-Ni-Fe / W-Ni-Cu son los tipos de aleación de tungsteno de alta gravedad específica más utilizados;
- La serie WCu se utiliza principalmente para estructuras conductoras térmicas y eléctricas, como encapsulados electrónicos y módulos de disipación de calor;
- **\*\*El dopaje con tungsteno (como La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>)\*\*** puede mejorar la tenacidad al choque térmico y, al mismo tiempo, mantener la resistencia a altas temperaturas;
- Aunque los estándares de los distintos países son ligeramente diferentes, se pueden comparar e identificar a través del intervalo de componentes y la lógica de la marca;
- Las marcas propias de la empresa (como la serie CTIA GROUP LTDWD) generalmente se personalizan y se utilizan para satisfacer escenarios de demanda especiales.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Apéndice 3: Documentos estándar y materiales de referencia principales de placas de aleación de tungsteno

### 1. Normas nacionales y reglamentaciones de la industria

1. La norma nacional GB/T 18928-2017 para las condiciones técnicas de las placas de tungsteno y aleación de tungsteno especifica los requisitos técnicos, los métodos de prueba y las reglas de inspección para las placas de tungsteno y aleación de tungsteno.
2. Las especificaciones técnicas de las varillas de aleación de tungsteno YS/T 798-2012 son un estándar de la industria de metales no ferrosos que cubre la composición, las propiedades y los métodos de prueba de los materiales de aleación de tungsteno.
3. Especificación técnica para placas de aleación de tungsteno de alta densidad para plantas de energía nuclear Estandariza los requisitos de materiales y los estándares de aplicación de las placas de aleación de tungsteno para la industria de la energía nuclear.
4. El estándar empresarial de placas de aleación de tungsteno Q/ZW 001-2020 CTIA GROUP LTD es un estándar interno de la empresa que cubre el diseño, la fabricación y el control de calidad de las placas de aleación de tungsteno.

### II. Normas y estándares internacionales

1. ASTM B760-17 Especificación estándar para placas de tungsteno y aleación de tungsteno Norma de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, que especifica en detalle las propiedades y los métodos de prueba de las placas de tungsteno y aleación de tungsteno.
2. La norma ISO 3767-1:2017 Tungsteno y aleaciones de tungsteno — Parte 1: Placas y láminas fue publicada por la Organización Internacional de Normalización y cubre la clasificación y los requisitos técnicos de las placas de aleación de tungsteno.
3. Especificación militar MIL-T-21014D: Placa, barra y varilla de aleación pesada de tungsteno Estándar militar de EE. UU. para uso militar y control de calidad de aleaciones pesadas de tungsteno.
4. EN 1654-1:2018 Metales pesados y aleaciones de alta densidad. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Productos de aleación pesada de tungsteno. Es una norma europea que cubre las condiciones de suministro y las especificaciones de prueba para aleaciones de tungsteno.

### 3. Libros y documentos técnicos importantes

1. "Manual técnico de tungsteno y aleaciones de tungsteno", Metallurgical Industry Press, 2020 Presenta de manera exhaustiva las propiedades físicas, los procesos de fabricación y las tecnologías de aplicación del tungsteno y las aleaciones de tungsteno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Tungsteno y aleaciones de tungsteno, Manual de metales, Volumen 2, ASM International, 1990.  
Manual de metales de autoridad internacional, conceptos básicos de materiales de aleación de tungsteno y análisis de rendimiento.
3. “Desarrollo y aplicación de aleaciones pesadas de tungsteno en la industria aeroespacial”, Journal of Materials Science, 2018  
, detalla los últimos avances en investigación y desarrollo de aleaciones pesadas de tungsteno en el campo aeroespacial.
4. Estudio de caso sobre tecnología de metalurgia de polvos de aleación de tungsteno y aplicación industrial, número 5, 2019.

#### IV. Literatura típica sobre patentes

1. La invención divulga un método para preparar una placa de aleación de tungsteno con alta densificación,  
y se refiere a una tecnología de preparación de placas de aleación de tungsteno de un nuevo proceso de pulvimetalurgia.
2. US9876543B2 Lámina de aleación de tungsteno con conductividad térmica mejorada  
Diseño de material compuesto con conductividad térmica mejorada de lámina de aleación de tungsteno.
3. Método de recubrimiento EP3456789A1 para placas de aleación de tungsteno  
Tecnología de recubrimiento de superficies y tratamiento antidesgaste de placas de aleación de tungsteno.

#### 5. Conferencias académicas e informes de la industria

1. La Conferencia Internacional de Tungsteno  
reúne las últimas tecnologías y tendencias de la industria en el campo de los materiales de tungsteno.
2. Las actas de la reunión anual de la Rama de Tungsteno y Molibdeno de la Sociedad de Metales No Ferrosos de China  
se centraron en el progreso tecnológico y el análisis del mercado de las aleaciones de tungsteno de China.
3. "Informe de análisis de tendencias del mercado de placas de aleación de tungsteno", informe de la industria de CTIA GROUP LTD, 2024, detalla la producción y las ventas globales de placas de aleación de tungsteno y las tendencias futuras.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### Apéndice 4: Glosario de aleaciones de tungsteno y abreviaturas en inglés

