

## Qué es una oblea de aleación de tungsteno

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

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

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

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



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Tabla de contenido

### Capítulo 1 Conocimientos básicos de las obleas de aleación de tungsteno

- 1.1 Ventajas del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno
  - 1.1.1 Definición de disco de aleación de tungsteno
  - 1.1.2 Características de las obleas de aleación de tungsteno
- 1.2 Historia del desarrollo y evolución tecnológica de las obleas de aleación de tungsteno
  - 1.2.1 I+D temprana y aplicación inicial
  - 1.2.2 Avances en los procesos y mejoras de rendimiento
  - 1.2.3 Producción inteligente y aplicaciones diversificadas

### Capítulo 2 Sistema de clasificación de discos de aleación de tungsteno

- 2.1 Discos de aleación de tungsteno por composición
  - 2.1.1 Disco de aleación de tungsteno, níquel y hierro
  - 2.1.2 Disco de aleación de tungsteno, níquel y cobre
  - 2.1.3 Disco de aleación de tungsteno y cobre
  - 2.1.4 Disco de aleación de tungsteno y plata
- 2.2 Discos de aleación de tungsteno por tamaño
  - 2.2.1 Microdiscos (diámetro < 10 mm)
  - 2.2.2 Obleas convencionales ( $10 \text{ mm} \leq \text{Diámetro} \leq 100 \text{ mm}$ )
  - 2.2.3 Obleas grandes (diámetro > 100 mm)
- 2.3 Clasificación de los discos de aleación de tungsteno según su función de aplicación
  - 2.3.1 Discos funcionales de aleación de tungsteno
    - 2.3.1.1 Discos de aleación de tungsteno para protección contra la radiación
    - 2.3.1.2 Discos de aleación de tungsteno para conducción eléctrica
    - 2.3.1.3 Discos de aleación de tungsteno para conductividad térmica y disipación del calor
    - 2.3.1.4 Discos de aleación de tungsteno para resistencia al desgaste y la corrosión
  - 2.3.2 Discos de aleación de tungsteno estructural
    - 2.3.2.1 Discos de aleación de tungsteno para soporte estructural
    - 2.3.2.2 Discos de aleación de tungsteno para contrapesos
    - 2.3.2.3 Discos de aleación de tungsteno para conexión y fijación
    - 2.3.2.4 Discos de aleación de tungsteno para sellado y aislamiento

### Capítulo 3 Propiedades de los discos de aleación de tungsteno

- 3.1 Propiedades relacionadas con la densidad de los discos de aleación de tungsteno
  - 3.1.1 Rango de densidad
  - 3.1.2 Rendimiento de uniformidad de densidad
  - 3.1.3 Efecto de la densidad en la aplicación de discos de aleación de tungsteno
- 3.2 Resistencia a altas temperaturas de las obleas de aleación de tungsteno
  - 3.2.1 Punto de fusión
  - 3.2.2 Estabilidad en entornos de alta temperatura
  - 3.2.3 Resistencia al choque térmico

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3 Propiedades superficiales de las obleas de aleación de tungsteno
  - 3.3.1 Parámetros de rugosidad superficial
  - 3.3.2 Precisión de planitud
  - 3.3.3 Efecto del acabado superficial en el uso
- 3.4 Dureza y resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno
  - 3.4.1 Rango del índice de dureza
  - 3.4.2 Rendimiento de resistencia al desgaste
  - 3.4.3 Relación entre dureza y resistencia al desgaste
- 3.5 Resistencia y tenacidad de los discos de aleación de tungsteno
  - 3.5.1 Valor de resistencia a la tracción
  - 3.5.2 Rendimiento de resistencia a la flexión
  - 3.5.3 Índice de tenacidad al impacto
  - 3.5.4 Efecto de la resistencia en la aplicación de discos de aleación de tungsteno
  - 3.5.5 Efecto de la tenacidad en la aplicación de discos de aleación de tungsteno
- 3.6 Rendimiento de protección contra la radiación de los discos de aleación de tungsteno
  - 3.6.1 Efecto de protección contra los rayos gamma
  - 3.6.2 Capacidad de protección contra rayos X
  - 3.6.3 Relación entre el rendimiento del blindaje y el espesor
  - 3.6.4 Comparación con la eficacia del blindaje con plomo
- 3.7 Conductividad eléctrica y térmica de los discos de aleación de tungsteno
  - 3.7.1 Parámetros de conductividad
  - 3.7.2 Rango de conductividad térmica
  - 3.7.3 Correlación entre conductividad eléctrica y conductividad térmica
  - 3.7.4 Factores que afectan la conductividad eléctrica de los discos de aleación de tungsteno
  - 3.7.5 Factores que afectan la conductividad térmica de los discos de aleación de tungsteno
- 3.8 CTIA GROUP LTD Hoja de datos de seguridad de oblea de aleación de tungsteno

#### **Capítulo 4 Métodos de prueba de rendimiento de discos de aleación de tungsteno**

- 4.1 Método de prueba de densidad de disco de aleación de tungsteno
  - 4.1.1 Medición de densidad por método de drenaje
  - 4.1.2 Inspección radiográfica de la uniformidad de la densidad
  - 4.1.3 Verificación auxiliar del método de pesaje
- 4.2 Método de prueba para la resistencia a altas temperaturas del disco de aleación de tungsteno
  - 4.2.1 Medición del punto de fusión mediante análisis térmico diferencial
  - 4.2.2 Prueba de resistencia a altas temperaturas
  - 4.2.3 Método de prueba de choque térmico
- 4.3 Método de prueba de las propiedades de la superficie del disco de aleación de tungsteno
  - 4.3.1 Medición de la rugosidad de la superficie con un medidor de rugosidad
  - 4.3.2 Operación del instrumento de prueba de planitud
  - 4.3.3 Medidor de brillo para medir el acabado de la superficie
- 4.4 Métodos de prueba para dureza y resistencia al desgaste de discos de aleación de tungsteno
  - 4.4.1 Medición de dureza del durómetro Vickers

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

- 4.4.2 Prueba de resistencia al desgaste con un comprobador de desgaste
- 4.4.3 Prueba de análisis de correlación entre dureza y resistencia al desgaste
- 4.5 Métodos de prueba para determinar la resistencia y tenacidad de los discos de aleación de tungsteno
  - 4.5.1 Medición de la resistencia a la tracción utilizando una máquina de pruebas universal
  - 4.5.2 Prueba de flexión de tres puntos para medir la resistencia a la flexión
  - 4.5.3 Máquina de prueba de tenacidad al impacto
- 4.6 Método de prueba para el rendimiento de protección contra la radiación de discos de aleación de tungsteno
  - 4.6.1 Uso del dispositivo de detección de la eficacia del blindaje de rayos gamma
  - 4.6.2 Pasos de la prueba de tasa de atenuación de rayos X
  - 4.6.3 Comparación del rendimiento de blindaje de discos de aleación de tungsteno de diferentes espesores
- 4.7 Métodos de prueba de conductividad eléctrica y térmica
  - 4.7.1 Medición de la conductividad mediante el método FourProbe
  - 4.7.2 Medición de la conductividad térmica mediante el método del hilo caliente
  - 4.7.3 Prueba de correlación entre conductividad eléctrica y conductividad térmica

## Capítulo 5 Proceso de producción de discos de aleación de tungsteno

- 5.1 Selección de materia prima y pretratamiento de obleas de aleación de tungsteno
  - 5.1.1 Pureza y cribado del polvo de tungsteno
  - 5.1.2 Relación de composición del material y mezcla
- 5.2 Proceso de formación del disco de aleación de tungsteno
  - 5.2.1 Prensado de polvo
  - 5.2.2 Proceso de sinterización
- 5.3 Tecnología de procesamiento de obleas de aleación de tungsteno
  - 5.3.1 Corte y rectificado
  - 5.3.2 Tratamiento de superficies
- 5.4 Control de calidad e inspección de discos de aleación de tungsteno
  - 5.4.1 Monitoreo en línea del proceso de moldeo
  - 5.4.2 Inspección aleatoria de todos los elementos de rendimiento de los productos terminados

## Capítulo 6 Campos de aplicación de las obleas de aleación de tungsteno

- 6.1 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en equipos médicos
  - 6.1.1 Discos de protección contra la radiación para equipos de radioterapia
    - 6.1.1.1 Aplicaciones de blindaje en aceleradores lineales
    - 6.1.1.2 Diseño de blindaje local del equipo de bisturí de rayos gamma
    - 6.1.1.3 Disposición del blindaje en dispositivos de terapia de protones
  - 6.1.2 Discos de contrapeso para equipos de imágenes médicas
    - 6.1.2.1 Equilibrado de contrapesos de componentes rotatorios de máquinas CT
    - 6.1.2.2 Contrapesos estables para equipos de resonancia magnética
  - 6.1.3 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en equipos de medicina nuclear
    - 6.1.3.1 Blindaje de equipos de envasado de radiofármacos
    - 6.1.3.2 Componentes protectores de los instrumentos de radioinmunoensayo

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.2 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en electrónica y semiconductores
  - 6.2.1 Equipos de fabricación de chips Obleas conductoras térmicas
    - 6.2.1.1 Componentes conductores térmicos de los implantadores de iones
    - 6.2.1.2 Aplicación de obleas de disipación de calor en máquinas de fotolitografía
  - 6.2.2 Obleas de electrodos para dispositivos de alta frecuencia
    - 6.2.2.1 Estructura de electrodos de los dispositivos de comunicación por microondas
    - 6.2.2.2 Discos conductores para dispositivos de potencia de RF
  - 6.2.3 Aplicación de obleas de aleación de tungsteno en el encapsulado electrónico
    - 6.2.3.1 Disipador de calor del empaquetado del dispositivo de alta potencia
    - 6.2.3.2 Blindaje y embalaje de componentes electrónicos
- 6.3 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en la industria aeroespacial
  - 6.3.1 Discos de aleación de tungsteno para pesos de control de actitud de naves espaciales
    - 6.3.1.1 Contrapesos de ajuste de actitud del satélite
    - 6.3.1.2 Pesos de equilibrio para mecanismos de cambio de órbita de naves espaciales
  - 6.3.2 Discos de aleación de tungsteno resistentes a altas temperaturas para componentes del motor
    - 6.3.2.1 Piezas resistentes a altas temperaturas cerca de las boquillas de los motores de cohetes
    - 6.3.2.2 Obleas resistentes al calor para sistemas de propulsión de transbordadores espaciales

## Capítulo 7 Almacenamiento, transporte y normas de los discos de aleación de tungsteno

- 7.1 Requisitos de almacenamiento para discos de aleación de tungsteno
  - 7.1.1 Condiciones del entorno de almacenamiento (temperatura, humedad, etc.)
  - 7.1.2 Especificaciones de embalaje y apilamiento
- 7.2 Requisitos de transporte para discos de aleación de tungsteno
  - 7.2.1 Selección del método de transporte
  - 7.2.2 Medidas de protección durante el transporte
  - 7.2.3 Normas y etiquetas de seguridad para el transporte
- 7.3 Estándar de disco de aleación de tungsteno de China
- 7.4 Normas internacionales para discos de aleación de tungsteno
- 7.5 Estándares de discos de aleación de tungsteno en Europa, América, Japón, Corea del Sur, etc.

## Apéndice

Terminología de los discos de aleación de tungsteno

Referencias



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## CTIA GROUP LTD

### High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

#### 100,000+ customers

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

#### Service commitment

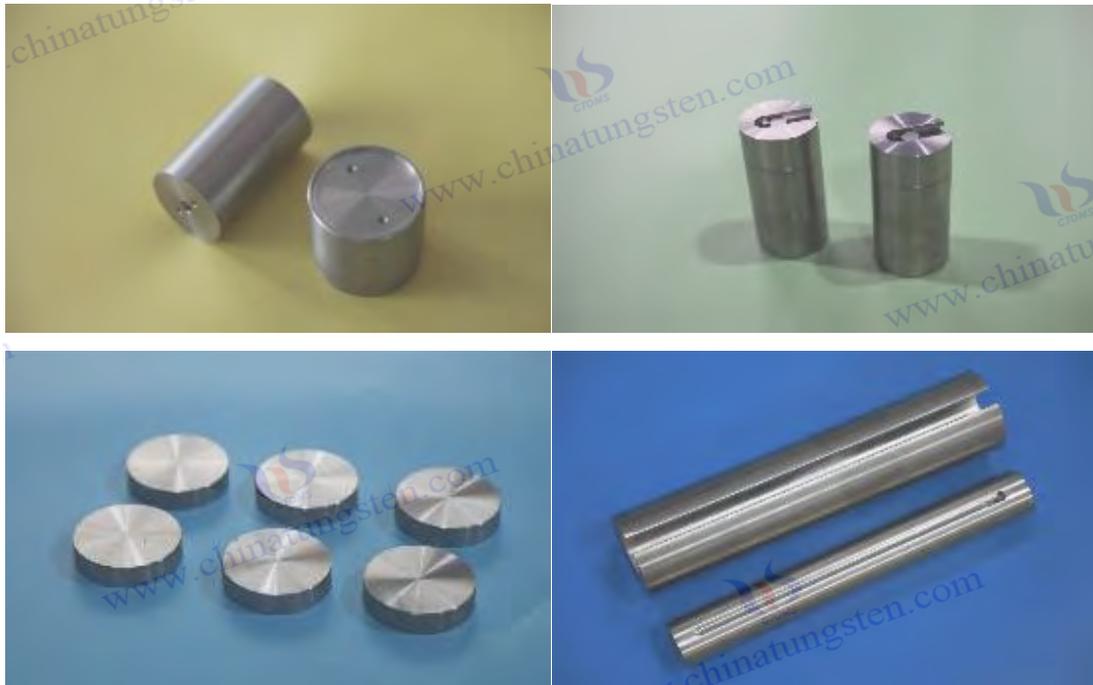
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

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

Tel: +86 592 5129696

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



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Capítulo 1 Conocimientos básicos de las obleas de aleación de tungsteno

de tungsteno desempeñan un papel fundamental en la industria y la tecnología modernas. Sus propiedades físicas y químicas únicas les permiten destacar en una amplia gama de aplicaciones, especialmente en aquellas que requieren alta densidad, resistencia a altas temperaturas o alta resistencia. El desarrollo y la aplicación de discos de aleación de tungsteno demuestran avances en la ciencia de los materiales. Mediante la aleación y el mecanizado de precisión, los discos de aleación de tungsteno pueden cumplir requisitos complejos manteniendo una excelente estabilidad de rendimiento.

tungsteno no se limitan a los sectores industriales tradicionales, sino que también se están expandiendo a tecnologías emergentes como las nuevas energías, los dispositivos médicos y la fabricación de precisión. Su versatilidad y capacidad de personalización les permiten adaptarse a las necesidades de diversos escenarios, lo que los convierte en un material clave para el avance tecnológico. Optimizar el proceso de fabricación y el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno es un área de investigación clave en la ciencia de los materiales. Gracias a las mejoras continuas en las formulaciones de aleación y las técnicas de procesamiento, se ha optimizado aún más el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno, ofreciendo una solución fiable para la industria moderna.

Además, la naturaleza ecológica de los discos de aleación de tungsteno los hace cruciales para el desarrollo sostenible. En comparación con algunos materiales tradicionales de alta densidad, los discos de aleación de tungsteno son no tóxicos, no radiactivos y reciclables, lo que satisface la demanda de materiales ecológicos de la industria moderna. Esta característica no solo reduce el impacto ambiental, sino que también ofrece a las empresas una opción de material de alto rendimiento que cumple con las normativas ambientales. En resumen, al ser un material versátil y de alto rendimiento, un conocimiento básico de los discos de aleación de tungsteno es crucial para comprender sus amplias aplicaciones industriales.

### 1.1 Definición y características del disco de aleación de tungsteno

de tungsteno son clave para comprender su valor en diversas aplicaciones. La sección de definición explicará la composición del material, las características de la forma y el proceso de fabricación de los discos de aleación de tungsteno, mientras que la sección de características analizará en profundidad sus propiedades físicas y químicas y cómo estas les confieren ventajas únicas en diversos escenarios.

#### 1.1.1 Definición de disco de aleación de tungsteno

Las obleas de aleación de tungsteno son láminas circulares y delgadas, compuestas principalmente de tungsteno, aleadas con otros elementos metálicos (como níquel, hierro y cobre) y procesadas mediante un proceso específico. Su definición va más allá de su geometría circular, abarcando sus propiedades físicas y químicas únicas, lo que les otorga un amplio potencial de aplicación en la industria y la tecnología. Como metal de alta densidad y alto punto de fusión, el tungsteno posee una excelente resistencia a altas temperaturas y dureza en su forma pura, pero su fragilidad y la dificultad de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

procesamiento también limitan su rendimiento. Mediante la aleación, las obleas de aleación de tungsteno conservan las ventajas principales del tungsteno, a la vez que mejoran significativamente su tenacidad y propiedades de procesamiento, lo que las hace aptas para una amplia gama de aplicaciones.

Los discos de aleación de tungsteno se fabrican típicamente mediante tecnología de pulvimetalurgia. Este proceso implica mezclar polvo de tungsteno de alta pureza con otros polvos metálicos en una proporción específica, prensarlo, moldearlo y sinterizarlo a altas temperaturas, lo que finalmente forma discos circulares con una microestructura uniforme y un rendimiento excelente. El diseño del disco permite una gran flexibilidad en aplicaciones prácticas. La estructura circular facilita el procesamiento y la instalación, cumpliendo con los requisitos de forma y tamaño de diversos equipos de precisión. Su espesor puede variar desde micras hasta varios milímetros, y su diámetro se puede personalizar según las aplicaciones específicas. Por ejemplo, se pueden requerir discos extremadamente delgados en instrumentos de precisión, mientras que discos más gruesos pueden ser necesarios para proporcionar suficiente masa y resistencia en equipos pesados.

de tungsteno también están estrechamente relacionados con su funcionalidad. Debido a su alta densidad, se utilizan a menudo como contrapesos o componentes de equilibrio, especialmente en equipos que requieren un control preciso de la distribución de masa, como equipos aeroespaciales o instrumentos de precisión. Además, su resistencia a altas temperaturas les permite mantener propiedades físicas estables en entornos de alta temperatura, lo cual es especialmente importante en tratamientos térmicos o procesos a alta temperatura. Los diferentes procesos de producción, como los ajustes de la temperatura de sinterización, la presión o las proporciones de la composición de la aleación, afectan directamente las propiedades de los discos, como la dureza, la tenacidad o la resistencia a la corrosión, lo que les permite satisfacer las necesidades de escenarios específicos.

Además, la definición de los discos de aleación de tungsteno también se refleja en su versatilidad. No solo es un material estructural, sino que sus propiedades físicas únicas también lo hacen adecuado para diversos componentes funcionales. Por ejemplo, en dispositivos médicos, los discos de aleación de tungsteno pueden utilizarse como materiales de blindaje para proteger componentes sensibles; en la fabricación industrial, su alta densidad y resistencia al desgaste los hacen ideales para componentes de moldes o herramientas. En resumen, la definición de los discos de aleación de tungsteno abarca su material, forma, proceso de fabricación y diversas propiedades funcionales, lo que los convierte en un material indispensable de alto rendimiento en la industria moderna.

### 1.1.2 Características de los discos de aleación de tungsteno

Los discos de aleación de tungsteno se distinguen de otros materiales por sus excepcionales propiedades físicas y químicas, lo que los convierte en la opción ideal para aplicaciones exigentes. Sus características únicas incluyen alta densidad, resistencia a altas temperaturas, excelentes propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y respeto al medio ambiente, lo que contribuye a sus ventajas únicas en la industria. En primer lugar, la alta densidad de los discos de aleación de tungsteno es una de sus características más destacadas. La densidad del tungsteno es similar a la del oro. Mediante la aleación,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se puede aumentar la densidad de los discos de aleación de tungsteno para satisfacer las necesidades de aplicaciones que requieren mayor peso o inercia. Por ejemplo, en instrumentos de precisión o equipos mecánicos, los discos de aleación de tungsteno pueden proporcionar un efecto de equilibrio estable gracias a su alta densidad, mejorando así la precisión operativa y la estabilidad del equipo. Esta alta densidad les confiere una ventaja insustituible en aplicaciones que requieren una distribución precisa de la masa.

En segundo lugar, los discos de aleación de tungsteno ofrecen una excepcional resistencia a altas temperaturas. Su punto de fusión extremadamente alto les permite mantener la integridad estructural y la estabilidad del rendimiento en entornos de temperaturas extremadamente altas. Esta característica es especialmente importante en la industria aeroespacial, equipos de tratamiento térmico o entornos de procesamiento a alta temperatura. Por ejemplo, en hornos de alta temperatura o equipos de procesamiento en caliente, los discos de aleación de tungsteno pueden soportar choques térmicos y exposición prolongada a altas temperaturas sin deformarse ni degradar su rendimiento.

de tungsteno también son una característica clave. Al alearlos con otros elementos metálicos (como níquel y hierro), mejoran significativamente su tenacidad, manteniendo una alta dureza, superando la fragilidad del tungsteno puro. Esta mejora proporciona una mayor fiabilidad al ser sometidos a esfuerzos mecánicos, vibraciones o impactos, lo que los hace ideales para entornos de trabajo de alta intensidad. Además, los discos de aleación de tungsteno presentan una excelente maquinabilidad y pueden moldearse en formas muy complejas mediante procesos como torneado, fresado o rectificado, manteniendo un excelente acabado superficial y precisión dimensional, cruciales en la fabricación de precisión.

La resistencia a la corrosión es otra ventaja importante de los discos de aleación de tungsteno. Mantienen propiedades químicas estables en entornos ácidos, alcalinos y otros entornos corrosivos, resistiendo la oxidación y la corrosión. Esta propiedad les otorga amplias posibilidades de aplicación en entornos especializados como la industria química y la ingeniería naval. Por ejemplo, en equipos marinos, los discos de aleación de tungsteno pueden resistir la corrosión del agua de mar, prolongando así la vida útil de los componentes. Además, si bien la conductividad térmica y eléctrica de los discos de aleación de tungsteno es inferior a la de algunos materiales conductores tradicionales, su rendimiento general se mantiene competitivo en entornos de alta temperatura o alta densidad, lo que los hace especialmente adecuados para aplicaciones que requieren un equilibrio entre conductividad térmica y resistencia estructural.

de tungsteno también son una característica clave. Al ser un material no tóxico y no radiactivo, la aleación de tungsteno es más respetuosa con el medio ambiente que los materiales tradicionales de alta densidad, como el plomo, y cumple con los requisitos de desarrollo sostenible de la industria moderna. Esta característica ha propiciado su amplia aplicación en campos como dispositivos médicos y equipos de procesamiento de alimentos. Por ejemplo, en dispositivos médicos, los discos de aleación de tungsteno pueden utilizarse como materiales de blindaje para proteger componentes sensibles sin preocuparse por la toxicidad. Además, son altamente reciclables, lo que permite su reutilización mediante reciclaje y reprocesamiento, reduciendo así el desperdicio de recursos. Esta sostenibilidad aumenta aún más su valor

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en la industria moderna.

## 1.2 Historia del desarrollo y evolución tecnológica de las obleas de aleación de tungsteno

tungsteno son clave para comprender su papel crucial en la industria moderna. La investigación y el desarrollo tempranos sentaron las bases para las obleas de aleación de tungsteno, mientras que los avances tecnológicos han mejorado significativamente su rendimiento. La producción inteligente ha ampliado aún más sus aplicaciones.

### 1.2.1 I+D temprana y aplicación inicial

de tungsteno surgieron de la exploración de las propiedades del metal tungsteno. Al ser un metal de alto punto de fusión y alta densidad, sus propiedades físicas únicas han atraído considerable atención en el sector industrial. Sin embargo, la fragilidad y la dificultad de procesar el tungsteno puro limitaron su aplicación directa, por lo que los investigadores comenzaron a experimentar para mejorar sus propiedades mediante la aleación. El desarrollo inicial de los discos de aleación de tungsteno se centró en la combinación del tungsteno con otros elementos metálicos para crear un material con alta densidad, resistencia a altas temperaturas y cierta tenacidad. Las primeras aleaciones de tungsteno se componían principalmente de níquel, hierro o cobre. Estos elementos mejoraron eficazmente la ductilidad y la maquinabilidad del tungsteno, sentando las bases para la forma deseada del disco.

En términos de fabricación, la pulvimetalurgia se convirtió en el método fundamental para el desarrollo inicial de los discos de aleación de tungsteno. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con otros polvos metálicos, el prensado, la conformación y la sinterización a altas temperaturas, los investigadores lograron producir discos circulares con una estructura uniforme y propiedades preliminares. Si bien este proceso era relativamente sencillo dadas las condiciones tecnológicas de la época, permitió la aplicación inicial de los discos de aleación de tungsteno. La forma del disco se diseñó para facilitar su uso en aplicaciones prácticas. La estructura circular no solo es fácil de procesar, sino que también cumple con los requisitos de forma y tamaño de diversos dispositivos, como contrapesos o componentes de soporte.

de tungsteno se centraron en aplicaciones industriales que requieren alta densidad o resistencia a altas temperaturas. Por ejemplo, en las primeras etapas de la fabricación mecánica, se utilizaban como componentes de equilibrado para mejorar la estabilidad y la precisión operativa de los equipos. Su alta densidad les permite proporcionar una masa considerable en un volumen relativamente pequeño, lo cual es especialmente importante en equipos con limitaciones de espacio. Además, su resistencia a altas temperaturas les permite destacar en entornos de procesamiento de alta temperatura, como soportes o componentes de protección para equipos de tratamiento térmico. Si bien su alcance era limitado, estas primeras aplicaciones sentaron las bases para el desarrollo posterior de los discos de aleación de tungsteno.

En esta etapa, el desarrollo y la aplicación de discos de aleación de tungsteno se enfrentaban a numerosos desafíos, como los altos costos de producción, la limitada precisión del mecanizado y la optimización de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la composición de la aleación. Sin embargo, mediante la experimentación y el perfeccionamiento continuos, los investigadores fueron dominando gradualmente el proceso básico de fabricación de discos de aleación de tungsteno y acumulando experiencia para su aplicación en una gama más amplia de campos. Este éxito inicial no solo demostró la viabilidad de los discos de aleación de tungsteno como material de alto rendimiento, sino que también proporcionó importantes reservas técnicas para posteriores avances en procesos e innovaciones tecnológicas.

### 1.2.2 Avances en los procesos y mejoras de rendimiento

Con los avances en la tecnología industrial, se han logrado avances significativos en el proceso de fabricación de discos de aleación de tungsteno, lo que ha impulsado directamente mejoras en su rendimiento y ampliado su gama de aplicaciones. Las limitaciones de las primeras técnicas de pulvimetalurgia residían en la microestructura irregular del producto final y el limitado margen de optimización del rendimiento. Para abordar estos problemas, los investigadores han desarrollado técnicas de fabricación más avanzadas, como la sinterización por plasma, el prensado isostático en caliente y el conformado de precisión. Estas nuevas tecnologías han mejorado significativamente la densidad, la resistencia y la calidad superficial de los discos de aleación de tungsteno, permitiéndoles satisfacer las necesidades de aplicaciones industriales más exigentes.

La introducción de la tecnología de sinterización por plasma representa un avance fundamental en la fabricación de discos de aleación de tungsteno. Al calentar rápidamente el material con plasma de alta temperatura, los investigadores logran una microestructura más densa en menos tiempo, mejorando así las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del disco. El prensado isostático en caliente optimiza aún más la estructura interna del disco. Al comprimir uniformemente el material a alta temperatura y presión, se eliminan los defectos internos y se mejora la resistencia y tenacidad del disco. Estos avances en el proceso permiten que los discos de aleación de tungsteno mantengan un rendimiento estable en entornos aún más exigentes, como aquellos sometidos a alta temperatura, alta presión o corrosión severa.

La optimización de la composición de la aleación también fue un avance clave durante esta fase. Mediante el control preciso de las proporciones de elementos como níquel, hierro y cobre, los investigadores pudieron adaptar las propiedades de los discos de aleación de tungsteno a los requisitos específicos de cada aplicación. Por ejemplo, el aumento del contenido de níquel mejora la tenacidad y la resistencia al impacto del disco, mientras que la adición de cobre mejora su conductividad térmica. Este diseño de composición personalizado permite que los discos de aleación de tungsteno se adapten mejor a las necesidades de diferentes escenarios, como los instrumentos de precisión que requieren alta densidad y baja expansión térmica, mientras que los equipos de alta temperatura priorizan la resistencia al calor y la estabilidad estructural.

Además, los avances en la tecnología de procesamiento también han impulsado la mejora del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno. Las técnicas avanzadas de mecanizado CNC y los procesos de tratamiento de superficies han mejorado significativamente la precisión dimensional y el acabado

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

superficial de los discos, lo cual es especialmente importante en el campo de la fabricación de precisión. Por ejemplo, mediante el corte por láser y el rectificado de precisión, los discos de aleación de tungsteno pueden procesarse en formas complejas manteniendo un control dimensional de alta precisión. Estos avances tecnológicos no solo mejoran la calidad de los discos, sino que también reducen los costes de producción, lo que permite su aplicación generalizada en más campos.

### 1.2.3 Producción inteligente y aplicaciones diversificadas

Con el auge de la fabricación inteligente y la automatización industrial, la producción de discos de aleación de tungsteno ha entrado en una nueva era. La aplicación de tecnologías de producción inteligente ha mejorado significativamente la eficiencia y la calidad de los productos, a la vez que ha impulsado su aplicación en una amplia gama de campos. Al incorporar control automatizado, monitorización en tiempo real y tecnologías de análisis de datos, los sistemas de fabricación inteligente pueden controlar con precisión cada etapa del proceso de producción, como la mezcla de polvos, la compactación y la temperatura de sinterización. Este control de producción de alta precisión garantiza el rendimiento constante y fiable de los discos de aleación de tungsteno, garantizando su aplicación en aplicaciones exigentes.

La fabricación inteligente también ofrece mayor flexibilidad. Mediante sistemas de diseño y fabricación asistidos por computadora, los fabricantes pueden ajustar rápidamente el tamaño, la forma y la composición de las obleas para satisfacer las diversas necesidades de los clientes. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, las obleas de aleación de tungsteno pueden requerir un espesor o tratamiento superficial específico, mientras que los dispositivos médicos pueden requerir un acabado superficial y biocompatibilidad superiores. La aplicación de la tecnología de fabricación inteligente aumenta la eficiencia de esta producción personalizada, a la vez que reduce los costos de producción y los plazos de entrega.

tungsteno representan un logro significativo de la fabricación inteligente. Gracias a un rendimiento mejorado y a la optimización de los procesos de producción, su aplicación se ha expandido más allá de la fabricación mecánica tradicional, abarcando sectores emergentes como las nuevas energías, los equipos médicos y la industria electrónica. Por ejemplo, en el sector de las nuevas energías, los discos de aleación de tungsteno se utilizan como contrapesos o materiales de soporte en componentes de baterías para mejorar la estabilidad y la eficiencia del dispositivo. En los dispositivos médicos, su alta densidad y sus propiedades no tóxicas los convierten en materiales de blindaje ideales para proteger instrumentos sensibles de interferencias externas.

Además, la producción inteligente optimiza el impacto ambiental de los discos de aleación de tungsteno. Los procesos de producción modernos priorizan el uso eficiente de los recursos y el reciclaje de residuos. Al ser un material reciclable, los discos de aleación de tungsteno se producen mediante un proceso que minimiza el impacto ambiental. Este modelo de producción ecológica no solo cumple con los requisitos de desarrollo sostenible de la industria moderna, sino que también promueve su aplicación en zonas con alta vulnerabilidad ambiental.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 2 Sistema de clasificación de discos de aleación de tungsteno

tungsteno son cruciales para comprender mejor sus aplicaciones y optimizar su rendimiento. Dado que pueden adaptarse a diversas necesidades industriales mediante ajustes en la composición y los procesos de fabricación, su clasificación suele basarse en los elementos constituyentes de la aleación, sus características de rendimiento o sus aplicaciones. La clasificación por composición es el método más fundamental y ampliamente utilizado. Al analizar la combinación de tungsteno y otros elementos metálicos, se pueden distinguir claramente los diferentes tipos de discos de aleación de tungsteno y comprender las ventajas únicas de cada uno en situaciones específicas.

Los discos de aleación de tungsteno reflejan plenamente los avances en la ciencia de los materiales y la tecnología de aleaciones. Las diferentes composiciones de aleación confieren a los discos propiedades físicas y químicas únicas, como densidad, tenacidad, resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica, lo que los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones, desde instrumentos de precisión hasta equipos pesados. En la producción real, la elección de la composición suele estar estrechamente relacionada con la aplicación específica. Por ejemplo, algunas aleaciones son más adecuadas para entornos de alta temperatura, mientras que otras lo son para aplicaciones que requieren alta conductividad.

Además, el sistema de clasificación de discos de aleación de tungsteno refleja la prioridad de la industria moderna en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible. Las aleaciones de diversas composiciones presentan un comportamiento ambiental variable; por ejemplo, la naturaleza no tóxica de algunas aleaciones las hace más adecuadas para aplicaciones médicas o de procesamiento de alimentos. Un sistema de clasificación integral ayuda a las empresas a equilibrar los requisitos de rendimiento con el respeto al medio ambiente y la reciclabilidad de los recursos, promoviendo así la aplicación de los discos de aleación de tungsteno en una gama más amplia de campos.

### 2.1 Discos de aleación de tungsteno por composición

La clasificación composicional es el método más común y fundamental para la clasificación de discos de aleación de tungsteno. Mediante el análisis de la combinación de tungsteno y otros elementos metálicos, se pueden distinguir claramente diferentes tipos de discos de aleación de tungsteno. Cada combinación de componentes confiere al disco características de rendimiento específicas, lo que le otorga ventajas únicas en diferentes escenarios de aplicación. Este método de clasificación no solo ayuda a comprender las características de los diferentes tipos de discos de aleación de tungsteno, sino que también proporciona una referencia importante para optimizar los procesos de producción y seleccionar escenarios de aplicación.

#### 2.1.1 Disco de aleación de tungsteno, níquel y hierro

Las obleas de aleación de tungsteno-níquel-hierro son láminas circulares delgadas hechas de tungsteno como componente principal, con níquel y hierro añadidos como elementos de aleación. Esta aleación reduce significativamente la fragilidad y la dificultad de procesamiento del tungsteno puro al combinar

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

níquel y hierro con tungsteno, lo que le otorga mayor tenacidad y maquinabilidad, manteniendo una alta densidad. El objetivo original del desarrollo de obleas de aleación de tungsteno-níquel-hierro era satisfacer las necesidades industriales que requieren alta densidad y resistencia, como contrapesos o componentes de equilibrio en la industria aeroespacial, la fabricación mecánica y los instrumentos de precisión. La adición de níquel y hierro no solo mejora la ductilidad del material, sino también su resistencia al impacto, lo que permite que la oblea mantenga su estabilidad estructural al ser sometida a tensión mecánica o vibración.

Los discos de aleación de tungsteno-níquel-hierro se fabrican generalmente mediante tecnología de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno de alta pureza se mezcla con polvos de níquel y hierro en proporciones específicas, se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar láminas circulares con una microestructura uniforme. El níquel actúa como aglutinante, conectando eficazmente las partículas de tungsteno y mejorando la resistencia general de la aleación, mientras que la adición de hierro optimiza aún más la tenacidad y la resistencia al desgaste del disco. Esta combinación de ingredientes hace que los discos de aleación de tungsteno-níquel-hierro sean excelentes para aplicaciones que requieren alta densidad y durabilidad, como el equilibrio de la distribución de masa en equipos rotativos o su uso como componentes de soporte en entornos de alta temperatura.

La resistencia a la corrosión de las obleas de aleación de tungsteno-níquel-hierro es también una de sus características más importantes. La adición de níquel y hierro les permite mantener un rendimiento estable en diversos entornos químicos, especialmente en ambientes húmedos o ligeramente corrosivos, resistiendo eficazmente la oxidación y la corrosión. Esta propiedad les brinda amplias posibilidades de aplicación en ciertos escenarios industriales especiales, como componentes clave en equipos marinos o de procesamiento químico. Además, su respeto al medio ambiente también es digno de mención. A pesar de contener níquel y hierro, sus propiedades no tóxicas las convierten en una alternativa ideal a los materiales tradicionales de alta densidad en diversos campos.

La flexibilidad de los discos de aleación de tungsteno-níquel-hierro les permite satisfacer una amplia gama de necesidades de aplicación. Al ajustar la proporción de níquel a hierro, los fabricantes pueden adaptar las propiedades del disco, como aumentar el contenido de níquel para una mayor tenacidad o el contenido de hierro para una mayor dureza. Esta capacidad de personalización hace que los discos de aleación de tungsteno-níquel-hierro sean valiosos en una amplia gama de aplicaciones, desde instrumentos de precisión hasta maquinaria pesada. Ya sea como contrapesos, materiales de soporte o componentes resistentes al desgaste, los discos de aleación de tungsteno-níquel-hierro ofrecen un soporte fiable para aplicaciones industriales gracias a su excelente rendimiento integral.

### 2.1.2 Disco de aleación de tungsteno, níquel y cobre

Las obleas de aleación de tungsteno-níquel-cobre son láminas circulares y delgadas compuestas principalmente de tungsteno, con níquel y cobre añadidos como elementos de aleación. En comparación con la aleación de tungsteno-níquel-hierro, esta aleación prioriza una mejor conductividad térmica y un mejor rendimiento de procesamiento, a la vez que mantiene una alta densidad y buenas propiedades

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mecánicas. La adición de cobre, un material altamente conductor del calor, mejora significativamente la conductividad térmica de las obleas de aleación de tungsteno, lo que les otorga una clara ventaja en aplicaciones que requieren una disipación térmica eficiente, como equipos electrónicos o entornos de procesamiento a alta temperatura. La adición de níquel mejora la tenacidad y la estabilidad estructural de la aleación, lo que permite que las obleas mantengan un rendimiento fiable en condiciones operativas complejas. Los discos de aleación de tungsteno-níquel-cobre son similares a los de las aleaciones de tungsteno-níquel-hierro, y se fabrican principalmente mediante pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno, níquel y cobre, la mezcla se prensa y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares con una estructura uniforme y un alto rendimiento. La adición de cobre facilita la formación de una microestructura densa durante la sinterización, mejorando así el acabado superficial y la precisión dimensional de los discos. Esta característica los hace especialmente adecuados para aplicaciones que requieren un procesamiento de alta precisión, como componentes de disipación de calor en la industria electrónica o como materiales de soporte en instrumentos de precisión.

Las obleas de aleación de tungsteno, níquel y cobre también ofrecen una excelente resistencia a la corrosión, especialmente en entornos expuestos a la humedad o a productos químicos. La adición de cobre mejora la resistencia a la oxidación de la aleación, lo que le permite mantener un rendimiento estable a largo plazo. Esta propiedad se presta a una amplia aplicación en campos como la industria química y la ingeniería naval. Además, la combinación de níquel y cobre mejora la maquinabilidad de la aleación, lo que permite procesar las obleas en formas complejas, manteniendo un control dimensional de alta precisión. Esta maquinabilidad es especialmente importante en la fabricación de precisión, como la de componentes de dispositivos electrónicos que requieren alta precisión y fiabilidad.

Las obleas de aleación de tungsteno-níquel-cobre se benefician de su alta densidad y excelente conductividad térmica. Se utilizan a menudo en aplicaciones donde es necesario equilibrar el peso y la disipación de calor, como en componentes aeroespaciales y dispositivos electrónicos de alto rendimiento. Sus propiedades no tóxicas y respetuosas con el medio ambiente amplían aún más sus posibles aplicaciones en áreas como los dispositivos médicos. Al ajustar la proporción de cobre y níquel, los fabricantes pueden optimizar aún más el rendimiento de la oblea para satisfacer requisitos específicos de la aplicación, como mejorar la conductividad térmica o la resistencia mecánica.

### 2.1.3 Disco de aleación de tungsteno y cobre

Los discos de aleación de tungsteno-cobre son láminas circulares delgadas compuestas principalmente de tungsteno y cobre, diseñadas para aplicaciones que requieren una excelente conductividad térmica y eléctrica. La combinación de la alta conductividad térmica y eléctrica del cobre con la alta densidad y resistencia a altas temperaturas del tungsteno confiere a los discos de aleación de tungsteno-cobre ventajas únicas en los sectores de la electrónica, la electricidad y la gestión térmica. Al reducir el uso de otros elementos como el níquel, esta aleación se centra en mejorar la conductividad térmica y eléctrica, manteniendo al mismo tiempo una resistencia mecánica y una resistencia a la corrosión adecuadas. Los discos de aleación de tungsteno-cobre se fabrican habitualmente mediante tecnología de pulvimetalurgia. Los polvos de tungsteno y cobre se mezclan en una proporción específica, se prensan para darles forma

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y, posteriormente, se sinterizan a altas temperaturas para formar un disco delgado y uniforme con un rendimiento excelente. La proporción de cobre se puede ajustar para optimizar la conductividad térmica y eléctrica según los requisitos específicos de la aplicación, lo que lo hace altamente personalizable. Durante el proceso de sinterización, el cobre rellena los huecos entre las partículas de tungsteno, formando una microestructura densa que mejora la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas del disco. Esta propiedad le permite mantener la integridad estructural en entornos de alta temperatura.

Los discos de aleación de tungsteno-cobre se utilizan ampliamente en aplicaciones que requieren una disipación térmica eficiente, como disipadores de calor en dispositivos electrónicos y como materiales de electrodos en el mecanizado por electroerosión (EDM). Su excelente conductividad eléctrica los hace ideales como contactos eléctricos o componentes de circuitos, conduciendo eficazmente la corriente y minimizando la pérdida de energía. Además, el bajo coeficiente de expansión térmica de los discos de aleación de tungsteno-cobre garantiza la estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura, lo cual es especialmente importante para aplicaciones de precisión, como en dispositivos electrónicos que requieren alta precisión y estabilidad.

tungsteno -cobre también ofrecen un excelente rendimiento en entornos hostiles. La adición de cobre mejora la resistencia a la oxidación de la aleación, garantizando un rendimiento estable durante un uso prolongado. Esta propiedad es muy prometedora para aplicaciones en hornos industriales, sistemas electrónicos de alta potencia y otros campos. Su no toxicidad y reciclabilidad, conforme a las normas ambientales modernas, los convierten en la opción ideal para aplicaciones sensibles como la fabricación de dispositivos médicos.

#### 2.1.4 Disco de aleación de tungsteno y plata

Los discos de aleación de tungsteno y plata son láminas circulares delgadas, compuestas principalmente de tungsteno y plata, diseñadas para aplicaciones que requieren alta conductividad eléctrica y resistencia al desgaste. La plata, un excelente material conductor, mejora significativamente la conductividad de los discos de aleación de tungsteno, lo que los hace valiosos para aplicaciones en los campos eléctrico y electrónico. Además, la alta densidad del tungsteno y su resistencia a altas temperaturas proporcionan a los discos una excelente estabilidad estructural y durabilidad, lo que les permite mantener su rendimiento en entornos de alta carga o alta temperatura.

Los discos de aleación de tungsteno y plata también se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvos de tungsteno y plata, su prensado, conformación y posterior sinterización a altas temperaturas, se forman discos circulares con una estructura uniforme y un alto rendimiento. La adición de plata mejora la conductividad de la aleación, manteniendo la alta densidad y resistencia mecánica del tungsteno. Esta combinación de ingredientes la hace especialmente adecuada para aplicaciones que requieren alta conductividad y durabilidad, como contactos eléctricos de alta tensión o componentes de interruptores automáticos. Durante el proceso de sinterización, la plata rellena eficazmente los huecos entre las partículas de tungsteno, formando una estructura densa y mejorando la estabilidad del rendimiento del disco.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los discos de aleación de tungsteno y plata son particularmente resistentes a la erosión por arco, lo cual es especialmente importante en aplicaciones eléctricas. En entornos con alta tensión o frecuentes operaciones de conmutación, la formación de arcos eléctricos puede causar pérdidas de material. Las excelentes propiedades de los discos de aleación de tungsteno y plata resisten eficazmente la erosión por arco y prolongan la vida útil de los componentes. Esta característica los hace ampliamente aplicables en sistemas eléctricos de alta potencia o equipos industriales. Además, su resistencia a altas temperaturas garantiza la fiabilidad en entornos de alta temperatura, como hornos industriales o sistemas electrónicos de alto rendimiento.

El respeto al medio ambiente y la reciclabilidad de los discos de aleación de tungsteno-plata también son ventajas clave. Al ser un material no tóxico, cumplen con los requisitos ambientales de la industria moderna y son aptos para aplicaciones sensibles como dispositivos médicos y equipos de procesamiento de alimentos. Al ajustar el contenido de plata, los fabricantes pueden adaptar la conductividad y las propiedades mecánicas del disco a las necesidades de diversas aplicaciones. Esta combinación de flexibilidad y alto rendimiento hace que los discos de aleación de tungsteno-plata sean irremplazables en los sectores eléctrico y electrónico.

## 2.2 Discos de aleación de tungsteno por tamaño

La clasificación por tamaño es un enfoque intuitivo y práctico para la clasificación de discos de aleación de tungsteno. Al categorizar los diferentes rangos de diámetro, podemos comprender claramente las funciones y ventajas de los discos en diferentes escenarios de aplicación. El tamaño afecta directamente el proceso de fabricación, el rendimiento y las áreas de aplicación de los discos, lo que hace que este método de clasificación sea de gran importancia en el diseño y la producción industrial. A continuación, se detallan los tres tipos principales de discos de aleación de tungsteno: microdiscos (diámetro inferior a 10 mm), discos regulares (diámetros entre 10 mm y 100 mm) y discos grandes.

### 2.2.1 Microdiscos (diámetro < 10 mm)

Los microdiscos de aleación de tungsteno son láminas delgadas y circulares de material con un diámetro inferior a 10 mm. Gracias a su tamaño compacto, se utilizan principalmente en aplicaciones miniaturizadas de alta precisión. Estos discos desempeñan un papel fundamental en la industria moderna, especialmente en instrumentos de precisión, equipos electrónicos y dispositivos médicos. Su combinación de pequeño tamaño y alto rendimiento les permite satisfacer las necesidades de espacio y precisión. El desarrollo y la producción de microdiscos requieren procesos de fabricación altamente sofisticados para garantizar la estabilidad del rendimiento y la integridad estructural a pesar de su reducido tamaño.

Los microdiscos de aleación de tungsteno se fabrican generalmente mediante técnicas avanzadas de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos (como níquel, hierro o cobre), se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares con una microestructura uniforme. Debido a su tamaño extremadamente pequeño, el proceso de producción

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

requiere un control de precisión extremadamente alto, como el control preciso del tamaño de las partículas de polvo, la temperatura de sinterización y la presión para evitar defectos microscópicos o desviaciones dimensionales. Además, el tratamiento superficial de los microdiscos es crucial. Mediante el pulido o rectificado de precisión, se puede lograr un acabado superficial y una precisión dimensional extremadamente altos para satisfacer las exigencias de las aplicaciones de precisión.

Los microdiscos de aleación de tungsteno se caracterizan por su alta densidad y excelentes propiedades físicas. A pesar de su pequeño tamaño, su alta densidad les permite proporcionar suficiente masa en espacios reducidos, lo que permite su uso como contrapesos o componentes de equilibrio en dispositivos micromecánicos, mejorando la estabilidad operativa y la precisión. Su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión también los convierte en excelentes opciones en dispositivos microelectrónicos, por ejemplo, como microdisipadores de calor o componentes de blindaje, manteniendo un rendimiento estable en entornos químicos o de alta temperatura. Además, los microdiscos presentan una excelente maquinabilidad, lo que permite su fabricación en formas complejas mediante técnicas de micromaquinado para satisfacer diversos requisitos de diseño.

En cuanto a sus aplicaciones, los microdiscos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en entornos que requieren alta precisión y miniaturización. Por ejemplo, en el sector médico, se pueden utilizar para fabricar componentes para dispositivos médicos de precisión, como materiales de blindaje para microsensores o dispositivos implantables. En la industria electrónica, su alta densidad y conductividad térmica los convierten en un material ideal para microcircuitos o chips. Además, son respetuosos con el medio ambiente. Sus propiedades no tóxicas y reciclables los hacen muy solicitados en los sectores médico y de fabricación de precisión. Al optimizar la composición de la aleación y el proceso de producción, los microdiscos de aleación de tungsteno pueden alcanzar un alto rendimiento en un tamaño diminuto, lo que contribuye significativamente al desarrollo de la ciencia y la tecnología modernas.

### 2.2.2 Obleas convencionales ( $10\text{ mm} \leq \text{diámetro} \leq 100\text{ mm}$ )

Las obleas convencionales de aleación de tungsteno, láminas circulares delgadas con diámetros que oscilan entre 10 mm y 100 mm, son el tipo más utilizado. Gracias a su tamaño moderado, ofrecen gran flexibilidad y aplicabilidad en una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la fabricación de maquinaria hasta la electrónica, la industria aeroespacial y los dispositivos médicos. La variedad de tamaños de obleas convencionales permite un equilibrio entre rendimiento y complejidad de procesamiento, lo que les permite satisfacer requisitos de alta precisión y adaptarse a aplicaciones industriales a gran escala.

Los discos de aleación de tungsteno convencionales también se basan en la tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con otros polvos metálicos, el prensado y la sinterización a alta temperatura, se forman discos circulares delgados con una estructura uniforme y un alto rendimiento. En comparación con los microdiscos, el proceso de fabricación de los discos convencionales presenta requisitos de precisión ligeramente más flexibles, pero exige mayores exigencias en cuanto a la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

uniformidad de las propiedades del material y la estabilidad estructural. Durante la producción, la optimización del proceso de sinterización es especialmente importante. Por ejemplo, ajustando la temperatura y la presión de sinterización, se puede mejorar la densidad y la resistencia mecánica del disco. Además, el tratamiento superficial de los discos convencionales, como el rectificado o el pulido, puede mejorar aún más su calidad superficial para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones.

Los discos convencionales de aleación de tungsteno se distinguen por su rendimiento general equilibrado. Su alta densidad permite su uso como contrapesos o componentes de equilibrio en equipos rotativos o instrumentos de precisión para mejorar la estabilidad y precisión operativas. Su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión garantiza un rendimiento estable en diversos entornos, como su uso como componentes de soporte o protección en equipos de procesamiento de alta temperatura o entornos químicos. Además, los discos convencionales poseen excelentes propiedades mecánicas. Gracias a la aleación, su tenacidad y resistencia al impacto se mejoran significativamente, lo que les permite soportar tensiones mecánicas y vibraciones significativas, haciéndolos ideales para aplicaciones industriales de alta intensidad.

En términos de aplicación, la gama de tamaños disponible para las obleas convencionales de aleación de tungsteno las hace muy adaptables. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, las obleas convencionales pueden utilizarse para fabricar componentes de equilibrio de aeronaves o piezas de alta temperatura. En la industria electrónica, su alta densidad y conductividad térmica las hacen ideales para disipadores de calor o materiales de soporte de circuitos. En dispositivos médicos, sus propiedades no tóxicas y resistentes a la corrosión las hacen idóneas para su uso como componentes de blindaje o soporte. La flexibilidad de procesamiento de las obleas convencionales permite fabricarlas en diversos espesores y formas para satisfacer diversos requisitos de diseño. Su respeto al medio ambiente y reciclabilidad también las hacen más atractivas en la industria moderna, permitiéndoles cumplir con los requisitos de rendimiento y los objetivos de desarrollo sostenible.