Terminología (chino)	Terminología (Inglés)	Interpretación y explicación
Aleación de tungsteno	Aleación de tungsteno	con tungsteno como componente principal y metales añadidos como níquel, hierro y cobre.
Metalurgia de polvos	Metalurgia de polvos	El proceso de preparación de materiales metálicos mediante formación de polvo y sinterización.
sinterización	Sinterización	El proceso de densificación de partículas de polvo a altas temperaturas.
Prensado isostático	Prensado isostático	Una tecnología que utiliza presión uniforme para prensar el polvo y darle forma.
Tratamiento térmico	Tratamiento térmico	Un método para cambiar la estructura y las propiedades de los materiales mediante calentamiento, aislamiento y enfriamiento.
Microestructura	Microestructura	Las características estructurales internas de un material bajo un microscopio.
densidad	Densidad	Masa por unidad de volumen, generalmente expresada en g/cm <sup>3</sup> .
resistencia a la tracción	Resistencia a la tracción	La tensión máxima de un material bajo tensión.
Fuerza de fluencia	Fuerza de fluencia	La tensión a la que un material comienza a deformarse plásticamente.
Alargamiento	Alargamiento	La capacidad de un material para deformarse plásticamente antes de romperse, expresada como porcentaje.
dureza	Dureza	La capacidad de resistir la deformación local a menudo se mide utilizando indicadores como la dureza Brinell (HB) y la dureza Rockwell (HR).
Coefficiente de expansión térmica	Coefficiente de expansión térmica	La velocidad a la que un material se expande en respuesta a un cambio de temperatura.
Conductividad térmica	Conductividad térmica	La capacidad de un material para transferir calor, medida en W/(m·K).
Resistividad	Resistividad eléctrica	La resistencia actual de un material, medida en $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ .
Resistencia a la corrosión	Resistencia a la corrosión	La capacidad de un material para resistir la corrosión química o electroquímica.
blindaje contra rayos gamma	Blindaje contra rayos gamma	Capacidad de la aleación de tungsteno para absorber y bloquear rayos gamma de alta energía.
Pruebas no destructivas	Ensayos no destructivos (END)	Métodos de prueba que no destruyen la integridad del material, como pruebas ultrasónicas, de rayos X y de partículas magnéticas.
Tamaño de partícula	Tamaño de partícula	El tamaño de las partículas de polvo afecta la densificación y el rendimiento del material.
Degradación	Deposición física de	Deposición física de vapor, una tecnología de recubrimiento de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fotovoltaica	vapor	superficies.
Fabricación aditiva	Fabricación aditiva (FA)	La tecnología de fabricación de piezas mediante el apilamiento de materiales capa por capa se conoce comúnmente como impresión 3D.
AS9100	Gestión de la calidad aeroespacial	Normas de sistemas de gestión de calidad para la industria aeroespacial.
ISO 13485	Sistema de Calidad de Dispositivos Médicos	Normas del sistema de gestión de calidad de dispositivos médicos.
RoHS	Restricción de sustancias peligrosas	Directiva de la UE sobre la restricción del uso de determinadas sustancias peligrosas.
ALCANZAR	Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas	Reglamento de la UE sobre registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos.
Hoja de datos de seguridad (MSDS)	Hoja de datos de seguridad del material	Las hojas de datos de seguridad de materiales proporcionan información sobre el uso seguro de productos químicos.

**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

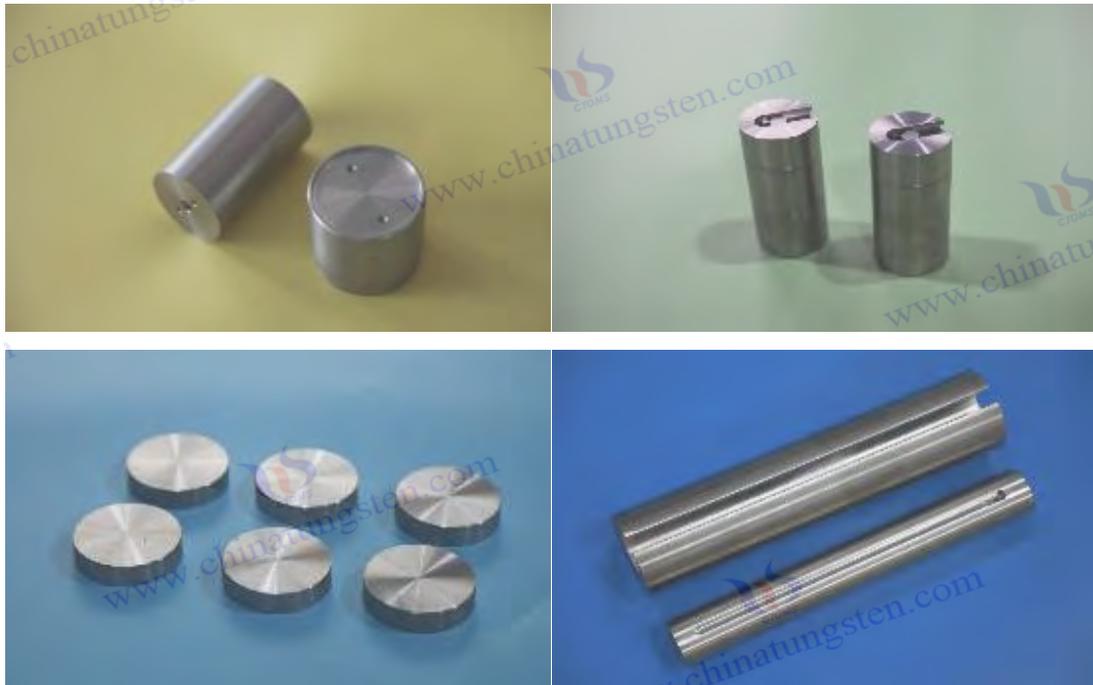
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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)