### 2.2.3 Obleas grandes (diámetro > 100 mm)

Los discos grandes de aleación de tungsteno son láminas circulares delgadas con un diámetro superior a 100 mm. Se utilizan principalmente en aplicaciones industriales que requieren alta resistencia, gran masa o componentes de gran tamaño. Debido a su gran tamaño, estos discos se emplean a menudo en equipos pesados, maquinaria industrial o proyectos de ingeniería especializados. Su alta densidad y excelentes propiedades mecánicas les permiten cumplir con los más estrictos requisitos de calidad y durabilidad. El desarrollo y la producción de discos grandes presentan importantes desafíos de fabricación, ya que requieren mantener un rendimiento uniforme y estabilidad estructural a pesar de su gran tamaño.

Los discos grandes de aleación de tungsteno se basan en la tecnología de pulvimetalurgia, pero requieren equipos y un control de proceso más complejos. Debido a su gran tamaño, el proceso de producción requiere una precisión extremadamente alta en los procesos de mezcla, prensado y sinterización del polvo para evitar defectos internos o un rendimiento irregular. Por ejemplo, el uso de la tecnología de prensado isostático en caliente puede mejorar eficazmente la densidad y la resistencia de los discos grandes,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eliminar los poros microscópicos y garantizar su fiabilidad en entornos de alta carga. Además, el tratamiento y procesamiento de superficies de discos grandes requiere el uso de equipos pesados, como máquinas herramienta CNC de gran tamaño, para lograr un control dimensional y un acabado superficial de alta precisión.

Los discos grandes de aleación de tungsteno se caracterizan por su excepcional alta densidad y propiedades mecánicas. Su alta densidad les otorga ventajas significativas en aplicaciones que requieren gran masa, como contrapesos o componentes de soporte en maquinaria pesada o equipos de ingeniería, proporcionando suficiente inercia y estabilidad. Su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión les permite mantener un rendimiento estable en entornos extremos, como hornos de alta temperatura o como componentes críticos en equipos de procesamiento químico. Además, la resistencia mecánica y la tenacidad de estos discos grandes se optimizan mediante aleación, lo que les permite soportar altos niveles de estrés mecánico e impacto, haciéndolos ideales para su uso en aplicaciones industriales exigentes.

En cuanto a sus aplicaciones, los discos grandes de aleación de tungsteno se utilizan principalmente en la industria pesada y la ingeniería. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, su alta densidad y resistencia a altas temperaturas los hacen ideales para equilibrar componentes o piezas de alta temperatura en aeronaves de gran tamaño. En el sector energético, los discos grandes pueden utilizarse para fabricar contrapesos para turbinas eólicas o equipos de energía nuclear. En la fabricación industrial, su resistencia al desgaste y a la corrosión los hace adecuados para su uso como moldes o componentes de herramientas de gran tamaño. Los discos grandes también ofrecen ventajas medioambientales. Sus propiedades no tóxicas y reciclables les permiten cumplir con los requisitos de desarrollo sostenible de la industria moderna.

### 2.3 Clasificación de los discos de aleación de tungsteno según su función de aplicación

La función de aplicación es un método práctico y orientado a las aplicaciones en el sistema de clasificación de discos de aleación de tungsteno. Al analizar el rol del disco en diferentes escenarios funcionales, se pueden clasificar claramente los tipos de discos de aleación de tungsteno funcionales. Este método de clasificación está directamente relacionado con las características de rendimiento y los escenarios de aplicación del disco, como el blindaje contra la radiación, la conducción eléctrica, la disipación térmica o la resistencia al desgaste y la corrosión.

#### 2.3.1 Discos funcionales de aleación de tungsteno

Los discos funcionales de aleación de tungsteno son láminas circulares y delgadas diseñadas para aplicaciones específicas. Gracias a la composición optimizada de la aleación y a los procesos de fabricación, su rendimiento cumple con los exigentes requisitos de cada situación. Estos discos aprovechan la alta densidad, la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión de la aleación de tungsteno. Gracias a su diseño específico, desempeñan un papel fundamental en el blindaje contra la radiación, la conductividad eléctrica, la disipación de calor y la resistencia al desgaste y la corrosión. La

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

clave de la clasificación funcional reside en combinar el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno con los requisitos reales de la aplicación para maximizar el rendimiento del material.

Los discos funcionales de aleación de tungsteno se fabrican generalmente mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante el ajuste de la proporción de tungsteno con respecto a otros elementos metálicos, la optimización del proceso de sinterización y el tratamiento superficial, se producen discos que cumplen con los requisitos funcionales específicos. Por ejemplo, en escenarios donde se requiere alta conductividad, se puede aumentar el contenido de cobre o plata; en escenarios donde se requiere resistencia al desgaste, se puede optimizar la proporción de níquel o hierro. Durante el proceso de producción, el control preciso del proceso y la selección de materias primas de alta calidad son clave para garantizar el rendimiento estable de los discos funcionales. Además, el tamaño y la forma de los discos funcionales también se pueden personalizar según usos específicos. Por ejemplo, se requieren discos pequeños de alta precisión en microdispositivos, mientras que los discos de mayor tamaño pueden ser necesarios en equipos pesados.

Los discos funcionales de aleación de tungsteno representan la profunda integración de la ciencia de los materiales y las aplicaciones industriales. Gracias al diseño específico de la aleación y la optimización de procesos, estos discos mantienen un excelente rendimiento en diversos entornos complejos, como alta temperatura, alta presión y entornos corrosivos. Su no toxicidad y reciclabilidad también les confieren ventajas significativas en aplicaciones sensibles al medio ambiente, como equipos médicos y de procesamiento de alimentos. Las diversas aplicaciones de los discos funcionales han promovido el uso generalizado de materiales de aleación de tungsteno en la industria moderna y han contribuido significativamente al avance tecnológico.

### 2.3.1.1 Discos de aleación de tungsteno para blindaje contra la radiación

Los discos de aleación de tungsteno para blindaje radiológico son láminas delgadas y circulares diseñadas específicamente para prevenir la penetración de la radiación y se utilizan ampliamente en los sectores médico, científico e industrial. Su alta densidad les permite absorber y bloquear eficazmente la radiación de alta energía, como los rayos X y gamma, protegiendo así a los equipos y al personal de los efectos de la radiación. Las ventajas de los discos de aleación de tungsteno como materiales de blindaje radiológico residen en su alta densidad y su no toxicidad. En comparación con los materiales de blindaje tradicionales, como el plomo, los discos de aleación de tungsteno son más respetuosos con el medio ambiente y adecuados para su uso en aplicaciones críticas para la seguridad.

Los discos de aleación de tungsteno para protección contra la radiación se fabrican generalmente mediante técnicas de pulvimetalurgia. Esto implica mezclar polvo de tungsteno con otros polvos metálicos (como níquel y hierro), prensar y sinterizar la mezcla a altas temperaturas para crear discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. Para cumplir con los requisitos de protección contra la radiación, la densidad y el grosor del disco deben controlarse con precisión para garantizar el efecto deseado. Los tratamientos superficiales, como el pulido o el recubrimiento, pueden mejorar aún más el rendimiento del disco, por ejemplo, aumentando su resistencia a la corrosión o el acabado superficial,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

prolongando así su vida útil.

La principal característica de los discos de aleación de tungsteno para protección contra la radiación es su excepcional capacidad de absorción. Gracias a su alta densidad, el tungsteno bloquea eficazmente la radiación de alta energía, reduciendo así su penetración. Esta propiedad facilita su uso generalizado en dispositivos médicos, como componentes de protección en máquinas de rayos X o escáneres de tomografía computarizada, protegiendo a pacientes y personal médico de los riesgos de la radiación. Además, su resistencia a altas temperaturas y su estabilidad química le permiten mantener su rendimiento en entornos exigentes, como en equipos de investigación científica utilizados para la protección contra partículas de alta energía.

En cuanto a las aplicaciones, los discos de aleación de tungsteno para protección radiológica no se limitan al campo médico; también se utilizan ampliamente en la investigación industrial y científica. Por ejemplo, en equipos de ensayos no destructivos, los discos de aleación de tungsteno pueden utilizarse para proteger la radiación, garantizando así la seguridad del proceso de prueba. En el sector de la energía nuclear, su alta densidad y resistencia a la corrosión los convierten en la opción ideal para componentes de protección radiológica. Sus propiedades no tóxicas y reciclables mejoran aún más su aplicabilidad en sectores ambientalmente sensibles, como la fabricación de dispositivos médicos, donde cumplen con estrictas normas de seguridad y medioambientales.

### 2.3.1.2 Discos de aleación de tungsteno para conducción eléctrica

Las obleas de aleación de tungsteno para conductividad eléctrica son láminas delgadas y circulares diseñadas para aplicaciones que requieren una conductividad eléctrica eficiente. Su conductividad se optimiza típicamente añadiendo metales altamente conductores como la plata o el cobre. Estas obleas desempeñan un papel vital en los campos eléctrico y electrónico, conduciendo eficazmente la corriente y reduciendo la pérdida de energía, a la vez que mantienen la alta densidad y la resistencia a altas temperaturas de la aleación de tungsteno. El desarrollo de obleas de aleación de tungsteno para conductividad eléctrica satisface los requisitos de conductividad y durabilidad de los dispositivos eléctricos de alto rendimiento.

Los discos de aleación de tungsteno para conductividad eléctrica también se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con polvo de plata o cobre, el prensado, la conformación y la sinterización a altas temperaturas, se forman discos circulares de alta conductividad y estructura uniforme. La adición de plata o cobre mejora significativamente la conductividad eléctrica del disco, manteniendo la alta densidad y resistencia mecánica del tungsteno. Durante la producción, el control preciso de la composición de la aleación y del proceso de sinterización es fundamental para garantizar las propiedades conductoras. Por ejemplo, ajustando la proporción de plata o cobre, se puede optimizar la conductividad eléctrica del disco para cumplir con requisitos específicos. Las características principales de los discos de aleación de tungsteno para la conducción eléctrica son su excelente conductividad y durabilidad. La adición de plata o cobre permite una conducción eficiente de la corriente en entornos con altas corrientes o frecuentes operaciones de conmutación. La alta densidad del tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y su resistencia a altas temperaturas garantizan la estabilidad estructural del disco bajo cargas elevadas. Además, su resistencia a la erosión por arco eléctrico es excelente en aplicaciones eléctricas, ya que resiste eficazmente la pérdida de material inducida por arco eléctrico y prolonga su vida útil. Esta propiedad lo hace especialmente adecuado para su uso en contactos eléctricos de alta tensión, interruptores automáticos o componentes de circuitos.

En cuanto a sus aplicaciones, los discos de aleación de tungsteno para conducción eléctrica se utilizan ampliamente en equipos eléctricos y electrónicos. Por ejemplo, en sistemas de transmisión de alta tensión, pueden utilizarse como contactos eléctricos para garantizar una conducción eficiente de la corriente. En la industria electrónica, su alta conductividad y resistencia a altas temperaturas los convierten en un material ideal para placas de circuitos o conectores. Sus propiedades no tóxicas y reciclables también les confieren ventajas en áreas con altos requisitos ambientales, como equipos electrónicos médicos o instrumentos de precisión, donde cumplen con los requisitos de seguridad y rendimiento.

### 2.3.1.3 Discos de aleación de tungsteno para conductividad térmica y disipación de calor

Las obleas de aleación de tungsteno para conductividad térmica y disipación de calor son láminas delgadas y circulares diseñadas para aplicaciones que requieren una gestión térmica eficiente. Su conductividad térmica se mejora generalmente añadiendo un metal altamente conductor, como el cobre. Estas obleas desempeñan un papel vital en equipos electrónicos, aeroespaciales e industriales, transfiriendo rápidamente el calor desde las zonas de alta temperatura a las zonas de disipación, protegiendo así el equipo del sobrecalentamiento. La alta densidad y la resistencia a altas temperaturas de las obleas de aleación de tungsteno les confieren ventajas únicas en cuanto a conductividad térmica y disipación de calor.

Los discos de aleación de tungsteno para conductividad térmica y disipación de calor se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con polvo de cobre, el prensado, el conformado y la sinterización a altas temperaturas, se forman discos circulares de alta conductividad térmica y estructura uniforme. La adición de cobre mejora significativamente la conductividad térmica del disco, permitiéndole conducir el calor rápidamente, mientras que la alta densidad y la resistencia a altas temperaturas del tungsteno garantizan la estabilidad estructural del disco en entornos de alta temperatura. Durante el proceso de producción, el control preciso de la proporción de cobre y el proceso de sinterización son clave para garantizar la conductividad térmica. Por ejemplo, optimizando la temperatura de sinterización, se pueden mejorar la densidad y la conductividad térmica del disco.

Las características clave de los discos de aleación de tungsteno para la disipación del calor son su excelente conductividad y estabilidad térmicas. La adición de cobre permite una rápida disipación del calor en entornos de alta temperatura, evitando el sobrecalentamiento del equipo. El bajo coeficiente de expansión térmica del tungsteno garantiza su estabilidad dimensional a pesar de las fluctuaciones de temperatura. Esto lo hace especialmente adecuado para su uso en dispositivos electrónicos de alto rendimiento, como disipadores de calor para procesadores o módulos de potencia. Además, su resistencia

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

a la corrosión garantiza un rendimiento estable en entornos húmedos o con exposición a productos químicos, prolongando su vida útil. En cuanto a sus aplicaciones, los discos de aleación de tungsteno para conductividad térmica y disipación de calor se utilizan ampliamente en entornos que requieren una gestión térmica eficiente. Por ejemplo, en la industria electrónica, su alta conductividad térmica los hace ideales para disipadores de calor o tubos de calor. En el sector aeroespacial, su resistencia a altas temperaturas y conductividad térmica los hacen adecuados para la gestión térmica de componentes de alta temperatura. En equipos industriales, pueden disipar el calor eficazmente, mejorando la eficiencia y la vida útil de los equipos. Sus propiedades no tóxicas y reciclables los hacen prometedores para una amplia gama de aplicaciones en campos ambientalmente sensibles, como la electrónica médica y los equipos de nuevas energías.

#### 2.3.1.4 Discos de aleación de tungsteno para resistencia al desgaste y la corrosión

Los discos de aleación de tungsteno resistentes al desgaste y la corrosión son láminas delgadas y circulares diseñadas para aplicaciones que requieren resistencia al desgaste y la corrosión en entornos hostiles. Estos discos suelen optimizarse añadiendo elementos como níquel y hierro. Desempeñan un papel importante en la industria química, la ingeniería naval y la maquinaria pesada, manteniendo un rendimiento estable en entornos altamente abrasivos o corrosivos. Su alta densidad y resistencia mecánica los convierten en excelentes opciones para aplicaciones resistentes al desgaste y la corrosión.

Los discos de aleación de tungsteno resistentes al desgaste y la corrosión se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno se mezcla con polvos de níquel y hierro, se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares con alta resistencia al desgaste y la corrosión. La adición de níquel y hierro mejora la tenacidad y la resistencia al impacto del disco, además de mejorar su estabilidad química en entornos corrosivos. Durante la producción, la optimización del proceso de sinterización y el tratamiento superficial son clave para garantizar la resistencia al desgaste y la corrosión. Por ejemplo, los procesos de pulido o recubrimiento pueden mejorar aún más la dureza superficial y la resistencia a la corrosión del disco. Las principales ventajas de la resistencia al desgaste y la corrosión son su excepcional resistencia a este tipo de desgaste. La alta dureza del tungsteno y la adición de níquel y hierro le permiten mantener la integridad superficial en entornos de alto desgaste, como en componentes resistentes al desgaste de equipos de mecanizado o rectificado. Su resistencia a la corrosión le permite mantener un rendimiento estable en entornos ácidos, alcalinos o húmedos, como en componentes críticos de equipos marinos o reactores químicos. Además, su alta densidad y resistencia mecánica le permiten soportar altas tensiones mecánicas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales de alta resistencia. En cuanto a sus aplicaciones, los discos de aleación de tungsteno resistentes al desgaste y a la corrosión se utilizan ampliamente en entornos que requieren una larga durabilidad. Por ejemplo, en la industria química, su resistencia a la corrosión los hace adecuados como componentes de soporte para reactores o tuberías; en ingeniería naval, pueden resistir la corrosión del agua de mar, prolongando la vida útil de los equipos; y en maquinaria pesada, su resistencia al desgaste los hace ideales para su uso como moldes o componentes de herramientas. Sus propiedades no tóxicas y reciclables les confieren ventajas en áreas con altos requisitos ambientales, como equipos de procesamiento de alimentos o dispositivos médicos, donde cumplen con los requisitos de seguridad y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

durabilidad.

## 2.3 Clasificación de los discos de aleación de tungsteno según su función de aplicación

La clasificación funcional es un enfoque específico dentro del sistema de clasificación de discos de aleación de tungsteno, que define claramente la función del disco en diferentes escenarios funcionales. Los discos de aleación de tungsteno estructural, una categoría clave de clasificación funcional, se centran en la aplicación del material en estructuras mecánicas, abarcando diversas funciones como soporte, contrapeso, conexión y sellado. Mediante procesos de diseño y fabricación de aleación específicos, estos discos ofrecen un rendimiento excepcional en entornos complejos y de alta carga, satisfaciendo así las diversas demandas de la industria moderna.

### 2.3.2 Discos de aleación de tungsteno estructural

Los discos estructurales de aleación de tungsteno son láminas circulares delgadas diseñadas para satisfacer las necesidades de las estructuras mecánicas, aprovechando la alta densidad, resistencia y durabilidad de la aleación de tungsteno. Estos discos desempeñan un papel fundamental en el soporte estructural, los contrapesos, las conexiones y el sellado. Al optimizar la composición de la aleación y los procesos de fabricación, pueden satisfacer las necesidades de una amplia gama de aplicaciones, desde instrumentos de precisión hasta equipos pesados. El desarrollo de los discos estructurales combina avances en la ciencia de los materiales y el diseño de ingeniería, lo que los convierte en un material estructural indispensable en la industria moderna.

Los discos de aleación de tungsteno estructural se fabrican típicamente mediante técnicas de pulvimetalurgia. Esto implica mezclar polvo de tungsteno con otros polvos metálicos (como níquel, hierro o cobre), prensarlo, moldearlo y, posteriormente, sinterizarlo a altas temperaturas para formar discos circulares de alta resistencia y estructura uniforme. Durante la producción, el control preciso de los parámetros del proceso es clave para garantizar un rendimiento constante del disco. Por ejemplo, ajustar la temperatura y la presión de sinterización puede optimizar la densidad y las propiedades mecánicas del disco. Los tratamientos superficiales, como el esmerilado o el pulido, pueden mejorar aún más la precisión dimensional y la calidad superficial del disco, cumpliendo así los requisitos de diversas funciones estructurales. La ventaja de los discos de aleación de tungsteno estructural reside en su capacidad para adaptar sus propiedades a aplicaciones específicas. Por ejemplo, si se requiere alta resistencia, se puede aumentar el contenido de níquel del disco para mejorar la tenacidad; si se desea alta densidad, se puede optimizar la proporción de tungsteno para aumentar la masa. Sus propiedades no tóxicas y reciclables ofrecen ventajas significativas en aplicaciones sensibles al medio ambiente, como dispositivos médicos o equipos de procesamiento de alimentos, donde cumple con los requisitos de seguridad y durabilidad.

#### 2.3.2.1 Discos de aleación de tungsteno para soporte estructural

Los discos de aleación de tungsteno para soporte estructural son materiales delgados y circulares

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diseñados para proporcionar soporte estructural mecánico. Se utilizan ampliamente en aplicaciones industriales que requieren alta resistencia y estabilidad. Aprovechando la alta densidad y resistencia mecánica de la aleación de tungsteno, estos discos proporcionan un soporte fiable para equipos sometidos a cargas elevadas o en entornos complejos, garantizando la estabilidad estructural y la durabilidad. Su principal ventaja reside en su capacidad para mantener el rendimiento en condiciones extremas, como altas temperaturas, altas presiones o vibraciones, a la vez que preservan la integridad estructural.

Los discos de aleación de tungsteno para soporte estructural se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con polvos metálicos como níquel y hierro, el prensado, conformado y sinterizado a altas temperaturas, se forman discos circulares delgados de alta resistencia y estructura uniforme. La adición de níquel y hierro mejora significativamente la tenacidad y la resistencia al impacto de los discos, permitiéndoles soportar mayores tensiones mecánicas. Durante el proceso de producción, la optimización del proceso de sinterización es crucial. Por ejemplo, la tecnología de prensado isostático en caliente puede eliminar defectos internos y mejorar la densidad y la resistencia de los discos. Además, los precisos procesos de tratamiento superficial garantizan la precisión dimensional y el acabado superficial de los discos, cumpliendo con los requisitos de los componentes de soporte de alta precisión.

Los discos de aleación de tungsteno para soporte estructural se caracterizan por sus excepcionales propiedades mecánicas y estabilidad. La alta densidad del tungsteno proporciona suficiente masa y resistencia en espacios reducidos, mientras que la aleación mejora la fragilidad del tungsteno puro, lo que permite que los discos mantengan su integridad estructural en entornos de vibración o impacto. Sus propiedades de resistencia a altas temperaturas y a la corrosión también les permiten destacar en entornos hostiles, como componentes de soporte en equipos de procesamiento de alta temperatura o entornos químicos. Su forma facilita su instalación e integración, permitiéndoles integrarse perfectamente en diversas estructuras mecánicas. Los discos de aleación de tungsteno para soporte estructural se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial, maquinaria industrial y equipos de energía. Por ejemplo, en equipos aeroespaciales, su alta resistencia y resistencia a altas temperaturas los hacen ideales para componentes de soporte de motores o fuselajes. En maquinaria industrial, pueden servir como estructuras de soporte para equipos de alta carga, mejorando la estabilidad operativa. Su respeto al medio ambiente y reciclabilidad también les confieren potencial para aplicaciones en áreas sensibles como equipos médicos, proporcionando soluciones estructurales de alto rendimiento para la industria moderna.

### 2.3.2.2 Discos de aleación de tungsteno para contrapesos

Los discos de aleación de tungsteno para contrapesos son materiales delgados y circulares diseñados para ajustar la distribución de la masa del equipo y mejorar la estabilidad operativa. Se utilizan ampliamente en aplicaciones que requieren un equilibrado preciso. Gracias a la alta densidad de la aleación de tungsteno, estos discos proporcionan una gran masa en un volumen reducido, logrando así equilibrio y estabilidad. Su flexibilidad de diseño y alto rendimiento los hacen irremplazables en equipos rotativos, instrumentos de precisión y maquinaria pesada.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La fabricación de discos de aleación de tungsteno para contrapesos también utiliza tecnología de pulvimetalurgia. Al mezclar polvo de tungsteno con polvos metálicos como níquel y hierro, prensar y moldear los discos resultantes, y luego sinterizarlos a altas temperaturas, se obtiene un disco circular de alta densidad y estructura uniforme. La adición de níquel y hierro mejora la tenacidad y las propiedades de procesamiento del disco, lo que permite mecanizarlo en tamaños y formas precisos. Durante la producción, el control preciso de la densidad y el tamaño del disco es crucial para garantizar el efecto de contrapeso deseado. Además, los tratamientos superficiales, como el pulido o el recubrimiento, pueden mejorar la resistencia a la corrosión y la calidad superficial del disco, prolongando así su vida útil.

Los discos de aleación de tungsteno para contrapesos se distinguen por su alta densidad y flexibilidad de procesamiento. La alta densidad del tungsteno le permite proporcionar suficiente masa en un espacio limitado, lo que lo hace ideal para aplicaciones con limitaciones de espacio, como micromotores o instrumentos de precisión. Sus excelentes propiedades mecánicas le permiten soportar las tensiones de rotación y vibración, garantizando así una estabilidad a largo plazo. Además, su resistencia a la corrosión le permite mantener su rendimiento en entornos húmedos o con exposición a productos químicos, como cuando se utiliza como componente de contrapeso en equipos marinos o de procesamiento químico.

En cuanto a sus aplicaciones, los discos de aleación de tungsteno para contrapesos se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial, automotriz y de fabricación de precisión. Por ejemplo, en la industria aeroespacial, su alta densidad los hace adecuados para equilibrar componentes en aeronaves o satélites, garantizando la estabilidad durante operaciones a alta velocidad. En la industria automotriz, se utilizan para equilibrar motores o ruedas, mejorando la suavidad de marcha del vehículo. Su no toxicidad y reciclabilidad también los hacen ventajosos en aplicaciones sensibles al medio ambiente, como dispositivos médicos y equipos de procesamiento de alimentos, donde cumplen con los requisitos de seguridad y rendimiento.

### **2.3.2.3 Discos de aleación de tungsteno para conexión y fijación**

Los discos de aleación de tungsteno para conexión y fijación son materiales delgados y circulares diseñados para conexiones y fijaciones mecánicas. Se utilizan ampliamente en conexiones que requieren alta resistencia y estabilidad. Gracias a la alta densidad y resistencia mecánica de la aleación de tungsteno, estos discos pueden servir como componentes de conexión o fijación, proporcionando un soporte estructural fiable y garantizando la estabilidad de los equipos en entornos de alta carga o vibración. Su diseño circular facilita el procesamiento y la instalación, permitiendo una integración perfecta en diversos sistemas mecánicos.

Los discos de aleación de tungsteno para conexión y fijación se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con polvos metálicos como níquel y hierro, su prensado, conformación y posterior sinterización a altas temperaturas, se forman discos circulares de alta resistencia y estructura uniforme. La adición de níquel y hierro mejora la tenacidad y la resistencia al impacto de los discos, lo que les permite mantener su rendimiento en entornos de alta tensión. El control dimensional preciso y el tratamiento superficial son clave durante el proceso de producción. Por

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

ejemplo, el rectificado o pulido de precisión permite lograr dimensiones y acabados superficiales de alta precisión para cumplir con los estrictos requisitos de los componentes de conexión.

Los discos de aleación de tungsteno para conectores y fijaciones se distinguen por su alta resistencia y precisión de procesamiento. La alta densidad del tungsteno y su tratamiento de aleación le permiten soportar tensiones mecánicas significativas, lo que lo hace ideal para su uso como conectores o fijaciones. Su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión le permite mantener su rendimiento en entornos exigentes, como equipos de procesamiento a alta temperatura o entornos químicos. Además, la forma del disco facilita su instalación en otros componentes, lo que permite conexiones seguras mediante pernos, remaches y otros métodos.

Los discos de aleación de tungsteno para conexión y fijación se utilizan ampliamente en maquinaria industrial, equipos aeroespaciales y energéticos. Por ejemplo, en maquinaria industrial, su alta resistencia los hace ideales para conectar componentes de gran tamaño; en la industria aeroespacial, su resistencia a altas temperaturas y estabilidad los hacen adecuados para conectar componentes de alta temperatura o estructuras sometidas a altas cargas. Su respeto al medio ambiente y reciclabilidad también ofrecen potencial de aplicación en áreas sensibles como los equipos médicos, ofreciendo una solución fiable para la conexión de sistemas mecánicos complejos.

#### **2.3.2.4 Discos de aleación de tungsteno para sellado y aislamiento**

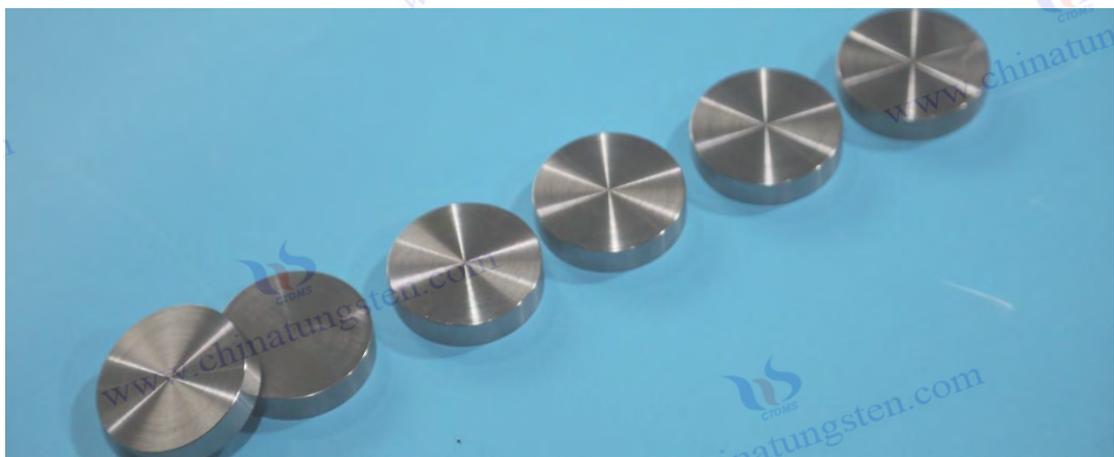
Los discos de aleación de tungsteno para sellado y aislamiento son láminas circulares delgadas diseñadas para funciones de sellado o aislamiento. Se utilizan ampliamente en aplicaciones que requieren protección contra gases, líquidos o factores externos. Gracias a la alta densidad, la resistencia a la corrosión y el bajo coeficiente de expansión térmica de la aleación de tungsteno, estos discos proporcionan un sellado fiable en entornos de alta presión o exigentes, garantizando la seguridad y la eficiencia operativa de los equipos. Su diseño circular y mecanizado de precisión les permiten ajustarse perfectamente a las superficies de sellado, cumpliendo con los requisitos de sellado de alta precisión.

Los discos de aleación de tungsteno para sellado y aislamiento se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno se mezcla con polvos metálicos como níquel y hierro, se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. Durante la producción, los procesos de tratamiento superficial, como el pulido o recubrimiento de precisión, son cruciales para garantizar el rendimiento del sellado, mejorando el acabado superficial y la estabilidad química del disco. Además, el control preciso del tamaño y el grosor del disco es crucial para cumplir con los requisitos de sellado y garantizar un ajuste perfecto a la superficie.

Los discos de aleación de tungsteno para aplicaciones de sellado y aislamiento se caracterizan por sus excelentes propiedades de sellado y durabilidad. La alta densidad y el bajo coeficiente de expansión térmica del tungsteno le permiten mantener la estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura o alta presión, lo que previene fallas en el sellado. Su resistencia a la corrosión le permite mantener su rendimiento en entornos ácidos, alcalinos o húmedos, como los utilizados como componentes de sellado

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

en reactores químicos o equipos marinos. Además, su alta resistencia y tenacidad le permiten soportar tensiones mecánicas, garantizando una fiabilidad a largo plazo. En cuanto a sus aplicaciones, los discos de aleación de tungsteno para sellado y aislamiento se utilizan ampliamente en la industria química, los equipos energéticos y la industria aeroespacial. Por ejemplo, en la industria química, su resistencia a la corrosión los hace adecuados para el sellado de reactores o tuberías; en equipos energéticos, su alta densidad y estabilidad los hacen adecuados para el sellado de recipientes a alta presión; y en el sector aeroespacial, su resistencia a altas temperaturas permite su uso como componentes de sellado de alta temperatura. Sus propiedades no tóxicas y reciclables también les otorgan un amplio potencial de aplicación en equipos médicos y de procesamiento de alimentos, ofreciendo una solución altamente eficiente para entornos de sellado exigentes.



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### Capítulo 3 Propiedades de los discos de aleación de tungsteno

Los discos de aleación de tungsteno son la base de su amplia aplicación en la industria moderna. Sus propiedades físicas y químicas únicas les permiten destacar en diversas situaciones exigentes. Como material de alto rendimiento, los discos de aleación de tungsteno poseen una amplia gama de propiedades, como densidad, resistencia mecánica, resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión. Las propiedades relacionadas con la densidad son particularmente críticas, ya que determinan directamente su eficacia en aplicaciones como contrapesos, blindaje y soporte estructural. Este rendimiento superior se debe no solo a las propiedades inherentes del tungsteno, sino también a los avances en las técnicas de aleación y fabricación, lo que permite que los discos satisfagan diversas demandas, desde instrumentos de precisión hasta equipos pesados.

La densidad, una de las propiedades fundamentales de los discos de aleación de tungsteno, influye profundamente en su funcionalidad y ámbito de aplicación. Su alta densidad permite proporcionar una gran masa en un espacio limitado, lo que los hace adecuados para situaciones que requieren una distribución precisa de la masa o efectos de apantallamiento. La investigación y optimización de las propiedades relacionadas con la densidad es una dirección importante para el desarrollo de los discos de aleación de tungsteno. Mediante el ajuste de la composición de la aleación y el proceso de fabricación, la densidad se puede controlar con precisión y uniformizar, mejorando así la estabilidad del rendimiento del disco. Además, su respeto al medio ambiente y su reciclabilidad permiten que los discos de aleación de tungsteno cumplan con los requisitos de la industria moderna para el desarrollo sostenible, optimizando al mismo tiempo su rendimiento, lo que garantiza su aplicación en campos como la medicina, la industria aeroespacial y la electrónica.

Los discos de aleación de tungsteno también demuestran la profunda integración de la ciencia de los materiales y las aplicaciones de ingeniería. Mediante el análisis sistemático de la densidad, la uniformidad y el impacto de la aplicación, podemos comprender mejor su rendimiento en situaciones reales, lo que proporciona una base científica para la selección de materiales y la optimización de procesos.

#### 3.1 Propiedades relacionadas con la densidad de los discos de aleación de tungsteno

Los discos de aleación de tungsteno son una de sus características más destacadas, ya que determinan directamente su rendimiento en diversas aplicaciones. La densidad no solo afecta el peso y la distribución de la masa del disco, sino que también está estrechamente relacionada con sus propiedades mecánicas, su eficacia de blindaje y su estabilidad. Al optimizar la composición de la aleación y el proceso de fabricación, la densidad de los discos de aleación de tungsteno se puede controlar con precisión para satisfacer las necesidades de diferentes escenarios.

##### 3.1.1 Rango de densidad

El rango de densidad de los discos de aleación de tungsteno es un indicador clave de rendimiento, lo que

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

los convierte en la opción ideal para numerosas aplicaciones industriales gracias a su alta densidad. Al ser un metal de alta densidad, el tungsteno tiene una densidad mucho mayor que la de los metales comunes. Al alearlo con otros elementos metálicos (como níquel, hierro, cobre o plata), las propiedades del disco se pueden adaptar a diferentes aplicaciones, manteniendo una alta densidad. El rango de densidad de los discos de aleación de tungsteno se logra generalmente mediante la optimización de la composición de la aleación y el proceso de fabricación, satisfaciendo una amplia gama de requisitos, desde contrapesos de alta densidad hasta blindaje de precisión.

Los discos de aleación de tungsteno se fabrican típicamente mediante tecnología de pulvimetalurgia. Esto implica mezclar polvo de tungsteno con otros polvos metálicos en proporciones específicas, prensarlos y darles forma, y luego sinterizarlos a altas temperaturas para formar láminas circulares de alta densidad y estructura uniforme. La elección de la composición de la aleación afecta directamente el valor de la densidad. Por ejemplo, añadir níquel y hierro puede mejorar la tenacidad manteniendo una alta densidad; añadir cobre o plata puede reducir ligeramente la densidad, pero mejorar la conductividad térmica o eléctrica. Durante la producción, optimizar el proceso de sinterización es crucial para el control de la densidad. Por ejemplo, ajustando la temperatura y la presión de sinterización, se puede lograr una mayor densidad y evitar defectos internos.

Los discos de aleación de tungsteno ofrecen ventajas significativas en entornos que requieren mayor masa. Por ejemplo, en equipos aeroespaciales, los discos de alta densidad pueden servir como contrapesos, proporcionando suficiente inercia para garantizar la estabilidad del equipo. En equipos médicos, su alta densidad los convierte en un material ideal para el blindaje radiológico, absorbiendo eficazmente la radiación de alta energía. La flexibilidad del rango de densidad permite personalizar los discos de aleación de tungsteno según las necesidades específicas. Por ejemplo, en instrumentos de precisión, se pueden requerir discos más delgados con mayor densidad, mientras que en equipos pesados, se pueden requerir discos más grandes de alta densidad.

Además, el rango de densidad de los discos de aleación de tungsteno está estrechamente vinculado a su respeto al medio ambiente. Al ser un material no tóxico, los discos de aleación de tungsteno ofrecen mayor seguridad y reciclabilidad que los materiales tradicionales de alta densidad, como el plomo. Esto los hace muy solicitados en sectores sensibles como la salud y el procesamiento de alimentos. Al optimizar la composición de la aleación y el proceso de fabricación, los discos de aleación de tungsteno mantienen una alta densidad a la vez que cumplen con los requisitos de protección ambiental y rendimiento, lo que proporciona una solución de material fiable para la industria moderna.

### 3.1.2 Rendimiento de uniformidad de densidad

La uniformidad de la densidad es un aspecto crucial del rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno, que influye directamente en su rendimiento en aplicaciones de alta precisión y alta fiabilidad. La uniformidad de la densidad se refiere a la consistencia de la distribución de la masa en la microestructura de la oblea, lo que garantiza la estabilidad del rendimiento y la fiabilidad estructural en las aplicaciones. La uniformidad de la densidad en las obleas de aleación de tungsteno se logra mediante

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

procesos de fabricación avanzados y un riguroso control de calidad, lo que permite un rendimiento constante en entornos complejos.

Lograr la uniformidad de la densidad depende de la optimización de la tecnología pulvimetalúrgica. Durante el proceso de fabricación, la mezcla de polvo de tungsteno y otros polvos metálicos requiere un proceso altamente uniforme para evitar variaciones locales de densidad. El prensado y la sinterización a alta temperatura son pasos clave que influyen en la uniformidad de la densidad. Mediante un control preciso de la presión y la temperatura, se puede formar una microestructura densa, eliminando la porosidad o los defectos internos. Además, la introducción de procesos avanzados, como el prensado isostático en caliente, mejora aún más la uniformidad de la densidad de la oblea, lo que le permite mantener un rendimiento estable en aplicaciones de alta carga o alta precisión.

La uniformidad de la densidad tiene un impacto significativo en el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno. En aplicaciones que requieren una distribución precisa de la masa, como el equilibrado de componentes en equipos aeroespaciales, la uniformidad de la densidad garantiza un contrapeso uniforme en todo el disco, evitando la inestabilidad operativa causada por las diferencias locales de densidad. En aplicaciones de blindaje radiológico, la uniformidad de la densidad influye directamente en la fiabilidad del blindaje, ya que una distribución uniforme de la densidad garantiza una absorción de radiación uniforme. Además, la uniformidad de la densidad mejora las propiedades mecánicas del disco, como la resistencia al impacto y al desgaste, lo que le permite mantener la integridad estructural en entornos de alta tensión.

Las obleas de aleación de tungsteno también se reflejan en su rendimiento de procesamiento. Su microestructura uniforme permite mecanizarlas en formas de alta precisión, manteniendo el acabado superficial y la estabilidad dimensional. Esta propiedad les otorga amplias posibilidades de aplicación en la fabricación de precisión, como componentes clave en dispositivos electrónicos y equipos médicos. Optimizar la uniformidad de la densidad no solo mejora el rendimiento de las obleas, sino que también reduce las tasas de desperdicio durante la producción, mejorando la eficiencia de los recursos y cumpliendo con los requisitos de desarrollo sostenible de la industria moderna.

### 3.1.3 Efecto de la densidad en la aplicación de discos de aleación de tungsteno

La densidad influye profundamente en la aplicación de los discos de aleación de tungsteno y es un factor clave para determinar su rendimiento en diversos escenarios. Su alta densidad permite que los discos de aleación de tungsteno proporcionen una masa considerable en un espacio limitado, cumpliendo así con los requisitos de contrapeso, blindaje y soporte estructural. Además, su densidad controlable y uniforme les permite adaptarse a los requisitos de rendimiento en diversos escenarios. La densidad influye no solo en las propiedades físicas del disco, sino también en sus beneficios funcionales y económicos en aplicaciones prácticas.

La alta densidad de los discos de aleación de tungsteno los hace ideales para aplicaciones de contrapeso. Por ejemplo, en equipos rotatorios o instrumentos de precisión, los discos de alta densidad pueden

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proporcionar suficiente inercia, reducir la vibración y mejorar la estabilidad operativa. Su ventaja de densidad les permite alcanzar una gran masa en un volumen reducido, lo que los hace especialmente adecuados para aplicaciones con espacio limitado, como equipos aeroespaciales o micromotores. Además, la densidad controlable permite a los fabricantes ajustar el peso del disco a las necesidades específicas, garantizando una adaptación perfecta al diseño del equipo.

En aplicaciones de blindaje radiológico, la densidad determina directamente la eficacia de los discos de aleación de tungsteno. Su alta densidad les permite absorber eficazmente la radiación de alta energía, como los rayos X y gamma, protegiendo así a los equipos y al personal de los efectos de la radiación. En comparación con los materiales de blindaje tradicionales, la ventaja de la densidad de los discos de aleación de tungsteno les permite alcanzar la misma eficacia de blindaje con un espesor menor, lo que reduce el uso de material y el peso del equipo. Esta característica es especialmente importante en dispositivos médicos, instrumentos de investigación científica y equipos de pruebas industriales, mejorando la seguridad y la eficiencia.

En aplicaciones mecánicas y de soporte estructural, la densidad influye en la resistencia y estabilidad de los discos de aleación de tungsteno. La alta densidad, combinada con una composición optimizada de la aleación, permite que los discos proporcionen un soporte fiable en entornos de alta carga, como componentes críticos en equipos de procesamiento de alta temperatura o maquinaria pesada. La uniformidad de la densidad garantiza un rendimiento constante, previniendo fallos estructurales debidos a variaciones localizadas de densidad. Además, la alta densidad mejora la resistencia al desgaste y al impacto de los discos, lo que permite un uso prolongado en entornos exigentes. Los discos de aleación de tungsteno también están estrechamente relacionados con su respeto al medio ambiente. Al ser un material no tóxico y reciclable, su alta densidad ofrece ventajas significativas al sustituir los materiales tradicionales de alta densidad, por ejemplo, en dispositivos médicos o equipos de procesamiento de alimentos, cumpliendo con los requisitos de seguridad y medioambientales. Al optimizar la densidad y los procesos de fabricación, los discos de aleación de tungsteno pueden cumplir con requisitos de alto rendimiento a la vez que maximizan la eficiencia de los recursos, lo que contribuye significativamente al desarrollo sostenible de la industria moderna.

### **3.2 Resistencia a altas temperaturas de los discos de aleación de tungsteno**

Las obleas de aleación de tungsteno son su principal ventaja en aplicaciones de alta temperatura, lo que determina directamente su fiabilidad en equipos aeroespaciales, de procesamiento industrial y energéticos. Esta resistencia a altas temperaturas abarca múltiples aspectos, como el punto de fusión, la estabilidad en entornos de alta temperatura y la resistencia al choque térmico. Estas propiedades se logran mediante una composición de aleación optimizada y procesos de fabricación avanzados, lo que permite que las obleas mantengan un rendimiento excelente en condiciones extremas de alta temperatura.

#### **3.2.1 Punto de fusión**

Las obleas de aleación de tungsteno son uno de los indicadores fundamentales de su resistencia a altas

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

temperaturas. Gracias a su punto de fusión extremadamente alto, son ideales para aplicaciones de alta temperatura. El tungsteno es un metal con un punto de fusión elevado. Al alearlo con otros elementos metálicos (como níquel, hierro, cobre o plata), se pueden mejorar su tenacidad y sus propiedades de procesamiento, manteniendo su alto punto de fusión, lo que las hace aptas para diversos entornos de alta temperatura. Las características del punto de fusión de las obleas de aleación de tungsteno les permiten operar con normalidad a temperaturas cercanas o superiores a los límites de muchos materiales tradicionales, lo que proporciona un soporte fiable para el procesamiento a alta temperatura y entornos extremos.

Los discos de aleación de tungsteno se fabrican típicamente mediante tecnología de pulvimetalurgia. Esto implica mezclar polvo de tungsteno con otros polvos metálicos en proporciones específicas, prensar la mezcla hasta obtener una forma compacta y sinterizarla a altas temperaturas para crear láminas circulares con un punto de fusión alto y una estructura uniforme. La elección de la composición de la aleación influye en el punto de fusión. Por ejemplo, la adición de níquel y hierro puede mejorar la tenacidad, pero puede reducir ligeramente el punto de fusión; la adición de cobre o plata puede ajustar aún más el punto de fusión para equilibrar la conductividad térmica o eléctrica. Durante la producción, optimizar el proceso de sinterización es crucial para mantener el rendimiento a altas temperaturas. Por ejemplo, un control preciso de la temperatura y la presión de sinterización puede garantizar una microestructura densa del disco, manteniendo así la estabilidad del rendimiento en entornos de alta temperatura. Los discos de aleación de tungsteno ofrecen ventajas significativas en aplicaciones que requieren temperaturas extremas. Por ejemplo, en la industria aeroespacial, los discos de alto punto de fusión pueden utilizarse como componentes de alta temperatura en motores o cabinas de alta temperatura. En el procesamiento industrial, pueden soportar las condiciones extremas de hornos de alta temperatura o equipos de tratamiento térmico, manteniendo al mismo tiempo su integridad estructural. El punto de fusión controlable permite a los fabricantes ajustar el rendimiento de los discos según los requisitos específicos de la aplicación. Por ejemplo, en algunos casos, se requiere un punto de fusión más alto para soportar temperaturas extremas, mientras que en otros, puede ser necesario equilibrar el punto de fusión con otras propiedades, como la conductividad térmica.

Además, las características del punto de fusión de los discos de aleación de tungsteno están estrechamente relacionadas con su respeto al medio ambiente. Al ser un material no tóxico y reciclable, los discos de aleación de tungsteno no solo ofrecen un excelente rendimiento en aplicaciones de alta temperatura, sino que también cumplen con los requisitos de seguridad en sectores como la salud y el procesamiento de alimentos. Al optimizar la composición de la aleación y los procesos de fabricación, los discos de aleación de tungsteno pueden ofrecer un rendimiento fiable en entornos de alta temperatura, a la vez que mantienen el respeto al medio ambiente y la sostenibilidad, lo que supone un importante apoyo para las aplicaciones de alta temperatura en la industria moderna.

### 3.2.2 Estabilidad en entornos de alta temperatura

La estabilidad a altas temperaturas es un aspecto clave de la resistencia de un disco de aleación de tungsteno a altas temperaturas, refiriéndose a su capacidad para mantener sus propiedades físicas y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

químicas bajo altas temperaturas sostenidas o condiciones térmicas extremas. Mediante procesos de aleación y fabricación de precisión, los discos de aleación de tungsteno mantienen su integridad estructural, propiedades mecánicas y estabilidad química en entornos de alta temperatura, evitando la deformación, el ablandamiento o la degradación del rendimiento causada por las altas temperaturas. Esta característica los convierte en componentes críticos en la industria aeroespacial, equipos energéticos y procesamiento industrial.

Lograr la estabilidad a altas temperaturas depende de la optimización de la tecnología pulvimetalúrgica. Durante el proceso de fabricación, la mezcla uniforme de polvo de tungsteno y otros polvos metálicos es esencial para garantizar la estabilidad a altas temperaturas. La elección de la composición de la aleación influye directamente en el rendimiento de la oblea en entornos de alta temperatura. Por ejemplo, la adición de níquel y hierro puede mejorar la tenacidad y la resistencia a la oxidación de la oblea, mejorando así su estabilidad en entornos de alta temperatura. Optimizar el proceso de sinterización es clave. Por ejemplo, el prensado isostático en caliente (HIP) puede eliminar la porosidad interna, mejorar la densidad y la uniformidad estructural de la oblea y, por lo tanto, mantener un rendimiento estable en condiciones de alta temperatura.

La estabilidad de los discos de aleación de tungsteno en entornos de alta temperatura les permite destacar en diversas situaciones extremas. Por ejemplo, en equipos aeroespaciales, pueden servir como componentes de soporte o protección en motores o cámaras de combustión de alta temperatura, manteniendo así su integridad estructural. En equipos energéticos, pueden operar durante largos periodos en reactores de alta temperatura o equipos de generación de energía, resistiendo la degradación del rendimiento causada por el estrés térmico. Además, su resistencia a la corrosión les permite mantenerse estables en entornos de alta temperatura y químicamente activos, como en componentes críticos de equipos de procesamiento químico. Otra ventaja de la estabilidad a altas temperaturas es su contribución a la precisión del mecanizado. Su microestructura estable le permite mantener la precisión dimensional incluso en entornos de alta temperatura, evitando cambios dimensionales causados por la expansión o deformación térmica. Esta propiedad la hace ampliamente aplicable en la fabricación de precisión, como componente clave en equipos electrónicos o dispositivos médicos de alta temperatura. La estabilidad optimizada a altas temperaturas también aumenta la vida útil de la oblea y reduce la degradación del material causada por las altas temperaturas, lo que proporciona una solución fiable y duradera para aplicaciones industriales.

### 3.2.3 Resistencia al choque térmico

La resistencia al choque térmico es un aspecto clave del rendimiento de una oblea de aleación de tungsteno a altas temperaturas. Se refiere a su capacidad para resistir el agrietamiento o la deformación causados por tensiones térmicas en entornos con cambios rápidos de temperatura o ciclos térmicos. Mediante el tratamiento de aleación y procesos de fabricación optimizados, las obleas de aleación de tungsteno pueden mantener la integridad estructural y la estabilidad de rendimiento en condiciones de transiciones rápidas entre altas y bajas temperaturas. Esta característica les confiere una ventaja significativa en aplicaciones que requieren ciclos térmicos frecuentes, como la industria aeroespacial, los

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hornos industriales y los equipos electrónicos. La obtención de resistencia al choque térmico depende de la optimización coordinada de la composición de la aleación y el proceso de fabricación. Durante el proceso de fabricación pulvimetalúrgica, la adición de elementos como el níquel y el hierro puede mejorar la tenacidad y la resistencia a la tensión térmica de la oblea, mejorando así su resistencia al choque térmico. La optimización del proceso de sinterización es crucial para la resistencia al choque térmico. Por ejemplo, al controlar la temperatura y la presión de sinterización, se puede formar una microestructura densa, lo que reduce los defectos internos y mejora la fiabilidad de la oblea en los ciclos térmicos. Además, los procesos de tratamiento superficial, como el pulido o el recubrimiento, pueden mejorar aún más la resistencia al choque térmico de la oblea y reducir la aparición de grietas superficiales.

de tungsteno les permiten destacar en entornos con ciclos térmicos extremos. Por ejemplo, en la industria aeroespacial, mantienen la integridad estructural durante el rápido calentamiento y enfriamiento de motores o cabinas de alta temperatura. En hornos industriales, pueden soportar frecuentes ciclos de calentamiento y enfriamiento sin agrietarse ni deformarse por estrés térmico. Su bajo coeficiente de expansión térmica es clave para su resistencia al choque térmico, lo que permite que los discos mantengan la estabilidad dimensional durante las fluctuaciones de temperatura y reduzcan la deformación causada por el estrés térmico. En cuanto a sus aplicaciones, la resistencia de las obleas de aleación de tungsteno al choque térmico ofrece un gran potencial para aplicaciones de alto rendimiento. Por ejemplo, en dispositivos electrónicos, pueden servir como disipadores de calor, soportando las tensiones térmicas de los cambios bruscos de temperatura. En equipos de energía, pueden soportar el funcionamiento a largo plazo en reactores de alta temperatura o equipos de generación de energía, resistiendo la degradación del rendimiento causada por ciclos térmicos. Su no toxicidad y reciclabilidad les confieren potencial para su uso en aplicaciones sensibles como los dispositivos médicos, donde ofrecen un rendimiento fiable en entornos de alta temperatura, cumpliendo a la vez con los requisitos ambientales.

### 3.3 Propiedades superficiales de las obleas de aleación de tungsteno

tungsteno son un componente crucial de su rendimiento, lo que influye directamente en su desempeño en el mecanizado de precisión y aplicaciones funcionales. Las propiedades superficiales abarcan indicadores clave como la rugosidad, la planitud y la suavidad, logradas mediante procesos de fabricación de precisión y tecnologías de tratamiento de superficies. Estas excelentes propiedades superficiales permiten que las obleas de aleación de tungsteno destaquen en aplicaciones de alta precisión y alta fiabilidad, como la electrónica, los dispositivos médicos y la industria aeroespacial.

#### 3.3.1 Parámetros de rugosidad superficial

La rugosidad superficial es un indicador fundamental del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno. Se refiere a la desviación de la geometría microscópica de la superficie, que afecta directamente sus propiedades de contacto, características de fricción y estética. La rugosidad superficial de los discos de aleación de tungsteno se controla mediante procesos de mecanizado precisos y tecnologías de tratamiento superficial, logrando niveles extremadamente bajos para satisfacer las exigencias de las aplicaciones de alta precisión. Optimizar los parámetros de rugosidad es un paso crucial

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en la fabricación de discos de aleación de tungsteno, ya que influye directamente en su rendimiento en equipos de precisión.

tungsteno se obtienen principalmente mediante técnicas de pulvimetalurgia y su posterior tratamiento superficial. Durante el proceso de fabricación, el polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos (como níquel, hierro o cobre), se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares con una estructura uniforme. Optimizar el proceso de sinterización tiene un impacto significativo en la rugosidad superficial. Por ejemplo, controlar la temperatura y la presión de sinterización puede reducir los defectos microscópicos superficiales y crear una superficie más lisa. Posteriormente, procesos como el rectificado de precisión, el pulido o el tratamiento electroquímico reducen aún más la rugosidad superficial, logrando una superficie altamente lisa que cumple con los requisitos de las aplicaciones de precisión.

La rugosidad superficial superior de los discos de aleación de tungsteno ofrece ventajas significativas en el rendimiento de contacto y las características de fricción. Las superficies de baja rugosidad reducen la resistencia a la fricción y mejoran la conformidad de la superficie de contacto, optimizando así el rendimiento del disco en conexiones mecánicas o componentes deslizantes. Además, las superficies de baja rugosidad contribuyen a una mayor resistencia a la corrosión, ya que una superficie lisa reduce los puntos de adhesión de medios corrosivos, prolongando así la vida útil del disco. El control preciso de los parámetros de rugosidad también mejora el atractivo visual del disco, haciéndolo más atractivo en aplicaciones que requieren una estética impecable.

Optimizar la rugosidad superficial también es relevante para la sostenibilidad de los procesos de fabricación. Mediante técnicas eficientes de tratamiento superficial, se puede reducir la rugosidad, minimizando al mismo tiempo el desperdicio de material y mejorando la eficiencia de la producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno ofrecen ventajas en aplicaciones sensibles al medio ambiente. Por ejemplo, en dispositivos médicos, las superficies de baja rugosidad pueden reducir la adhesión bacteriana y mejorar la seguridad. La investigación y la optimización de la rugosidad superficial son cruciales para mejorar el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno, impulsando su aplicación generalizada en aplicaciones de alta precisión.

### 3.3.2 Precisión de planitud

La precisión de planitud es otro indicador importante del rendimiento de la superficie de las obleas de aleación de tungsteno. Se refiere al grado de desviación de la superficie de la oblea con respecto a un plano ideal y es un parámetro clave para medir la planitud de la superficie. La precisión de planitud afecta directamente el rendimiento de la oblea en aplicaciones de ensamblaje, sellado y contacto de precisión, especialmente aquellas que requieren una unión de alta precisión. Mediante procesos de fabricación avanzados y técnicas de mecanizado de precisión, las obleas de aleación de tungsteno pueden alcanzar una precisión de planitud extremadamente alta, satisfaciendo las necesidades de aplicaciones exigentes.

Lograr una planitud precisa depende de múltiples optimizaciones durante el proceso de fabricación de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

oblas de aleación de tungsteno. En la fabricación por pulvimetalurgia, la mezcla y compactación uniformes del polvo de tungsteno y otros polvos metálicos son esenciales para garantizar una planitud uniforme. Durante la sinterización a alta temperatura, el control preciso de la temperatura y la presión reduce la tensión interna y la deformación en la oblea, mejorando así la planitud de la superficie. Procesos de mecanizado de precisión posteriores, como el rectificado CNC o la nivelación láser, optimizan aún más la planitud, logrando superficies de obleas de alta precisión. Además, la aplicación del prensado isostático en caliente (HIP) elimina defectos microscópicos, mejorando aún más la precisión de la planitud.

Los discos de aleación de tungsteno con alta precisión de planitud destacan en diversas aplicaciones. Por ejemplo, en ensamblajes mecánicos de precisión, la alta planitud garantiza un ajuste perfecto entre el disco y otros componentes, reduciendo holguras y vibraciones, y mejorando la estabilidad operativa del equipo. En aplicaciones de sellado, la precisión de planitud influye directamente en la eficacia del sellado; una superficie plana se alinea perfectamente con la superficie de sellado, evitando fugas de gas o líquido. Además, la alta planitud ayuda a mejorar el rendimiento de contacto del disco, por ejemplo, cuando se utiliza como conector en dispositivos electrónicos, garantizando un contacto eléctrico estable y la transmisión de señales.

Optimizar la precisión de la planitud también está estrechamente vinculado a la eficiencia de fabricación y al respeto al medio ambiente. El mecanizado de precisión y el control de calidad pueden reducir los desechos debidos a una planitud insuficiente y mejorar la eficiencia de la producción. El carácter ecológico de las obleas de aleación de tungsteno les otorga ventajas en los sectores médico y de procesamiento de alimentos. Las superficies altamente planas reducen el riesgo de adhesión bacteriana y corrosión, lo que mejora la seguridad. La investigación y la mejora de la precisión de la planitud proporcionan soporte técnico para la aplicación de obleas de aleación de tungsteno en aplicaciones de alta precisión.

### 3.3.3 Efecto del acabado superficial en el uso

El acabado superficial es un aspecto crucial del rendimiento de un disco de aleación de tungsteno. Se refiere a la suavidad y la calidad visual obtenidas tras el procesamiento, lo que influye directamente en su funcionalidad y durabilidad. El acabado superficial no solo afecta la apariencia del disco, sino que también influye profundamente en su fricción, resistencia a la corrosión y propiedades de contacto. Mediante sofisticados procesos de tratamiento superficial, los discos de aleación de tungsteno pueden lograr un acabado superficial de alta calidad, satisfaciendo las necesidades de diversas aplicaciones exigentes.

Lograr un acabado superficial liso depende de la optimización coordinada de los procesos de fabricación y posprocesamiento de obleas de aleación de tungsteno. Durante el proceso de fabricación pulvimetalúrgica, la mezcla y sinterización del polvo de tungsteno con otros polvos metálicos requiere un control preciso para formar una microestructura uniforme, sentando las bases para el posterior tratamiento superficial. Procesos como el pulido de precisión, el pulido químico o el tratamiento

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electroquímico son clave para mejorar el acabado superficial, reduciendo significativamente la rugosidad superficial y logrando un efecto espejo. Además, la aplicación de tecnología de recubrimiento de superficies puede mejorar aún más el acabado, mejorando la resistencia a la corrosión y al desgaste de la oblea.

Un buen acabado superficial tiene varios efectos positivos en el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno. En primer lugar, una superficie de alta calidad puede reducir significativamente el coeficiente de fricción, lo que reduce el desgaste de la oblea en situaciones de deslizamiento o contacto, prolongando así su vida útil. En segundo lugar, una superficie lisa reduce el número de puntos de adhesión en medios corrosivos, lo que mejora la resistencia a la corrosión de la oblea y le permite mantener su rendimiento a largo plazo en entornos húmedos o con exposición a sustancias químicas. Además, una superficie de alta calidad puede ayudar a mejorar el rendimiento del contacto. Por ejemplo, al utilizarse como componente de contacto eléctrico en dispositivos electrónicos, puede reducir la resistencia de contacto y mejorar la eficiencia de la transmisión de señales.

La optimización del acabado superficial también demuestra avances en la fabricación de discos de aleación de tungsteno. Mediante técnicas eficientes de tratamiento superficial, se puede lograr un acabado superficial mejorado, reduciendo al mismo tiempo el consumo de material y energía, aumentando así la eficiencia de la producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en aplicaciones sensibles al medio ambiente. Su alto acabado superficial reduce la adhesión de contaminantes, cumpliendo con los requisitos de seguridad de los equipos médicos y de procesamiento de alimentos. La investigación sobre el acabado superficial proporciona un importante respaldo para la optimización del rendimiento y la expansión de las aplicaciones de los discos de aleación de tungsteno, impulsando su desarrollo en entornos de alta precisión y alta fiabilidad.

### 3.4 Dureza y resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno

de tungsteno les permiten destacar en entornos de alta carga y fricción, lo que influye directamente en su aplicación en estructuras mecánicas, componentes resistentes al desgaste y herramientas industriales. La dureza determina la capacidad del disco para resistir la deformación y el rayado, mientras que la resistencia al desgaste determina su durabilidad bajo fricción a largo plazo. Gracias a una composición de aleación optimizada y a procesos de fabricación avanzados, los discos de aleación de tungsteno combinan alta dureza y excelente resistencia al desgaste, satisfaciendo las necesidades de diversos entornos exigentes.

#### 3.4.1 Rango del índice de dureza

La dureza es un indicador clave del rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno, y se refiere a su capacidad para resistir la deformación, el rayado o la indentación debido a fuerzas externas. Es un parámetro clave para medir su resistencia mecánica. El tungsteno posee una dureza extremadamente alta, cercana a los niveles más altos encontrados en materiales naturales. Al alearlo con otros elementos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

metálicos (como níquel, hierro o cobre), se pueden mejorar su tenacidad y propiedades de procesamiento, manteniendo al mismo tiempo una alta dureza, lo que permite que las obleas se adapten a diversas aplicaciones. Este rango flexible de dureza permite que las obleas de aleación de tungsteno satisfagan diversas necesidades, desde componentes de precisión hasta herramientas de alta resistencia.

tungsteno se obtienen mediante pulvimetalurgia. Durante el proceso de fabricación, el polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos en proporciones específicas, se prensa y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares de alta dureza y estructura uniforme. La elección de la composición de la aleación influye significativamente en la dureza. Por ejemplo, la adición de níquel puede mejorar la tenacidad manteniendo una dureza alta; la adición de hierro mejora aún más la dureza, pero puede reducir ligeramente la ductilidad. Optimizar el proceso de sinterización es crucial para la dureza. Por ejemplo, controlando la temperatura y la presión de sinterización, se puede formar una microestructura densa, lo que mejora la dureza y la resistencia a la deformación del disco.

de tungsteno son ideales para aplicaciones que requieren resistencia a la tensión mecánica. Por ejemplo, en procesos industriales, los discos de alta dureza pueden utilizarse como componentes de moldes o herramientas, resistiendo la deformación causada por corte o impacto. En estructuras mecánicas, su alta dureza garantiza la estabilidad del disco bajo cargas elevadas. La flexibilidad del rango de índices de dureza permite a los fabricantes ajustar el rendimiento del disco según las necesidades específicas, como aumentar el contenido de tungsteno en aplicaciones que requieren alta dureza u optimizar la proporción de níquel o hierro en aplicaciones que requieren un equilibrio entre dureza y tenacidad.

La optimización de la dureza también está relacionada con la sostenibilidad del proceso de fabricación. Mediante técnicas eficientes de sinterización y tratamiento de superficies, se puede aumentar la dureza, reduciendo al mismo tiempo el desperdicio de material y mejorando la eficiencia de la producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno los confieren ventajas en aplicaciones sensibles al medio ambiente. Por ejemplo, en dispositivos médicos o equipos de procesamiento de alimentos, los discos de alta dureza pueden ofrecer un rendimiento fiable y cumplir con los requisitos de seguridad. La investigación sobre la dureza proporciona un importante apoyo para optimizar el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno y promueve su aplicación en entornos de alta carga.

### 3.4.2 Rendimiento de resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste es la capacidad de un disco de aleación de tungsteno para mantener su rendimiento en entornos de fricción y desgaste, lo que se refiere a la capacidad de su superficie para resistir el desgaste, el rayado o la pérdida de material. Esta resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno se debe a su alta dureza y microestructura optimizada, lo que les permite mantener la integridad de la superficie a lo largo del tiempo en entornos de alta fricción y carga. Esta superior resistencia al desgaste es prometedora para una amplia gama de aplicaciones en herramientas industriales, componentes mecánicos y recubrimientos resistentes al desgaste. Lograr la resistencia al desgaste depende de múltiples optimizaciones durante el proceso de fabricación de discos de aleación de tungsteno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En la fabricación por pulvimetalurgia, la mezcla uniforme del polvo de tungsteno con otros polvos metálicos (como níquel y hierro) y la sinterización a alta temperatura son fundamentales para garantizar la resistencia al desgaste. La adición de níquel y hierro mejora la tenacidad y la resistencia al impacto de los discos y reduce las microfisuras que pueden producirse durante la fricción. Optimizar el proceso de sinterización es crucial para la resistencia al desgaste. Por ejemplo, el prensado isostático en caliente (HIP) puede eliminar la porosidad interna y formar una microestructura densa, mejorando así la resistencia al desgaste del disco. Los tratamientos superficiales, como el pulido o el recubrimiento, pueden mejorar aún más la resistencia al desgaste y reducir el desgaste superficial.

de tungsteno destacan en entornos de alta fricción. Por ejemplo, en procesos industriales, pueden utilizarse como componentes de moldes o herramientas de corte para resistir el desgaste causado por el corte a alta velocidad o la fricción. En equipos mecánicos, pueden servir como componentes deslizantes para reducir la pérdida de material causada por la fricción a largo plazo. Su resistencia a la corrosión también contribuye a su resistencia al desgaste, lo que permite que los discos mantengan la integridad de la superficie en entornos húmedos o químicos, evitando el desgaste acelerado por la corrosión.

La optimización de la resistencia al desgaste también refleja su integración con la eficiencia de fabricación. Mediante un tratamiento superficial y un control de calidad eficientes, se puede mejorar la resistencia al desgaste y, al mismo tiempo, reducir los costos de producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en sectores ambientalmente sensibles. Por ejemplo, en dispositivos médicos o equipos de procesamiento de alimentos, los discos de alta resistencia al desgaste pueden reducir la frecuencia de mantenimiento y prolongar la vida útil del equipo.

### 3.4.3 Relación entre dureza y resistencia al desgaste

La dureza y la resistencia al desgaste son dos aspectos estrechamente relacionados del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno. La dureza afecta directamente a la resistencia al desgaste, mientras que esta refleja su eficacia en el uso real. La dureza, como la capacidad de un material para resistir la deformación y el rayado, es la base de la resistencia al desgaste. Una mayor dureza generalmente implica una mayor resistencia al desgaste. Sin embargo, la relación entre dureza y resistencia al desgaste no es lineal y también se ve afectada por la composición de la aleación, la microestructura y el tratamiento superficial. Al optimizar estos factores, los discos de aleación de tungsteno pueden lograr un equilibrio ideal entre dureza y resistencia al desgaste.

La relación entre dureza y resistencia al desgaste se refleja en el proceso de fabricación. En la fabricación por pulvimetalurgia, la alta dureza del tungsteno constituye la base de la resistencia al desgaste, mientras que la adición de elementos como el níquel y el hierro puede mejorar la tenacidad y prevenir la fragilidad causada por la alta dureza, mejorando así la resistencia al desgaste. La optimización del proceso de sinterización es crucial para la relación entre ambos. Por ejemplo, mediante un control preciso de la temperatura de sinterización, se puede formar una microestructura densa, aumentar la dureza y reducir las microfisuras que pueden producirse durante la fricción. Los procesos de tratamiento superficial, como

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el pulido o el recubrimiento duro, pueden potenciar aún más el efecto sinérgico de la dureza y la resistencia al desgaste, aumentando así la resistencia de la superficie de la oblea.

Una alta dureza proporciona una base sólida para la resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno. Por ejemplo, en discos de alta dureza, la superficie resiste eficazmente los arañazos y el desgaste, manteniendo su integridad durante un uso prolongado. Sin embargo, una dureza excesiva puede resultar en una tenacidad insuficiente, haciendo que el disco sea susceptible a agrietarse en entornos de alto impacto o vibración. Por lo tanto, es fundamental optimizar el equilibrio entre dureza y tenacidad mediante tratamientos de aleación. Por ejemplo, aumentar el contenido de níquel puede mejorar la tenacidad, mejorando así la resistencia al desgaste y manteniendo una alta dureza. Esta relación permite que los discos de aleación de tungsteno tengan un buen rendimiento en diversos entornos de fricción.

La relación entre la dureza y la resistencia al desgaste también se refleja en su integración con la protección del medio ambiente. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en los sectores médico y de procesamiento de alimentos. La combinación de alta dureza y resistencia al desgaste puede reducir la frecuencia de reemplazo de componentes y el consumo de recursos. Al optimizar el proceso de fabricación, es posible mejorar la dureza y la resistencia al desgaste, a la vez que se reduce el desperdicio de energía y se mejora la eficiencia de la producción.

### 3.5 Resistencia y tenacidad de los discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son fundamentales para sus propiedades mecánicas, lo que influye directamente en su rendimiento en entornos dinámicos y de alta carga. La resistencia, que abarca tanto la resistencia a la tracción como a la flexión, refleja la capacidad del disco para resistir la deformación por estiramiento y flexión; la tenacidad, reflejada en la tenacidad al impacto, determina la resistencia del disco a la fractura por impacto o vibración. Gracias a una composición de aleación optimizada y a procesos de fabricación avanzados, los discos de aleación de tungsteno logran un equilibrio ideal entre resistencia y tenacidad, satisfaciendo diversos requisitos, desde componentes de precisión hasta estructuras de alta resistencia.

#### 3.5.1 Valor de resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es una propiedad mecánica clave de los discos de aleación de tungsteno, que define su capacidad para resistir la fractura bajo cargas de tracción y sirve como parámetro clave para medir su resistencia y fiabilidad. Si bien el tungsteno posee una resistencia excepcional por naturaleza, su fragilidad limita sus aplicaciones directas. Al alear los discos de aleación de tungsteno con otros elementos metálicos (como níquel, hierro o cobre), se puede mantener una alta resistencia a la tracción, a la vez que se mejoran la tenacidad y las propiedades de procesamiento, lo que los hace adecuados para diversas situaciones de cargas elevadas. Se logra una amplia gama de valores de resistencia a la tracción mediante la optimización de la composición de la aleación y los procesos de fabricación, satisfaciendo así diversos requisitos, desde instrumentos de precisión hasta equipos pesados.

de tungsteno se obtienen mediante pulvimetalurgia. Durante el proceso de fabricación, se mezclan polvo

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungsteno y otros polvos metálicos en proporciones específicas, se prensan para darles forma y se sinterizan a altas temperaturas para formar discos circulares de alta resistencia y estructura uniforme. La elección de la composición de la aleación influye significativamente en la resistencia a la tracción. Por ejemplo, la adición de níquel puede mejorar la tenacidad y la resistencia a la tracción, mientras que la adición de hierro aumenta aún más la resistencia, pero puede reducir ligeramente la ductilidad. Optimizar el proceso de sinterización es crucial para la resistencia a la tracción. Por ejemplo, el prensado isostático en caliente puede eliminar defectos internos y formar una microestructura densa, mejorando así la resistencia a la tracción del disco.

Los discos de aleación de tungsteno con alta resistencia a la tracción son excelentes en aplicaciones que requieren cargas de tracción. Por ejemplo, en estructuras mecánicas, pueden servir como componentes de soporte, resistiendo la tensión de tracción y garantizando la estabilidad estructural. En la industria aeroespacial, su alta resistencia a la tracción les permite servir como componentes de conexión, soportando fuerzas de tracción en entornos de alta carga. La resistencia a la tracción controlable permite a los fabricantes adaptar el rendimiento del disco a necesidades específicas, como aumentar el contenido de tungsteno para aplicaciones que requieren alta resistencia u optimizar la proporción de níquel o hierro para aplicaciones que requieren un equilibrio entre resistencia y tenacidad.

Optimizar la resistencia a la tracción también está relacionado con la sostenibilidad del proceso de fabricación. Mediante técnicas eficientes de sinterización y procesamiento, es posible aumentar la resistencia a la tracción, a la vez que se reduce el desperdicio de material y se mejora la eficiencia de la producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en sectores ambientalmente sensibles. Por ejemplo, en dispositivos médicos o equipos de procesamiento de alimentos, los discos de alta resistencia a la tracción pueden ofrecer un rendimiento fiable y cumplir con los requisitos de seguridad.

### 3.5.2 Rendimiento de resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión, la capacidad de un disco de aleación de tungsteno para resistir la deformación y la fractura bajo cargas de flexión, es un indicador clave de sus propiedades mecánicas e influye directamente en su rendimiento en entornos de tensión complejos. Mediante la optimización de los procesos de aleación y fabricación, los discos de aleación de tungsteno mantienen una alta resistencia a la flexión, a la vez que mejoran su tenacidad, previniendo así la fractura frágil causada por la tensión de flexión. Esta resistencia a la flexión les confiere una ventaja significativa en aplicaciones que requieren cargas de flexión, como estructuras mecánicas, la industria aeroespacial y el utillaje industrial.

La obtención de resistencia a la flexión depende de la optimización de la tecnología pulvimetalúrgica. Durante el proceso de fabricación, la mezcla uniforme de polvo de tungsteno y otros polvos metálicos (como níquel y hierro) y la sinterización a alta temperatura son fundamentales para garantizar dicha resistencia. La adición de níquel y hierro mejora la tenacidad y la resistencia al agrietamiento de la oblea y reduce la posibilidad de fractura por flexión. La optimización del proceso de sinterización es crucial para la resistencia a la flexión. Por ejemplo, al controlar la temperatura y la presión de sinterización, se

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

puede formar una microestructura densa que mejora la resistencia a la flexión de la oblea. Además, los procesos de tratamiento superficial, como el pulido o el recubrimiento, pueden mejorar aún más la resistencia a la flexión y reducir la concentración de tensiones causada por defectos superficiales.

de tungsteno les permiten destacar en entornos de tensión complejos. Por ejemplo, en maquinaria industrial, pueden servir como soportes o conectores, resistiendo tensiones de flexión y garantizando la estabilidad estructural. En la industria aeroespacial, su alta resistencia a la flexión les permite soportar las complejas tensiones generadas por aeronaves de alta velocidad. Su alta resistencia a la temperatura y a la corrosión mejora aún más su resistencia a la flexión, permitiendo que los discos mantengan un rendimiento estable en entornos de alta temperatura o químicos, evitando la degradación de la resistencia causada por factores ambientales.

La optimización de la resistencia a la flexión también demuestra avances en la eficiencia de fabricación de discos de aleación de tungsteno. Mediante técnicas eficientes de procesamiento y control de calidad, se puede aumentar la resistencia a la flexión y reducir los costos de producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno ofrecen ventajas en aplicaciones sensibles al medio ambiente, como dispositivos médicos o equipos de procesamiento de alimentos. Los discos de alta resistencia a la flexión ofrecen un rendimiento fiable y cumplen con los requisitos de seguridad y medioambientales.

### 3.5.3 Índice de tenacidad al impacto

La tenacidad al impacto es la capacidad de un disco de aleación de tungsteno para resistir la fractura bajo cargas de impacto o vibración. Es un indicador clave de su tenacidad e influye directamente en su fiabilidad en entornos dinámicos. El tungsteno posee una alta dureza inherente, pero una tenacidad relativamente baja. Al alearlo con otros elementos metálicos (como el níquel y el hierro), los discos de aleación de tungsteno pueden mejorar significativamente su tenacidad al impacto, previniendo la fractura frágil causada por impactos o vibraciones. Esta tenacidad al impacto se logra mediante la optimización de la composición de la aleación y el proceso de fabricación, lo que permite que el disco mantenga un rendimiento estable en entornos de alto impacto.

Lograr la tenacidad al impacto depende de múltiples optimizaciones durante el proceso de fabricación pulvimetalúrgica. La adición de níquel y hierro es clave para mejorar la tenacidad al impacto, aumentar la ductilidad y la resistencia al agrietamiento del disco, y reducir las posibles fracturas bajo cargas de impacto. Optimizar el proceso de sinterización es crucial para la tenacidad al impacto. Por ejemplo, el prensado isostático en caliente (HIP) puede crear una microestructura densa y eliminar la porosidad interna, mejorando así la resistencia al impacto del disco. Además, tratamientos superficiales como el pulido o el recubrimiento duro pueden reducir los defectos superficiales y mejorar la durabilidad del disco en entornos de impacto.

de tungsteno les permiten destacar en entornos dinámicos. Por ejemplo, en equipos mecánicos, pueden actuar como componentes deslizantes o giratorios, soportando vibraciones e impactos para mantener la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

integridad estructural. En la industria aeroespacial, pueden servir como componentes de conexión o soporte, resistiendo las fuerzas de impacto de la operación de aeronaves. Su alta resistencia a la temperatura y a la corrosión mejora aún más su tenacidad al impacto, lo que permite que los discos mantengan su tenacidad en entornos de alta temperatura o químicos, previniendo la degradación del rendimiento causada por factores ambientales.

La optimización de la tenacidad al impacto también está relacionada con el respeto al medio ambiente de las obleas de aleación de tungsteno. Sus propiedades no tóxicas y reciclables las hacen ventajosas en los sectores médico y de procesamiento de alimentos. Las obleas de alta tenacidad al impacto pueden reducir la frecuencia de reemplazo de componentes y el consumo de recursos. Mediante procesos de fabricación eficientes, se puede lograr una mayor tenacidad al impacto, a la vez que se reduce el desperdicio de energía y se mejora la eficiencia de la producción.

### 3.5.4 Efecto de la resistencia en la aplicación de discos de aleación de tungsteno

La resistencia es una propiedad mecánica fundamental de los discos de aleación de tungsteno, que abarca la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y otros atributos, lo que influye directamente en su rendimiento en entornos de alta carga. La resistencia determina la capacidad del disco para resistir la deformación, la fractura y la tensión, lo que le permite desempeñar un papel clave en aplicaciones que requieren un alto rendimiento mecánico. Mediante procesos de aleación, como la adición de elementos como níquel y hierro, los discos de aleación de tungsteno mantienen una alta resistencia a la vez que mejoran su tenacidad, manteniendo así la estabilidad estructural en entornos de tensión complejos.

La influencia de la resistencia en la aplicación de discos de aleación de tungsteno se refleja en muchos aspectos. En primer lugar, su alta resistencia permite que los discos soporten mayores tensiones mecánicas, lo que los hace adecuados para su uso como componentes de soporte o conexión en estructuras mecánicas. Por ejemplo, en equipos aeroespaciales, los discos de alta resistencia pueden utilizarse como componentes de motores o fuselajes, resistiendo las tensiones de tracción y flexión durante el funcionamiento a alta velocidad y garantizando la fiabilidad del equipo. En segundo lugar, la resistencia también afecta a la durabilidad de los discos. Los discos de alta resistencia pueden resistir la fatiga y la deformación durante el uso prolongado, lo que prolonga su vida útil. Además, la resistencia está relacionada con el rendimiento del procesamiento. Los discos de alta resistencia pueden mantener la precisión dimensional mediante un procesamiento de precisión, satisfaciendo así las necesidades de las aplicaciones de alta precisión.

Durante el proceso de fabricación, optimizar la resistencia depende del control preciso de la tecnología pulvimetalúrgica. La mezcla de polvo de tungsteno con otros polvos metálicos y el proceso de sinterización a alta temperatura crean una microestructura densa que mejora la resistencia a la tracción y a la flexión de la oblea. Procesos avanzados como el prensado isostático en caliente mejoran aún más la uniformidad de la resistencia, reducen los defectos internos y garantizan la fiabilidad de la oblea en entornos de alta carga. Ajustar la composición de la aleación también es crucial. Por ejemplo, aumentar el contenido de níquel puede equilibrar la resistencia y la tenacidad para satisfacer las necesidades de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diferentes escenarios.

La resistencia de las obleas de aleación de tungsteno también está relacionada con su respeto al medio ambiente. Las obleas de alta resistencia reducen la frecuencia de reemplazo de componentes, disminuyen el consumo de recursos y cumplen con los requisitos de desarrollo sostenible. Su naturaleza no tóxica les otorga ventajas en los sectores médico y de procesamiento de alimentos, permitiendo un rendimiento fiable en entornos de alta carga, cumpliendo a la vez con las normas de seguridad. Su resistencia optimizada proporciona una base sólida para la aplicación de obleas de aleación de tungsteno en entornos de alta tensión, impulsando su desarrollo generalizado en la industria moderna.

### 3.5.5 Efecto de la tenacidad en la aplicación de obleas de aleación de tungsteno

La tenacidad es la capacidad de un disco de aleación de tungsteno para resistir la fractura en entornos dinámicos, especialmente en condiciones de impacto o vibración, lo que previene la fractura frágil y mantiene la integridad estructural. El tungsteno posee inherentemente una alta dureza, pero una tenacidad relativamente baja. Mediante procesos de aleación, como la adición de elementos como níquel y hierro, los discos de aleación de tungsteno mejoran significativamente su tenacidad al impacto, lo que les permite destacar en entornos dinámicos complejos. La tenacidad tiene un profundo impacto en la aplicación del disco, determinando su fiabilidad en situaciones caracterizadas por altas vibraciones, impactos o cargas cíclicas.

El impacto de la tenacidad en la aplicación de discos de aleación de tungsteno se refleja principalmente en su resistencia a la fractura y durabilidad a largo plazo. Una alta tenacidad permite que el disco resista la formación y expansión de grietas en entornos de impacto o vibración. Por ejemplo, como componente deslizante o giratorio en equipos mecánicos, puede soportar cargas dinámicas frecuentes y mantener un rendimiento estable. En el sector aeroespacial, los discos de alta tenacidad pueden servir como componentes de conexión o soporte para resistir las fuerzas de impacto durante la operación de aeronaves y garantizar la integridad estructural. Además, la tenacidad también afecta el rendimiento de procesamiento del disco. Los discos de alta tenacidad pueden procesarse en formas complejas mediante procesos como el torneado y el fresado, manteniendo al mismo tiempo la estabilidad estructural. Durante el proceso de fabricación, la optimización de la tenacidad se basa en el efecto sinérgico de la composición y el procesamiento de la aleación. La adición de níquel y hierro mejora significativamente la ductilidad y la resistencia al agrietamiento de la oblea, mientras que la sinterización a alta temperatura y el prensado isostático en caliente (HIP) crean una microestructura densa, reducen los defectos internos y mejoran la tenacidad al impacto. Los tratamientos superficiales, como el pulido o el recubrimiento, también pueden mejorar la tenacidad y reducir la aparición de grietas superficiales. El control preciso de la composición de la aleación permite que la oblea alcance un equilibrio entre tenacidad y resistencia para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones.

La optimización de la tenacidad también demuestra las ventajas medioambientales de las obleas de aleación de tungsteno. Las obleas de alta tenacidad pueden reducir los fallos de los componentes debido a impactos o vibraciones, reducir la frecuencia de mantenimiento y sustitución, y minimizar el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desperdicio de recursos. Sus propiedades no tóxicas y reciclables ofrecen amplias posibilidades de aplicación en los sectores médico y de procesamiento de alimentos, lo que permite un rendimiento fiable en entornos dinámicos, cumpliendo a la vez con los requisitos de seguridad y medioambientales. La investigación en tenacidad proporciona soporte técnico para la aplicación de obleas de aleación de tungsteno en escenarios altamente dinámicos, sentando las bases para su desarrollo en la industria moderna.

### 3.6 Rendimiento de protección contra la radiación de los discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son una característica clave en aplicaciones especializadas. Gracias a su alta densidad y alto número atómico, absorben y bloquean eficazmente la radiación de alta energía, como los rayos X y los rayos gamma. Esta propiedad los hace irremplazables en los campos médico, científico e industrial, sirviendo como componentes de blindaje para proteger equipos y personal de los riesgos de la radiación. Las propiedades de blindaje contra la radiación de los discos de aleación de tungsteno se logran mediante una composición optimizada de la aleación y procesos de fabricación mejorados, lo que les permite proporcionar una protección fiable en entornos de alta radiación.

El rendimiento del blindaje contra la radiación depende de la alta densidad y la microestructura uniforme de los discos de aleación de tungsteno. Durante el proceso de fabricación pulvimetalúrgica, el polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos (como níquel y hierro), se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. La alta densidad es fundamental para el rendimiento del blindaje, ya que permite que los discos absorban eficazmente la radiación de alta energía y reduzcan la probabilidad de penetración. Optimizar la composición de la aleación tiene un impacto significativo en el rendimiento del blindaje. Por ejemplo, la adición de níquel y hierro mejora la tenacidad y garantiza la estabilidad estructural en entornos de alta radiación. Optimizar el proceso de sinterización, como el prensado isostático en caliente, puede eliminar la porosidad interna y mejorar la uniformidad de la densidad, mejorando así la eficacia del blindaje.

de tungsteno se utilizan ampliamente en dispositivos médicos. Por ejemplo, pueden servir como componentes de blindaje en máquinas de rayos X o escáneres CT, protegiendo a pacientes y personal médico de los riesgos de la radiación. En el sector de la energía nuclear, su alta densidad y resistencia a la corrosión los convierten en la opción ideal para componentes de protección radiológica. En comparación con los materiales de blindaje tradicionales, como el plomo, los discos de aleación de tungsteno son no tóxicos y reciclables, y pueden lograr el mismo efecto de blindaje con un espesor menor, lo que reduce el uso de material y el peso del equipo.

Optimizar el rendimiento del blindaje radiológico también está relacionado con la eficiencia de fabricación y el respeto al medio ambiente. Las técnicas eficientes de sinterización y procesamiento pueden mejorar el rendimiento del blindaje, a la vez que reducen el desperdicio de material y aumentan la eficiencia de la producción. Su naturaleza no tóxica lo hace muy solicitado en los campos de la investigación médica y científica, cumpliendo con rigurosas normas de seguridad y medioambientales. La investigación sobre las propiedades de blindaje radiológico proporciona una base científica para la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aplicación de obleas de aleación de tungsteno en entornos de alta radiación, lo que promueve su amplio desarrollo en los campos médico, científico e industrial.

### 3.6.1 Efecto de protección contra los rayos gamma

tungsteno contra los rayos gamma es un indicador clave de su capacidad de blindaje contra la radiación. Esto se debe a su alta densidad y alto número atómico, que absorben eficazmente los rayos gamma de alta energía y reducen su potencial de penetración. Los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas altamente penetrantes, frecuentes en centrales nucleares, radioterapia médica y experimentos de investigación científica, que requieren materiales de blindaje con una densidad y estabilidad extremadamente altas. Los discos de aleación de tungsteno se someten a tratamientos de aleación, como la adición de elementos como níquel y hierro, para mantener su alta densidad a la vez que mejoran su tenacidad y estabilidad estructural, lo que resulta en un excelente blindaje contra los rayos gamma.

Los discos de aleación de tungsteno se fabrican mediante técnicas de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos, se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. Optimizar la composición de la aleación es crucial para la eficacia del blindaje contra rayos gamma. Por ejemplo, la adición de níquel mejora la tenacidad del disco, previniendo el agrietamiento por tensión en entornos de alta radiación. Optimizar el proceso de sinterización, como el prensado isostático en caliente, elimina la porosidad interna y mejora la uniformidad de la densidad, mejorando así la capacidad del disco para absorber rayos gamma. Los tratamientos superficiales, como el pulido, también pueden reducir los defectos superficiales y garantizar una eficacia de blindaje constante.

La eficacia de blindaje de los discos de aleación de tungsteno contra los rayos gamma les confiere ventajas significativas en entornos de alta radiación. Por ejemplo, en el ámbito médico, pueden servir como componentes de blindaje para equipos de radioterapia, protegiendo a pacientes y personal médico de los efectos nocivos de los rayos gamma. En las centrales nucleares, su alta densidad y estabilidad los convierten en materiales de blindaje ideales para reactores o equipos de eliminación de residuos. Sus propiedades no tóxicas los hacen más respetuosos con el medio ambiente que los materiales de blindaje tradicionales, como el plomo, lo que los hace adecuados para su uso en investigación médica y científica. La alta densidad de los discos de aleación de tungsteno también les permite lograr una excelente eficacia de blindaje con un espesor relativamente fino, lo que reduce el peso del equipo y aumenta la flexibilidad de diseño.

La optimización del blindaje contra rayos gamma también mejora la eficiencia de fabricación y el respeto al medio ambiente. Las técnicas eficientes de sinterización y procesamiento mejoran el rendimiento del blindaje y reducen el desperdicio de material. Su reciclabilidad ofrece ventajas en el reciclaje de recursos, cumpliendo con los requisitos de desarrollo sostenible de la industria moderna. La eficacia del blindaje contra rayos gamma de las obleas de aleación de tungsteno proporciona una solución de protección fiable en entornos de alta radiación, lo que impulsa su amplia aplicación en la investigación médica y científica.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.6.2 Capacidad de protección contra rayos X

La capacidad de los discos de aleación de tungsteno para protegerse de los rayos X es otro aspecto clave de su rendimiento de protección contra la radiación. Gracias a su alta densidad y alto número atómico, absorben y bloquean eficazmente los rayos X, reduciendo el riesgo de penetración de estos en equipos o personal. Los rayos X se utilizan ampliamente en diagnósticos médicos, pruebas industriales e investigación científica, lo que requiere materiales de protección de alta densidad y excelente estabilidad estructural. Gracias a la tecnología de aleación y a los procesos de fabricación de precisión, los discos de aleación de tungsteno ofrecen un excelente rendimiento de protección contra los rayos X, cumpliendo con los requisitos de alta precisión y seguridad.

Durante el proceso de fabricación, los discos de aleación de tungsteno se fabrican mediante tecnología de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con otros polvos metálicos (como níquel, hierro o cobre), el prensado, el conformado y la sinterización a alta temperatura, se forman discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. La elección de la composición de la aleación influye significativamente en la capacidad de protección contra rayos X. Por ejemplo, la adición de níquel y hierro puede mejorar la tenacidad y la resistencia al agrietamiento del disco, garantizando así su integridad estructural en entornos de alta radiación. Optimizar el proceso de sinterización, como controlar la temperatura y la presión, puede aumentar la densidad y la uniformidad del disco, mejorando así su capacidad de absorción de rayos X. Los procesos de tratamiento superficial, como el pulido o el recubrimiento, mejoran aún más la estabilidad del rendimiento del disco.

La capacidad de los discos de aleación de tungsteno para protegerse de los rayos X los hace ampliamente utilizados en los sectores médico e industrial. Por ejemplo, pueden servir como componentes de protección en máquinas de rayos X o escáneres CT, protegiendo a operadores y pacientes de los riesgos de la radiación. En ensayos no destructivos industriales, su alta densidad bloquea eficazmente los rayos X, garantizando la seguridad del proceso de inspección. Su no toxicidad y reciclabilidad les confieren ventajas en aplicaciones sensibles al medio ambiente, como los equipos médicos, donde cumplen con rigurosas normas de seguridad y medioambientales. La alta densidad de los discos de aleación de tungsteno también permite un blindaje eficiente con espesores relativamente finos, optimizando así el diseño del dispositivo.

La optimización de la capacidad de blindaje contra rayos X también está relacionada con la eficiencia de fabricación. Las técnicas eficientes de procesamiento y control de calidad pueden mejorar el rendimiento del blindaje y, al mismo tiempo, reducir los costos de producción. Su reciclabilidad ofrece ventajas en el aprovechamiento de recursos y reduce el impacto ambiental. La capacidad de blindaje contra rayos X de las obleas de aleación de tungsteno proporciona un soporte fiable para sus aplicaciones en diagnósticos médicos y pruebas industriales, impulsando su desarrollo en aplicaciones de alta precisión.

### 3.6.3 Relación entre el rendimiento del blindaje y el espesor

tungsteno están estrechamente relacionados con su espesor, lo que afecta directamente su capacidad para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

absorber radiación de alta energía, como rayos gamma y rayos X. La alta densidad es fundamental para el rendimiento de blindaje de un disco de aleación de tungsteno, mientras que el espesor determina el grado de atenuación de la radiación. Ajustando el espesor del disco, se pueden lograr distintos grados de efectividad de blindaje, satisfaciendo así requisitos que van desde protección contra la radiación de baja hasta alta intensidad. Esta relación proporciona a los discos de aleación de tungsteno un alto grado de flexibilidad en diseño y aplicación, lo que permite optimizar el rendimiento de blindaje según las necesidades específicas.

Durante el proceso de fabricación, el espesor de los discos de aleación de tungsteno se controla con precisión mediante técnicas y procesos de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos, se compacta y se sinteriza a altas temperaturas para formar discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. El control del espesor requiere una consideración exhaustiva de la composición de la aleación y del proceso de sinterización. Por ejemplo, el prensado isostático en caliente (HIP) puede mejorar la uniformidad de la densidad del disco, garantizando una eficacia de blindaje uniforme en diferentes espesores. Técnicas de procesamiento posteriores, como el rectificado o el torneado, permiten ajustar con precisión el espesor del disco para satisfacer requisitos de blindaje específicos.

La relación entre el rendimiento del blindaje y su espesor se refleja en su capacidad para atenuar la radiación. Los discos más gruesos absorben mayor energía de radiación y son adecuados para entornos de alta intensidad de radiación, como centrales nucleares o equipos de radioterapia; los discos más delgados son adecuados para escenarios de baja intensidad de radiación, como equipos de diagnóstico médico. La flexibilidad del espesor del disco de aleación de tungsteno permite lograr una eficacia de blindaje óptima en diferentes escenarios, a la vez que optimiza el uso del material y el peso del dispositivo. Su alta densidad le permite lograr una eficacia de blindaje comparable a la de los materiales tradicionales con un espesor menor, lo que mejora la eficiencia del diseño.

La optimización del espesor también está relacionada con el rendimiento ambiental y la eficiencia de fabricación. Un control preciso del espesor permite cumplir con los requisitos de blindaje, a la vez que reduce el desperdicio de material y mejora el aprovechamiento de los recursos. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en la investigación médica y científica, cumpliendo con los requisitos de seguridad y medioambientales. La investigación sobre la relación entre el rendimiento de blindaje y el espesor proporciona una base científica para el diseño y la aplicación de los discos de aleación de tungsteno, promoviendo su uso generalizado en entornos de alta radiación.

#### **3.6.4 Comparación con la eficacia del blindaje con plomo**

Los discos de aleación de tungsteno ofrecen importantes ventajas de blindaje sobre los materiales tradicionales de plomo, especialmente en términos de alta densidad, respeto al medio ambiente y flexibilidad de aplicación. El plomo, un material de blindaje tradicional, se utiliza ampliamente en protección radiológica debido a su alta densidad y bajo coste, pero su toxicidad e impacto ambiental

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

limitan su aplicación en ciertas áreas. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, no toxicidad y reciclabilidad, son una alternativa ideal al plomo, proporcionando un blindaje más seguro y eficaz en aplicaciones médicas, científicas e industriales.

tungsteno se obtienen gracias a su alta densidad y alto número atómico, que absorben eficazmente los rayos gamma y X. En comparación con el plomo, los discos de aleación de tungsteno suelen ofrecer una mayor eficiencia de blindaje con el mismo espesor, lo que permite el mismo efecto protector con espesores más delgados, reduciendo el uso de material y el peso del equipo. Se fabrican mediante técnicas de pulvimetalurgia. Mediante la mezcla de polvo de tungsteno con otros polvos metálicos, el prensado y conformado, y posteriormente la sinterización a altas temperaturas, se forman discos circulares de alta densidad y estructura uniforme. Optimizar la composición de la aleación, como la adición de níquel o hierro, puede mejorar la tenacidad y la estabilidad del disco, lo que aumenta aún más su eficacia de blindaje.

En comparación con el plomo, la compatibilidad ecológica de los discos de aleación de tungsteno es una de sus mayores ventajas. El plomo es tóxico y potencialmente perjudicial para el medio ambiente y la salud humana, mientras que los discos de aleación de tungsteno son atóxicos y reciclables, lo que los hace aptos para aplicaciones sensibles como dispositivos médicos y equipos de procesamiento de alimentos. Además, los discos de aleación de tungsteno poseen propiedades mecánicas superiores a las del plomo. Su alta resistencia y tenacidad les permiten mantener la estabilidad estructural en entornos dinámicos o de alta carga, previniendo la deformación o el agrietamiento por tensión.

Los discos de aleación de tungsteno ofrecen una mayor flexibilidad de fabricación y aplicación que los de plomo. Mediante mecanizado de precisión y tratamiento superficial, alcanzan alta precisión y suavidad, cumpliendo con los complejos requisitos de diseño. Su reciclabilidad también reduce el desperdicio de recursos, en consonancia con el desarrollo sostenible. Estudios comparativos de su eficacia de blindaje con el plomo respaldan teóricamente su aplicación en entornos de alta radiación, impulsando su desarrollo generalizado en los campos médico, científico e industrial.

### **3.7 Conductividad eléctrica y térmica de los discos de aleación de tungsteno**

de tungsteno presentan características clave para sus aplicaciones en electrónica, ingeniería eléctrica y gestión térmica, lo que influye directamente en su rendimiento en dispositivos de alto rendimiento. La conductividad eléctrica determina la eficiencia de la oblea para conducir la corriente, mientras que la conductividad térmica determina su capacidad para transferir y disipar el calor. Mediante tecnología de aleación y procesos de fabricación de precisión, las obleas de aleación de tungsteno pueden lograr un equilibrio óptimo entre conductividad eléctrica y térmica, satisfaciendo diversos requisitos, desde la electrónica de precisión hasta los equipos de alta temperatura.

#### **3.7.1 Parámetros de conductividad**

La conductividad eléctrica es un indicador clave del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno,

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

que se refiere a su capacidad para conducir corriente eléctrica y es un parámetro clave para evaluar su eficacia en aplicaciones eléctricas y electrónicas. El tungsteno, por sí mismo, tiene una alta resistividad y una conductividad relativamente baja, pero al alearlo con otros metales altamente conductores, como el cobre o la plata, la conductividad de los discos de aleación de tungsteno puede mejorarse significativamente, permitiéndoles satisfacer las demandas de los dispositivos eléctricos de alto rendimiento. La optimización de los parámetros de conductividad se logra mediante un control preciso de la composición de la aleación y los procesos de fabricación, lo que les permite adaptarse a una amplia gama de aplicaciones, desde baja hasta alta potencia.

tungsteno se obtienen mediante pulvimetalurgia. Durante el proceso de fabricación, el polvo de tungsteno se mezcla con polvos metálicos altamente conductores (como cobre o plata) en una proporción específica, se prensa y se sinteriza a alta temperatura para formar discos circulares con una estructura uniforme y una excelente conductividad eléctrica. La elección de la composición de la aleación influye directamente en la conductividad. Por ejemplo, la adición de cobre puede mejorar significativamente la conductividad, manteniendo una alta resistencia mecánica; la adición de plata mejora aún más la conductividad, haciéndolo adecuado para aplicaciones eléctricas de alta precisión. Optimizar el proceso de sinterización es crucial para la conductividad. Por ejemplo, al controlar la temperatura y la presión de sinterización, se puede formar una microestructura densa, lo que reduce la resistencia y mejora la eficiencia de la conducción de corriente.

Los discos de aleación de tungsteno con alta conductividad ofrecen ventajas significativas en los campos eléctrico y electrónico. Por ejemplo, en sistemas eléctricos de alta tensión, pueden servir como contactos o conectores, garantizando una conducción eficiente de la corriente y reduciendo la pérdida de energía. En dispositivos electrónicos, su alta conductividad los convierte en un material ideal para placas de circuitos o conectores, mejorando la eficiencia de la transmisión de señales. Su resistencia a altas temperaturas y a la erosión por arco eléctrico mejora aún más su conductividad, lo que permite que los discos mantengan un rendimiento estable en entornos de alta carga y eviten la degradación del rendimiento causada por sobrecalentamiento o arco eléctrico.

La optimización de los parámetros de conductividad también está relacionada con la eficiencia de fabricación y el respeto al medio ambiente. Mediante tecnologías eficientes de sinterización y procesamiento, se puede mejorar la conductividad, reduciendo al mismo tiempo el desperdicio de material y aumentando la eficiencia de la producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de las obleas de aleación de tungsteno las confieren ventajas en sectores ambientalmente sensibles. Por ejemplo, en dispositivos electrónicos médicos, las obleas de alta conductividad pueden ofrecer un rendimiento fiable a la vez que cumplen con los requisitos de seguridad y medioambientales. La investigación en conductividad proporciona soporte técnico para la aplicación de obleas de aleación de tungsteno en el sector eléctrico y promueve su desarrollo en entornos de alto rendimiento.

### 3.7.2 Rango de conductividad térmica

La conductividad térmica es un indicador clave del rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en el campo de la gestión térmica. Se refiere a su capacidad para conducir el calor y es un parámetro clave para medir su eficacia de disipación térmica. Si bien el tungsteno en sí mismo presenta baja conductividad térmica, su aleación con metales de alta conductividad puede mejorar significativamente la conductividad térmica de las obleas de aleación de tungsteno, lo que las convierte en excelentes opciones para aplicaciones que requieren una disipación térmica eficiente. Esta flexibilidad en la conductividad térmica se logra mediante la optimización de la composición de la aleación y los procesos de fabricación, satisfaciendo diversos requisitos, desde dispositivos electrónicos hasta aplicaciones industriales de alta temperatura.

El logro de la conductividad térmica depende de la optimización de la tecnología de pulvimetalurgia. Durante el proceso de fabricación, el polvo de tungsteno se mezcla con polvos metálicos de alta conductividad térmica, como el polvo de cobre, se prensa y se sinteriza a alta temperatura para formar láminas circulares con alta conductividad térmica y estructura uniforme. La adición de cobre es clave para mejorar la conductividad térmica. Su alta conductividad térmica puede mejorar significativamente la conductividad térmica del disco, mientras que la alta densidad y la resistencia a altas temperaturas del tungsteno garantizan la estabilidad estructural del disco en entornos de alta temperatura. La optimización del proceso de sinterización es crucial para la conductividad térmica. Por ejemplo, mediante la tecnología de prensado isostático en caliente, se puede formar una microestructura densa, lo que reduce la resistencia térmica y mejora la eficiencia de la conducción térmica.

Los discos de aleación de tungsteno con alta conductividad térmica tienen una amplia gama de aplicaciones en la gestión térmica. Por ejemplo, en dispositivos electrónicos, pueden servir como disipadores de calor o tubos de calor, transfiriendo rápidamente el calor de las zonas de alta temperatura a las zonas disipadas para evitar el sobrecalentamiento. En la industria aeroespacial, su alta conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas los hacen adecuados para la gestión térmica de componentes de alta temperatura, garantizando la fiabilidad de los equipos en entornos extremos. Su bajo coeficiente de expansión térmica mejora aún más la conductividad térmica, permitiendo que el disco mantenga la estabilidad dimensional durante las fluctuaciones de temperatura y evite la deformación causada por el estrés térmico. La optimización del rango de conductividad térmica también refleja el avance en la eficiencia de fabricación de discos de aleación de tungsteno. Mediante técnicas eficientes de procesamiento y control de calidad, se puede mejorar la conductividad térmica y reducir los costos de producción. Las propiedades no tóxicas y reciclables de los discos de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en sectores ambientalmente sensibles. Por ejemplo, en equipos electrónicos médicos o equipos de nuevas energías, los discos de alta conductividad térmica pueden proporcionar una disipación de calor eficiente, cumpliendo con los requisitos de seguridad y medioambientales. El estudio de la conductividad térmica proporciona una base científica para la aplicación de los discos de aleación de tungsteno en escenarios de gestión térmica, impulsando su desarrollo en la industria moderna.

### 3.7.3 Correlación entre conductividad eléctrica y conductividad térmica

La conductividad eléctrica y la conductividad térmica son dos indicadores estrechamente relacionados de la conductividad eléctrica y térmica de las obleas de aleación de tungsteno, que influyen

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conjuntamente en su rendimiento en la gestión eléctrica y térmica. La conductividad eléctrica refleja la capacidad de la oblea para conducir la corriente, mientras que la conductividad térmica refleja su capacidad para conducir el calor. Ambas comparten una base física similar en la microestructura del material y la composición de la aleación. Al optimizar la composición de la aleación y el proceso de fabricación, las obleas de aleación de tungsteno pueden lograr una mejora sinérgica tanto en la conductividad eléctrica como en la térmica, satisfaciendo así las demandas de los dispositivos de alto rendimiento.

La correlación entre la conductividad eléctrica y térmica se debe principalmente al movimiento de electrones libres dentro del material. Añadir metales altamente conductores y térmicamente conductores, como el cobre o la plata, a los discos de aleación de tungsteno aumenta la densidad y la movilidad de los electrones libres, mejorando así la conductividad eléctrica y térmica. Durante el proceso de fabricación por pulvimetalurgia, la mezcla uniforme de polvo de tungsteno y polvos de cobre o plata, junto con la sinterización a alta temperatura, forma una microestructura densa que reduce la dispersión de electrones y calor, y mejora la eficiencia de conducción. Optimizar el proceso de sinterización, como controlar la temperatura y la presión, puede potenciar aún más el efecto sinérgico de la conductividad eléctrica y térmica.

La correlación entre la conductividad eléctrica y térmica otorga a las obleas de aleación de tungsteno ventajas únicas en entornos que requieren una conducción simultánea eficiente de corriente y calor. Por ejemplo, en dispositivos electrónicos de alto rendimiento, la alta conductividad eléctrica garantiza una conducción eficiente de la corriente, mientras que la alta conductividad térmica disipa rápidamente el calor, evitando el sobrecalentamiento. En sistemas eléctricos, pueden servir como contactos o componentes de conexión, conduciendo la corriente y gestionando el calor simultáneamente, evitando la degradación del rendimiento causada por el sobrecalentamiento. Su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión mejora aún más la estabilidad de su conductividad eléctrica y térmica, permitiendo que las obleas mantengan su rendimiento en entornos hostiles.

La optimización de la conductividad eléctrica y térmica también está relacionada con la protección del medio ambiente y la eficiencia de fabricación. Las propiedades no tóxicas y reciclables de las obleas de aleación de tungsteno les otorgan ventajas en los sectores médico y de las nuevas energías. Pueden ofrecer un rendimiento fiable en entornos de alta conductividad eléctrica y térmica, cumpliendo a la vez con los requisitos ambientales. Mediante procesos de fabricación eficientes, se puede mejorar la conductividad eléctrica y térmica, reduciendo al mismo tiempo el consumo energético y mejorando la eficiencia de producción. La investigación sobre la correlación entre la conductividad eléctrica y térmica proporciona fundamento teórico para la aplicación de las obleas de aleación de tungsteno en los campos de la gestión eléctrica y térmica, promoviendo su desarrollo generalizado en entornos de alto rendimiento.

#### **3.7.4 Factores que afectan la conductividad eléctrica de los discos de aleación de tungsteno**

Las obleas de aleación de tungsteno poseen una propiedad crucial para sus aplicaciones eléctricas y electrónicas. Esta propiedad se ve influenciada por diversos factores, como la composición de la aleación,

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

la microestructura, el proceso de fabricación y las condiciones ambientales. La conductividad determina la eficiencia con la que la oblea conduce la corriente, lo que influye directamente en su rendimiento en contactos, conectores o componentes de circuitos. Al optimizar estos factores, las obleas de aleación de tungsteno pueden lograr una conducción de corriente eficiente, satisfaciendo así las necesidades de los dispositivos de alto rendimiento.

La composición de la aleación es el principal factor que afecta la conductividad. El tungsteno por sí mismo presenta alta resistividad y baja conductividad, pero al añadir metales altamente conductores como el cobre o la plata, la conductividad de la oblea puede mejorarse significativamente. Por ejemplo, la aleación de tungsteno-cobre (W-Cu) compensa las deficiencias del tungsteno con la alta conductividad del cobre, lo que permite que la oblea destaque en condiciones de alta corriente. Sin embargo, las proporciones de la aleación deben controlarse con precisión. Un contenido excesivo de tungsteno puede reducir la conductividad, mientras que un contenido excesivo de cobre puede reducir la resistencia mecánica y la resistencia a altas temperaturas de la oblea.

La microestructura influye significativamente en la conductividad eléctrica. La microestructura de las obleas de aleación de tungsteno se forma mediante pulvimetalurgia. La distribución uniforme del grano y la estructura densa reducen la dispersión de electrones y mejoran la conductividad. La porosidad interna, las impurezas o los defectos en los límites de grano aumentan la resistencia y reducen la eficiencia conductiva. Por lo tanto, la sinterización a alta temperatura y el prensado isostático en caliente (HIP) son cruciales en el proceso de fabricación, ya que eliminan microdefectos y crean una estructura densa, optimizando así la conductividad.

El proceso de fabricación influye directamente en la conductividad. Durante la pulvimetalurgia, la uniformidad de la mezcla de polvo de tungsteno y polvo de cobre o plata, la presión de prensado y la temperatura de sinterización influyen en la conductividad de la oblea. Por ejemplo, la sinterización a alta temperatura promueve la unión de las partículas metálicas y reduce la resistencia del límite de grano, mientras que el prensado isostático en caliente aumenta aún más la densidad estructural y reduce la resistencia. Asimismo, tratamientos superficiales como el pulido pueden reducir los defectos superficiales y mejorar la conductividad de contacto.

Las condiciones ambientales, como la temperatura y los entornos corrosivos, también pueden afectar la conductividad. Las altas temperaturas pueden reducir la movilidad de los electrones, lo que resulta en una disminución de la conductividad. Sin embargo, la alta resistencia térmica de las obleas de aleación de tungsteno les permite mantener una conductividad relativamente estable en entornos de alta temperatura. Los entornos corrosivos pueden causar oxidación superficial y aumentar la resistencia de contacto, por lo que la adición de componentes de aleación resistentes a la corrosión (como el níquel) puede mejorar la estabilidad de la conductividad a largo plazo de la oblea.

Al optimizar la composición, la microestructura y el proceso de fabricación de la aleación, se puede mejorar significativamente la conductividad de los discos de aleación de tungsteno, satisfaciendo así las demandas de los equipos eléctricos y electrónicos. Su no toxicidad y reciclabilidad los hacen ventajosos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en aplicaciones sensibles al medio ambiente, como la electrónica médica, donde proporcionan una conductividad eléctrica eficiente y cumplen con los requisitos de seguridad. La investigación sobre los factores de conductividad respalda científicamente la aplicación de estos discos en entornos de alto rendimiento.

### 3.7.5 Factores que afectan la conductividad térmica de los discos de aleación de tungsteno

La conductividad térmica de las obleas de aleación de tungsteno es una propiedad crucial en aplicaciones de gestión térmica. Esta propiedad se ve influenciada por diversos factores, como la composición de la aleación, la microestructura, el proceso de fabricación y las condiciones ambientales. La conductividad térmica determina la eficiencia de la oblea en la transferencia y disipación de calor, lo que influye directamente en su rendimiento en equipos electrónicos, la industria aeroespacial y la gestión térmica industrial. Al optimizar estos factores, las obleas de aleación de tungsteno pueden lograr una conducción térmica eficiente y cumplir con los requisitos de disipación de calor de alto rendimiento.

La composición de la aleación es un factor clave que influye en la conductividad térmica. El tungsteno por sí mismo tiene una conductividad térmica baja (aproximadamente 173 W/m·K), pero la conductividad térmica de un disco de aleación de tungsteno puede mejorarse significativamente añadiendo un metal de alta conductividad, como el cobre (aproximadamente 401 W/m·K). Por ejemplo, las aleaciones de tungsteno y cobre aprovechan la alta conductividad térmica del cobre para mejorar la conductividad térmica del disco, lo que las hace aptas para su uso en disipadores de calor o tubos de calor. Controlar la proporción de la aleación es crucial: un contenido excesivo de tungsteno puede reducir la conductividad térmica, mientras que un contenido excesivo de cobre puede comprometer la resistencia a altas temperaturas o la resistencia mecánica.

La microestructura tiene un impacto significativo en la conductividad térmica. Una distribución uniforme del grano y una microestructura densa reducen la disipación de calor y mejoran la conductividad térmica. La porosidad interna, las impurezas o los defectos en los límites de grano aumentan la resistencia térmica y reducen la conductividad térmica. Por lo tanto, durante el proceso de fabricación por pulvimetalurgia, la mezcla uniforme de polvos de tungsteno y cobre y la sinterización a alta temperatura crean una estructura densa que optimiza la conductividad térmica. El prensado isostático en caliente elimina aún más los defectos microscópicos y mejora la conductividad térmica.

Los procesos de fabricación inciden directamente en la conductividad térmica. Durante la pulvimetalurgia, la presión de prensado, la temperatura de sinterización y la velocidad de enfriamiento influyen en la conductividad térmica de la oblea. La sinterización a alta temperatura promueve la unión de las partículas metálicas y reduce la resistencia térmica del límite de grano, mientras que el prensado isostático en caliente (HIP) crea una estructura de alta densidad, lo que reduce la resistencia a la transferencia de calor. Los tratamientos superficiales, como el pulido, pueden reducir la rugosidad superficial, mejorar la eficiencia del contacto térmico y, por lo tanto, mejorar la conductividad térmica.

Las condiciones ambientales, como la temperatura y los entornos corrosivos, también pueden afectar la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conductividad térmica. Las altas temperaturas pueden reducir la conductividad térmica, pero la alta resistencia térmica de las obleas de aleación de tungsteno les permite mantener una conductividad térmica estable en entornos de alta temperatura. Los entornos corrosivos pueden causar oxidación superficial, lo que aumenta la resistencia térmica, por lo que la adición de elementos de aleación resistentes a la corrosión (como el níquel) puede mejorar la estabilidad térmica a largo plazo de la oblea. Además, los cambios bruscos de temperatura pueden causar tensiones térmicas que afectan la conductividad térmica, y el bajo coeficiente de expansión térmica de las obleas de aleación de tungsteno ayuda a minimizar este efecto.

Al optimizar la composición, la microestructura y el proceso de fabricación de la aleación, se puede mejorar significativamente la conductividad térmica de las obleas de aleación de tungsteno, satisfaciendo así los requisitos de disipación de calor de dispositivos electrónicos y aplicaciones industriales de alta temperatura. Sus propiedades no tóxicas y reciclables las hacen ventajosas en los sectores médico y de nuevas energías, proporcionando una conductividad térmica eficiente y cumpliendo con los requisitos medioambientales. La investigación sobre los factores de conductividad térmica proporciona soporte técnico para la aplicación de la oblea en escenarios de gestión térmica.

### 3.8 CTIA GROUP LTD Hoja de datos de seguridad de oblea de aleación de tungsteno

La Hoja de Datos de Seguridad del Material (HDSM) proporciona una guía detallada para el uso, almacenamiento y manipulación seguros de los discos de aleación de tungsteno de CTIA GROUP LTD. Esta hoja abarca su composición química, propiedades físicas, posibles riesgos y medidas de seguridad. Los discos de aleación de tungsteno suelen estar compuestos principalmente de tungsteno (W) con aditivos como níquel (Ni), hierro (Fe) o cobre (Cu). Ofrecen alta densidad, resistencia a altas temperaturas y propiedades no tóxicas, lo que los hace ampliamente utilizados en los sectores médico, aeroespacial e industrial.

#### 1. Identificación de peligros

- Riesgos para la salud: Las obleas de aleación de tungsteno no son tóxicas en sí mismas, pero pueden generar polvo metálico durante el corte, el esmerilado o el pulido. Su inhalación puede causar irritación respiratoria o fibrosis pulmonar similar a la silicosis.
- Peligros físicos: No existe riesgo de explosión ni inflamabilidad, pero la alta densidad puede provocar lesiones durante su manipulación.
- Peligros ambientales: no tóxico, reciclable y sin daños significativos al medio ambiente.

#### 2. Medidas de lucha contra incendios

- Características de combustión: Los discos de aleación de tungsteno no son inflamables.
- Método de extinción de incendios: Utilice extintor de polvo seco o dióxido de carbono, no utilice agua.

#### 3. Tratamiento de emergencia de fugas

- Riesgo de fugas: las obleas sólidas no presentan riesgo de fugas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4. Operación y almacenamiento

- Precauciones de manipulación: utilice herramientas adecuadas para manipular obleas de alta densidad para evitar lesiones.
- Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un ambiente seco y ventilado, evitar la humedad o el contacto con sustancias corrosivas.

#### 5. Control de exposición y protección personal

- Controles de ingeniería: Utilice ventilación de escape local o un sistema de recolección de polvo durante el procesamiento.
- Equipo de protección personal: Usar mascarilla antipolvo, gafas de seguridad y guantes.

#### 6. Propiedades físicas y químicas

- Aspecto: Disco de metal gris plateado con superficie lisa.
- Densidad: 15-18,5 g/cm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: alrededor de 3000-3400°C.
- Solubilidad: Insoluble en agua, resistente a la corrosión ácida y alcalina, pero soluble en una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico concentrado.

#### 7. Estabilidad y reactividad

- Estabilidad: estable a temperatura ambiente y resistente a la oxidación a alta temperatura.
- Reactividad: No reacciona con agua, ácidos o bases, pero puede reaccionar con oxidantes fuertes a temperaturas elevadas.

#### 8. Información ecológica

- Impacto ambiental: no tóxico, reciclable y no tiene impacto significativo en el medio ambiente.
- Bioacumulación: No hay riesgo de bioacumulación.

#### 9. Eliminación

- Método de eliminación: Tratar como metal reciclable y enviar a instalaciones de reciclaje profesionales para evitar el descarte aleatorio.

#### 10. Información de envío

- Clasificación de transporte: mercancía no peligrosa. Durante el transporte, tenga cuidado para evitar daños físicos debido a la alta densidad.
- Requisitos de embalaje: utilice un embalaje resistente para evitar daños durante el transporte.

#### 11. Información reglamentaria

- Cumple con los estándares internacionales de seguridad de materiales como OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) y REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas).

#### 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

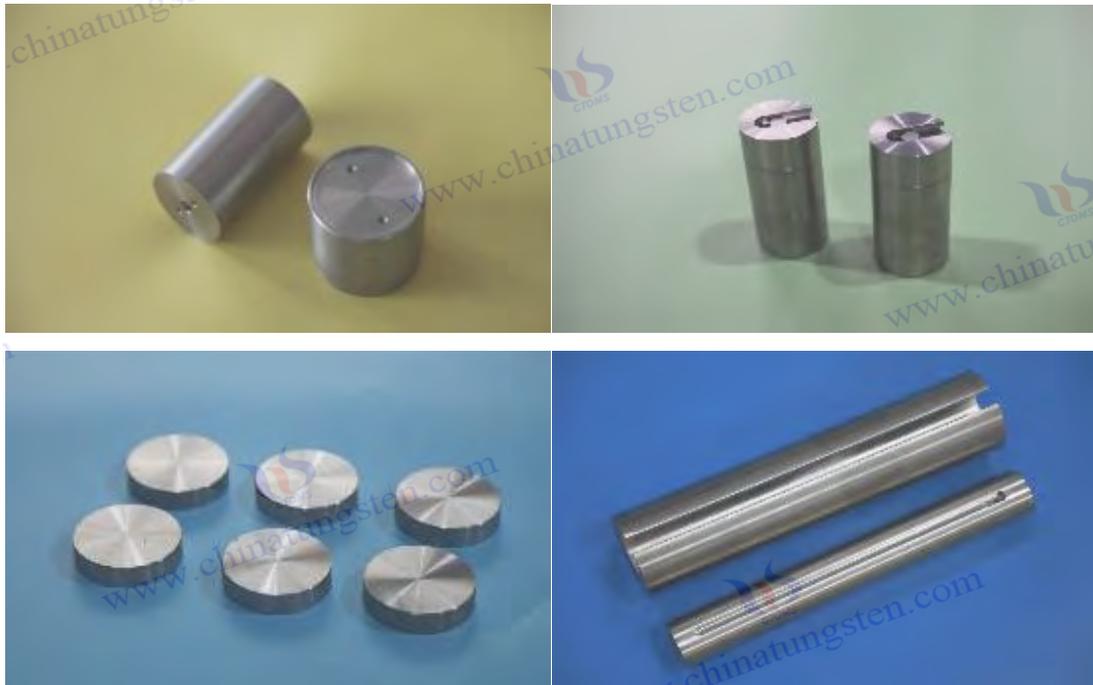
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 4 Métodos de prueba de rendimiento de discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son fundamentales para garantizar su calidad y eficacia en las aplicaciones, abarcando diversas técnicas de evaluación, como la densidad, la resistencia, la conductividad eléctrica y la conductividad térmica. Los métodos de prueba científicos y precisos miden con precisión los parámetros de rendimiento de los discos, lo que proporciona una base fiable para la selección de materiales, la optimización de procesos y el diseño de aplicaciones. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, resistencia y resistencia a altas temperaturas, se utilizan ampliamente en los sectores aeroespacial, médico, electrónico e industrial. Las pruebas de rendimiento requieren equipos de alta precisión y procedimientos operativos estandarizados para garantizar resultados precisos y consistentes.

La densidad, una propiedad fundamental de los discos de aleación de tungsteno, influye directamente en su eficacia en aplicaciones como contrapesos, blindaje y soporte estructural. Los métodos de prueba de densidad evalúan si un disco cumple con los requisitos de diseño midiendo su volumen, masa y distribución de densidad. Estos métodos no solo verifican las propiedades físicas del disco, sino que también proporcionan una valiosa referencia para el control de calidad durante la producción. El respeto al medio ambiente y la reciclabilidad de los discos de aleación de tungsteno exigen una atención minuciosa a la seguridad operativa y al control del impacto ambiental durante las pruebas.

### 4.1 Método de prueba de densidad de disco de aleación de tungsteno

de tungsteno es crucial en la evaluación del rendimiento, lo que influye directamente en su rendimiento en aplicaciones de alta densidad, como contrapesos, blindaje contra la radiación y soporte estructural. Los métodos de prueba de densidad miden el volumen, la masa y la distribución de densidad de la oblea para evaluar si cumple con los requisitos de diseño. La precisión y la fiabilidad de los métodos de prueba son cruciales para garantizar la calidad de la oblea, y a menudo se combinan diversas técnicas para mejorar la precisión de las pruebas.

#### 4.1.1 Medición de densidad por método de drenaje

El método de desplazamiento es un método clásico de ensayo de densidad que determina el volumen y la densidad de un disco de aleación de tungsteno midiendo el cambio en su flotabilidad al sumergirse en un líquido. Este método, basado en el principio de que un objeto desplaza el líquido al sumergirse, es adecuado para discos de forma regular y ofrece ventajas como simplicidad, bajo coste y alta precisión. Ampliamente utilizado para ensayos de densidad de discos de aleación de tungsteno, el método de desplazamiento proporciona rápidamente datos de densidad fiables, lo que proporciona una base para el control de calidad y la evaluación del rendimiento.

**Principio :** El método de desplazamiento determina la densidad midiendo la diferencia entre el peso seco de un disco y su peso sumergido en un líquido. El volumen del líquido desplazado se calcula utilizando un líquido de densidad conocida (como agua desionizada). El volumen del disco se calcula a partir de la variación de flotabilidad, y la densidad se calcula a partir de la masa.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### **Pasos de la prueba :**

1. Utilice una balanza electrónica de alta precisión para medir el peso seco del disco de aleación de tungsteno y registrar la masa. La precisión suele ser de una milésima de gramo.
2. Suspenda el disco con un alambre delgado y sumérgalo en un líquido de densidad conocida (como agua desionizada), asegurándose de que el disco esté completamente sumergido y no toque la pared del recipiente.
3. Utilice una balanza electrónica para medir el peso del disco en el líquido y calcular la diferencia de peso para determinar la flotabilidad.
4. Calcule el volumen del disco en función de su flotabilidad.
5. La densidad del disco se calculó combinando el peso seco y el volumen.
6. Repita la medición varias veces y tome el valor promedio para mejorar la precisión.

**Ventajas y limitaciones :** El método de desplazamiento es fácil de usar y requiere un equipo mínimo, lo que lo hace adecuado tanto para aplicaciones de laboratorio como industriales. Su precisión depende de la resolución de la balanza y de la pureza del líquido, pero generalmente es bastante alta. Sin embargo, en discos con formas irregulares o muestras con superficies microporosas, el líquido puede filtrarse a través de los poros, lo que provoca errores en la medición del volumen. Por lo tanto, asegúrese de que la superficie del disco sea lisa y sin poros visibles antes de realizar la prueba.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de la prueba, utilice agua desionizada o alcohol como líquido de prueba para evitar la interferencia de burbujas de aire. Además, utilice un termostato para controlar la temperatura del líquido y asegurar un valor de densidad estable. Los datos de densidad de la prueba de desplazamiento de agua proporcionan una base fiable para el control de calidad de las obleas de aleación de tungsteno y son especialmente adecuados para la verificación del rendimiento en aplicaciones de contrapeso y blindaje.

#### **4.1.2 Inspección radiográfica de la uniformidad de la densidad**

Las pruebas radiográficas son un método de prueba no destructivo que se utiliza para evaluar la uniformidad de la densidad de los discos de aleación de tungsteno. Mediante el análisis del cambio de intensidad tras la penetración de la radiación en el disco, se puede determinar la distribución de la densidad dentro del mismo. La uniformidad de la densidad influye directamente en la estabilidad del rendimiento del disco. Por ejemplo, en aplicaciones de protección contra la radiación o contrapesos, una densidad desigual puede provocar una eficacia de protección insuficiente o una distribución desigual de la masa. Las pruebas radiográficas, gracias a su alta precisión y su naturaleza no destructiva, se utilizan ampliamente para comprobar la uniformidad de la densidad de los discos de aleación de tungsteno.

**Principio de prueba :** Las pruebas radiográficas utilizan el poder de penetración de los rayos X o gamma. Al medir el cambio en la intensidad de la radiación tras penetrar una oblea, se analiza la distribución de la densidad. Las zonas de alta densidad absorben la radiación con mayor intensidad, lo que resulta en una menor intensidad de transmisión; las zonas de baja densidad transmiten con mayor intensidad. Al escanear diferentes zonas de la oblea, se genera una imagen de la distribución de la densidad, lo que

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

permite evaluar la uniformidad.

#### **Pasos de la prueba :**

1. Coloque el disco de aleación de tungsteno en la plataforma de prueba del equipo de prueba radiográfica (como un escáner de tomografía computarizada de rayos X) para asegurarse de que el disco esté fijo y la superficie esté limpia.
2. Seleccione una fuente de radiación adecuada (como un tubo de rayos X o una fuente de rayos gamma) y ajuste la energía y la intensidad de la radiación para adaptarse al espesor y la densidad de la oblea.
3. Escanee diferentes áreas de la oblea, registre los datos de intensidad después de que la radiación penetra y genere una imagen de distribución de densidad.
4. Se utilizó un software de análisis de imágenes para procesar los datos, calcular los valores de densidad de diferentes áreas y evaluar la uniformidad de la densidad.
5. Realice un análisis estadístico de los resultados para determinar si la desviación de densidad está dentro del rango permitido, que generalmente debe ser inferior a  $\pm 1\%$ .

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas con rayos X ofrecen la ventaja de ser no destructivas y altamente precisas, lo que permite detectar con precisión la distribución de la densidad dentro de las obleas. Son especialmente adecuadas para aplicaciones de alta precisión, como componentes de protección contra la radiación. Sin embargo, el equipo es costoso, requiere personal especializado y exige una protección radiológica estricta. La precisión de las pruebas está limitada por la energía de la radiación y la resolución del equipo, y puede ser necesario ajustar los parámetros de prueba para obleas extremadamente delgadas o gruesas.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de la detección, se pueden utilizar equipos de tomografía computarizada de rayos X de alta resolución, combinados con tecnología de escaneo multiángulo, para generar imágenes tridimensionales de la distribución de la densidad. Al mismo tiempo, es necesario calibrar la fuente y el detector de rayos X para garantizar la precisión de los datos. Los datos de uniformidad de densidad obtenidos mediante pruebas de rayos X constituyen una base importante para el control de calidad de las obleas de aleación de tungsteno, especialmente en los sectores aeroespacial y médico.

#### **4.1.3 Verificación auxiliar del método de pesaje**

La prueba gravimétrica es un método de prueba de densidad simple y directo. Determina la densidad midiendo el peso seco de un disco de aleación de tungsteno y calculando su volumen a partir de dimensiones geométricas conocidas. La prueba gravimétrica se utiliza a menudo como método de verificación complementario para pruebas de desplazamiento de agua o pruebas radiográficas, para la verificación rápida de datos de densidad o como método de prueba principal cuando las condiciones de laboratorio son limitadas. Su simplicidad y bajo costo la hacen adecuada para la evaluación preliminar y el control de calidad.

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

**Principio de la prueba :** El método gravimétrico calcula la densidad midiendo la masa y el volumen de un disco. El volumen se calcula típicamente midiendo las dimensiones geométricas del disco (como el diámetro y el grosor) y es adecuado para discos con formas regulares.

**Pasos de la prueba :**

1. Utilice una balanza electrónica de alta precisión para medir el peso seco del disco de aleación de tungsteno y registrar la masa. La precisión suele ser de una milésima de gramo.
2. Utilice una herramienta de medición de alta precisión (como un micrómetro o un telémetro láser) para medir el diámetro y el grosor del disco y calcular el volumen.
3. La densidad del disco se calculó combinando el peso seco y el volumen.
4. Repita la medición varias veces y tome el valor promedio para mejorar la precisión.
5. Compare los resultados con el desplazamiento de agua o los datos radiográficos para verificar la precisión de los valores de densidad.

**Ventajas y limitaciones :** El método gravimétrico es fácil de usar y requiere un equipo mínimo, lo que lo hace adecuado para pruebas rápidas y aplicaciones in situ. Su precisión depende de la exactitud de las mediciones geométricas y de la regularidad de la forma de la oblea. Los cálculos de volumen pueden ser imprecisos en obleas con formas irregulares o desiguales. Además, el método gravimétrico no puede evaluar directamente la uniformidad de la densidad y solo es adecuado para la verificación preliminar de la densidad total.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se pueden utilizar herramientas de medición de alta precisión (como escáneres láser) para medir las dimensiones geométricas y garantizar cálculos de volumen precisos. Asimismo, la validación cruzada puede combinarse con pruebas de desplazamiento de agua o radiográficas para reducir errores. El pesaje, como método auxiliar de verificación, proporciona un soporte sencillo y fiable para las pruebas de densidad de discos de aleación de tungsteno, especialmente para un control de calidad rápido durante el proceso de producción.

## 4.2 Método de prueba para la resistencia a altas temperaturas del disco de aleación de tungsteno

de tungsteno es crucial para evaluar su rendimiento en entornos de alta temperatura, lo que influye directamente en sus aplicaciones en la industria aeroespacial, el procesamiento industrial y los equipos energéticos. La resistencia a altas temperaturas incluye indicadores clave como el punto de fusión, la resistencia a altas temperaturas y la resistencia al choque térmico. Los métodos de prueba científicos permiten evaluar exhaustivamente la estabilidad del rendimiento de la oblea en condiciones de alta temperatura.

### 4.2.1 Medición del punto de fusión mediante análisis térmico diferencial

El análisis térmico diferencial (ATD) es un método de prueba de rendimiento a alta temperatura comúnmente utilizado para medir el punto de fusión de discos de aleación de tungsteno. Mediante el análisis de la diferencia de temperatura entre la muestra y una referencia durante el calentamiento, se

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

determina la temperatura de transición de fase. El punto de fusión es un indicador clave de la resistencia a altas temperaturas de los discos de aleación de tungsteno e influye directamente en su rango de aplicación en entornos de alta temperatura. Gracias a su alta precisión y sensibilidad, el ATD se utiliza ampliamente para probar el punto de fusión de discos de aleación de tungsteno, proporcionando datos precisos sobre el punto de fusión y sentando las bases para el diseño de aplicaciones de alta temperatura.

**Principio de prueba :** El análisis térmico diferencial (ATD) consiste en calentar simultáneamente una muestra de disco de aleación de tungsteno y un material de referencia (como óxido de aluminio) y medir la diferencia de temperatura entre ambos. Cuando el disco experimenta una transición de fase, como la fusión, absorbe o libera calor, lo que provoca un cambio en la diferencia de temperatura con el material de referencia, generando un pico característico que permite determinar el punto de fusión. La prueba se realiza típicamente bajo un gas inerte (como argón) para evitar la oxidación.

**Pasos de la prueba :**

1. Prepare la muestra del disco de aleación de tungsteno cortándolo en trozos pequeños y asegúrese de que la superficie esté limpia y libre de impurezas.
2. La muestra y el material de referencia se colocan en el crisol del analizador térmico diferencial y se introducen en un horno de alta temperatura.
3. Bajo protección de gas inerte, caliente la muestra a una velocidad constante (por ejemplo, 10 °C/min) y registre los cambios de temperatura de la muestra y del material de referencia.
4. Analice la curva térmica diferencial, identifique el pico endotérmico causado por la fusión y determine la temperatura del punto de fusión.
5. Repita la prueba varias veces, tome el valor promedio para mejorar la precisión y compárelo con el valor estándar para verificación.

**Ventajas y limitaciones :** El análisis térmico diferencial ofrece alta precisión y sensibilidad, lo que permite determinar con precisión el punto de fusión y lo hace adecuado para entornos de laboratorio. Sin embargo, el equipo de prueba es costoso y requiere un tamaño de muestra pequeño, lo que dificulta el análisis directo de obleas grandes. Además, las altas temperaturas pueden provocar que la muestra reaccione con el material del crisol, lo que requiere la selección de un material de crisol adecuado.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, utilice protección con gas inerte de alta pureza para prevenir la oxidación; calibre el instrumento para garantizar una medición precisa de la temperatura; y combine las pruebas simultáneas con el análisis termogravimétrico (TGA) para eliminar la interferencia de la pérdida de masa en los resultados. Los datos de punto de fusión medidos mediante análisis térmico diferencial proporcionan una base fiable para evaluar el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno en aplicaciones de alta temperatura, especialmente en hornos aeroespaciales e industriales.

#### 4.2.2 Prueba de resistencia a altas temperaturas

La prueba de resistencia a la fatiga a altas temperaturas es un método para evaluar la capacidad de los

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

discos de aleación de tungsteno para resistir la deformación y la fractura en entornos de alta temperatura y alta tensión, lo que refleja su estabilidad mecánica bajo cargas de alta temperatura a largo plazo. Debido a su alto punto de fusión y alta resistencia, los discos de aleación de tungsteno se utilizan a menudo en componentes estructurales en entornos de alta temperatura. La prueba de resistencia a la fatiga a altas temperaturas permite verificar su fiabilidad en motores aeroespaciales o equipos industriales de alta temperatura.

**Principio de la prueba :** La prueba de resistencia a la fatiga a alta temperatura evalúa las propiedades mecánicas a altas temperaturas aplicando una tensión constante a una muestra de disco y midiendo su tiempo de deformación o fractura dentro de un período específico. La prueba se realiza típicamente en un horno de alta temperatura, utilizando un dispositivo de carga de precisión y un sensor de desplazamiento para registrar el comportamiento de la deformación de la muestra.

**Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno y procéselas en muestras estándar (como cilindros o láminas delgadas) para garantizar que la superficie sea lisa y libre de defectos.
2. Instale la muestra en una máquina de prueba de resistencia de alta temperatura y ajuste la temperatura de prueba (generalmente por encima de 1000 °C, dependiendo de la composición de la aleación).
3. En un entorno de gas inerte o de vacío, se aplica una tensión de tracción o compresión constante y se registra el tiempo de deformación o fractura de la muestra.
4. Analice la curva de deformación-tiempo para determinar la resistencia a altas temperaturas y el tiempo de resistencia.
5. Pruebas repetidas bajo diferentes condiciones de estrés y temperatura para evaluar integralmente la estabilidad del rendimiento de la oblea.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de resistencia a la resistencia a altas temperaturas pueden simular entornos operativos reales de alta temperatura y evaluar el rendimiento a largo plazo de las obleas, lo que las hace adecuadas para aplicaciones aeroespaciales e industriales. Sin embargo, el ciclo de prueba es largo, los requisitos del equipo son altos, la operación es compleja y el entorno de alta temperatura puede causar oxidación de la muestra, lo que requiere una atmósfera de prueba controlada. Medidas de optimización: Para mejorar la precisión de la prueba, se puede utilizar un gas inerte de alta pureza o un entorno de vacío para prevenir la oxidación; se pueden utilizar sensores de desplazamiento de alta precisión para registrar la deformación; y se puede combinar el análisis de elementos finitos para predecir el rendimiento de las obleas en entornos de tensión complejos. Las pruebas de resistencia a la resistencia a altas temperaturas proporcionan datos importantes para verificar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno en aplicaciones estructurales de alta temperatura.

#### 4.2.3 Método de prueba de choque térmico

La prueba de choque térmico es un método para evaluar la resistencia al agrietamiento y la estabilidad del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno en entornos con cambios rápidos de temperatura,

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

lo que refleja su capacidad para soportar el choque térmico. Los discos de aleación de tungsteno se utilizan a menudo en entornos de alta temperatura y ciclos térmicos rápidos, como motores aeroespaciales o componentes de disipación de calor de equipos electrónicos. La prueba de choque térmico permite verificar su fiabilidad bajo fluctuaciones drásticas de temperatura.

**Principio de la prueba :** La prueba de choque térmico consiste en someter muestras de obleas a ciclos rápidos entre altas y bajas temperaturas para observar grietas, deformaciones o degradación del rendimiento bajo tensión térmica. La prueba suele implicar la exposición alternada a un horno de calentamiento y a un medio frío (como agua o nitrógeno líquido) para evaluar la resistencia de la muestra al choque térmico.

**Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno, procéselas en tamaños estándar y asegúrese de que no haya grietas ni defectos en la superficie.
2. Coloque la muestra en un horno de alta temperatura y caliéntela a una temperatura específica (por ejemplo, por encima de 1000 °C) y manténgala a esa temperatura durante un tiempo determinado (por ejemplo, 10 minutos).
3. Transfiera rápidamente la muestra a un medio frío (como agua a temperatura ambiente o nitrógeno líquido) para enfriarla, completando un ciclo de choque térmico.
4. Repita múltiples ciclos de choque térmico e inspeccione la superficie y el interior de la muestra para detectar grietas, deformaciones o cambios de propiedades, utilizando microscopía o pruebas ultrasónicas para su análisis.
5. Se registró el número de ciclos de choque térmico y las condiciones de falla de la muestra para evaluar su resistencia al choque térmico.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de choque térmico permiten simular entornos reales de ciclos térmicos, lo que permite evaluar la resistencia de una oblea al choque térmico y la hace adecuada para aplicaciones dinámicas de alta temperatura. Sin embargo, las condiciones de prueba son exigentes, los requisitos del equipo son altos y el enfriamiento rápido de la muestra puede causar concentración de tensiones, lo que produce resultados distorsionados.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se deben optimizar los parámetros del ciclo de choque térmico (como la diferencia de temperatura y el número de ciclos), utilizar técnicas de ensayos no destructivos para analizar defectos internos y seleccionar un medio de refrigeración adecuado para reducir el daño por tensión. Las pruebas de choque térmico proporcionan una base fiable para evaluar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno en entornos dinámicos de alta temperatura, especialmente en los sectores aeroespacial y electrónico.

#### 4.3 Métodos de ensayo para las propiedades superficiales de los discos de aleación de tungsteno

de tungsteno es crucial, lo que influye directamente en su eficacia en aplicaciones exigentes y de alta precisión, como maquinaria de precisión, conexiones electrónicas y componentes de sellado. El

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

rendimiento superficial incluye indicadores clave como la rugosidad, la planitud y la suavidad. Los métodos de prueba científicos permiten una evaluación exhaustiva de las características superficiales de una oblea. La precisión y la fiabilidad de los métodos de prueba son cruciales para garantizar la calidad de la oblea, y a menudo se combinan diversas técnicas para mejorar la precisión de las pruebas. A continuación, se detallarán los métodos de prueba y su importancia para el rendimiento superficial de las obleas de aleación de tungsteno, centrándose en la medición de la rugosidad superficial con un rugosímetro, el funcionamiento de un instrumento de prueba de planitud y la medición de la suavidad superficial con un medidor de brillo.

#### 4.3.1 Medición de la rugosidad de la superficie con un rugosímetro

La rugosidad superficial es un indicador clave del rendimiento de la superficie de las obleas de aleación de tungsteno, ya que refleja desviaciones en su geometría microscópica e influye directamente en el rendimiento de contacto, las características de fricción y la eficacia del sellado. La medición con rugosímetro es un método de prueba común. Mediante instrumentos con o sin contacto, se miden los parámetros de rugosidad en las superficies de las obleas, lo que proporciona datos de calidad superficial de alta precisión. Los rugosímetros, gracias a su alta sensibilidad y funcionamiento estandarizado, se utilizan ampliamente para las pruebas de rugosidad superficial de obleas de aleación de tungsteno, proporcionando una base para el control de calidad y la evaluación del rendimiento.

**Principio de prueba :** Un rugosímetro escanea la superficie de una oblea mediante una sonda o láser, registrando pequeñas variaciones en la altura de la superficie y generando parámetros de rugosidad como Ra (rugosidad media aritmética) o Rz (diferencia máxima de altura). Los rugosímetros de contacto utilizan una sonda para contactar directamente con la superficie y medir las variaciones de altura; los rugosímetros sin contacto analizan la topografía de la superficie mediante la reflexión del haz de luz.

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare la muestra del disco de aleación de tungsteno y asegúrese de que la superficie esté limpia y libre de aceite, suciedad o impurezas.
2. Fije el disco en la plataforma de prueba del probador de rugosidad para garantizar que la muestra esté estable y libre de vibraciones.
3. Según el tamaño de la oblea y las características de la superficie, seleccione el comprobador de rugosidad adecuado (como de contacto o sin contacto) y el tipo de sonda.
4. Establezca parámetros de medición (como la longitud y la velocidad de escaneo) y escanee a lo largo de la superficie de la oblea en múltiples direcciones (como direcciones radiales y circunferenciales).
5. Registre los parámetros de rugosidad (como Ra, Rz), analice los datos y calcule el valor promedio.
6. Repita la medición en diferentes áreas para verificar la consistencia de los resultados y garantizar la precisión de los datos de rugosidad.

**Ventajas y limitaciones :** Los medidores de rugosidad ofrecen alta precisión y repetibilidad, lo que los

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hace adecuados tanto para uso en laboratorio como industrial, y proporcionan parámetros de rugosidad estandarizados. Los instrumentos de contacto son más económicos, pero pueden dejar pequeñas rayaduras en superficies blandas. Los instrumentos sin contacto ofrecen mayor precisión, pero son más caros. Los resultados de las pruebas se ven afectados por la limpieza de la superficie y la calibración del instrumento, lo que requiere un control estricto de las condiciones de prueba.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de la prueba, utilice un rugosímetro láser sin contacto para minimizar los daños en la superficie de la oblea. Calibre el instrumento periódicamente para garantizar la consistencia de la medición. Limpie la superficie de la oblea antes de la prueba para evitar la interferencia de impurezas. Los resultados de la medición con el rugosímetro proporcionan evidencia fiable de la calidad superficial de las obleas de aleación de tungsteno utilizadas en aplicaciones de ensamblaje y sellado de precisión.

#### 4.3.2 Operación del instrumento de prueba de planitud

La planitud es un indicador clave del rendimiento de la superficie de las obleas de aleación de tungsteno, ya que refleja el grado de desviación de la superficie respecto a un plano ideal e influye directamente en el ajuste en aplicaciones de ensamblaje y sellado de precisión. Los instrumentos de prueba de planitud miden la planitud de las superficies de las obleas mediante métodos de contacto o sin contacto, proporcionando datos de planitud de alta precisión. Gracias a su alta precisión y funcionamiento estandarizado, las pruebas de planitud se utilizan ampliamente para evaluar las propiedades superficiales de las obleas de aleación de tungsteno, garantizando que cumplan con los requisitos de las aplicaciones de alta precisión.

**Principio de prueba :** Los instrumentos de prueba de planitud generan datos de planitud midiendo la desviación de altura de cada punto de la superficie de la oblea con respecto a un plano de referencia. Los instrumentos de contacto (como las máquinas de medición por coordenadas) escanean la superficie con una sonda y registran los cambios de altura. Los instrumentos sin contacto (como los interferómetros láser o los medidores ópticos de planitud) analizan la topografía de la superficie reflejando un haz de luz y calculan la desviación.

#### Pasos de la prueba :

1. Prepare la muestra del disco de aleación de tungsteno y asegúrese de que la superficie esté limpia y libre de aceite, suciedad o partículas.
2. Fije la oblea en la plataforma de prueba del comprobador de planitud para garantizar que la muestra esté estable y sin inclinación.
3. Seleccione el equipo de prueba adecuado (como una máquina de medición de tres coordenadas o un interferómetro láser) según el tamaño de la oblea y los requisitos de precisión.
4. Establezca los parámetros de medición, realice un escaneo completo a lo largo de la superficie de la oblea y registre los datos de altura de cada punto.
5. Utilice software de análisis para procesar los datos, generar un mapa de desviación de planitud y calcular el valor de planitud.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Repita las mediciones en diferentes áreas para verificar la consistencia de los resultados y garantizar la precisión de los datos.

**Ventajas y limitaciones :** Los instrumentos de prueba de planitud ofrecen alta precisión y repetibilidad, lo que permite una evaluación precisa de la planitud de la superficie de las obleas. Son adecuados para aplicaciones de alta precisión, como componentes de sellado o conectores electrónicos. Los instrumentos sin contacto evitan daños superficiales, pero son más costosos. Los instrumentos con contacto son más económicos, pero pueden verse afectados por el desgaste de la sonda. Los resultados de las pruebas se ven afectados por la fijación de la muestra y la vibración ambiental, lo que requiere un control estricto de las condiciones de prueba.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se puede utilizar un interferómetro láser de alta resolución para obtener datos de planitud más detallados; se puede utilizar una plataforma antivibración durante las pruebas para reducir la interferencia ambiental; y el instrumento debe calibrarse periódicamente para garantizar la precisión de las mediciones. Los resultados de las pruebas de planitud son fundamentales para verificar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno en aplicaciones de ensamblaje y sellado de precisión.

#### 4.3.3 Medidor de brillo para medir el acabado superficial

El acabado superficial es un indicador clave del rendimiento superficial de los discos de aleación de tungsteno. Refleja la suavidad y la calidad visual de la superficie, lo que afecta directamente su rendimiento de fricción, resistencia a la corrosión y estética. La medición con brillómetro es un método de prueba común que evalúa el nivel de acabado superficial midiendo la intensidad de la luz reflejada por la superficie del disco. Los brillómetros se utilizan ampliamente para probar el acabado superficial de los discos de aleación de tungsteno gracias a su simplicidad y rapidez, lo que proporciona una base para el control de calidad y la evaluación del rendimiento.

**Principio de prueba :** Un medidor de brillo proyecta un haz de luz de ángulo fijo sobre la superficie de una oblea y mide la intensidad de la luz reflejada para generar un valor de brillo (generalmente expresado en unidades de brillo [UG]). Una superficie más lisa refleja la luz con mayor intensidad, lo que resulta en un valor de brillo más alto; una superficie más rugosa dispersa, lo que resulta en un valor de brillo más bajo. La prueba se realiza típicamente en un ángulo estándar (como 20°, 60° u 85°).

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare la muestra del disco de aleación de tungsteno y asegúrese de que la superficie esté limpia y libre de aceite, huellas dactilares o partículas.
2. Coloque el disco sobre la plataforma de prueba del medidor de brillo, asegurándose de que la muestra esté estable y no inclinada.
3. Seleccione un ángulo de prueba apropiado (por ejemplo, 60° es un ángulo común) y calibre el medidor de brillo para garantizar la precisión.
4. Apunte la sonda del medidor de brillo a la superficie de la oblea, emita un haz de luz y registre

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la intensidad de la luz reflejada para generar el valor de brillo.

5. Repita la medición en diferentes áreas de la superficie de la oblea y tome el valor promedio para mejorar la precisión.
6. Analice los datos de brillo, compárelos con los valores estándar y evalúe si el acabado de la superficie cumple con los requisitos.

**Ventajas y limitaciones** : Los medidores de brillo son fáciles de usar y ofrecen resultados intuitivos, lo que los hace ideales para evaluar rápidamente el acabado superficial de las obleas y se utilizan ampliamente en entornos industriales y laboratorios. Sin embargo, los resultados de las pruebas se ven afectados por la limpieza de la superficie y la luz ambiental, lo que requiere un control estricto de las condiciones de prueba. Además, los valores de brillo solo reflejan la suavidad de la superficie y no pueden evaluar directamente otras propiedades superficiales como la rugosidad o la planitud.

**Medidas de optimización** : Para mejorar la precisión de la prueba, realice la prueba en una habitación o entorno oscuro para evitar la interferencia de la luz ambiental. Utilice un medidor de brillo multiángulo para evaluar exhaustivamente el acabado desde diferentes ángulos. Limpie a fondo la superficie de la oblea antes de la prueba para garantizar resultados precisos. Los resultados de la medición del medidor de brillo proporcionan evidencia importante para evaluar las propiedades tribológicas y estéticas de las obleas de aleación de tungsteno, especialmente en los sectores de la electrónica y la medicina.

#### 4.4 Métodos de ensayo de dureza y resistencia al desgaste de discos de aleación de tungsteno

tungsteno son cruciales para evaluar su rendimiento en entornos de alta carga y fricción, lo que influye directamente en su aplicación en herramientas industriales, estructuras mecánicas y componentes resistentes al desgaste. La dureza refleja la capacidad del disco para resistir la deformación y el rayado, mientras que la resistencia al desgaste determina su durabilidad bajo fricción a largo plazo. La precisión y la fiabilidad de los métodos de prueba son cruciales para garantizar la calidad del disco, y a menudo se combinan diversas técnicas para mejorar la precisión de las pruebas. A continuación, se detallarán los métodos de prueba y la importancia de la dureza y la resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno, centrándose en tres aspectos: la medición de la dureza con un durómetro Vickers, la prueba de la resistencia al desgaste con una máquina de prueba de desgaste y el análisis de la correlación entre la dureza y la resistencia al desgaste.

##### 4.4.1 Medición de dureza con durómetro Vickers

La prueba de dureza Vickers es un método de ensayo de dureza de uso común. Evalúa la dureza de un disco de aleación de tungsteno aplicando una carga específica a su superficie y midiendo el tamaño de la indentación. Gracias a su alta precisión y amplia aplicabilidad, la prueba de dureza Vickers es ideal para medir la alta dureza de los discos de aleación de tungsteno. Proporciona datos de dureza fiables, lo que sirve de base para el control de calidad y la evaluación del rendimiento. La dureza afecta directamente la resistencia del disco a la deformación y al desgaste, especialmente en herramientas industriales y componentes mecánicos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Principio de la prueba :** Un durómetro Vickers utiliza un penetrador de diamante de pirámide cuadrangular para aplicar una carga específica a la superficie de una oblea, creando una indentación. El valor de dureza se calcula midiendo la longitud diagonal de la indentación. La prueba de dureza Vickers es aplicable a un amplio rango de durezas y presenta una indentación de forma regular, lo que la hace adecuada para materiales de alta dureza, como las aleaciones de tungsteno.

**Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno. La superficie debe pulirse hasta que quede lisa, sin manchas de aceite, rayones ni capas de óxido.
2. Fije el disco en la plataforma de prueba del probador de dureza Vickers para asegurarse de que la muestra esté estable y no inclinada.
3. Seleccione una carga de prueba adecuada (generalmente entre 1 y 10 kg, dependiendo de la dureza del disco) y un tiempo de carga (entre 10 y 15 segundos).
4. Se utilizó un penetrador de diamante para aplicar una carga sobre la superficie de la oblea para formar una sangría, y se registró la longitud diagonal de la sangría.
5. El valor de dureza Vickers (HV) se calcula en función del tamaño de la indentación. Repita la prueba en varias áreas y calcule el valor promedio.
6. Analice los datos, compárelos con el valor de dureza estándar y evalúe si la dureza de la oblea cumple con los requisitos.

**Ventajas y limitaciones :** La prueba de dureza Vickers ofrece alta precisión y una pequeña indentación, lo que la hace adecuada para probar materiales de alta dureza y obleas delgadas. Se utiliza ampliamente en laboratorios y entornos industriales. Sin embargo, los resultados de la prueba se ven afectados por la calidad de la superficie y la selección de la carga; las superficies rugosas o irregulares pueden generar errores. Además, el equipo de prueba requiere calibración regular para garantizar la precisión.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de la prueba, la superficie de la oblea se puede pulir finamente para garantizar una superficie lisa y sin defectos; se puede seleccionar una carga adecuada para evitar indentaciones demasiado profundas o superficiales; y el tamaño de la indentación se puede medir con un microscopio de alta resolución. Los datos de dureza medidos con un durómetro Vickers proporcionan una base fiable para verificar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno en entornos de alta carga, especialmente en el ámbito de las herramientas industriales y los componentes resistentes al desgaste.

#### 4.4.2 Prueba de resistencia al desgaste utilizando un comprobador de desgaste

Las pruebas de desgaste son el método principal para evaluar la resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno. Mediante la simulación de la fricción y el desgaste, el comprobador de desgaste mide la pérdida de material o los cambios superficiales del disco en condiciones específicas. La resistencia al desgaste afecta directamente la vida útil del disco en entornos de alta fricción, como los que se encuentran en piezas mecánicas deslizantes o herramientas de corte. Gracias a su funcionamiento controlable y estandarizado, las máquinas de prueba de desgaste se utilizan ampliamente para evaluar la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resistencia al desgaste de los discos de aleación de tungsteno, proporcionando datos cruciales para la evaluación del rendimiento.

**Principio de la prueba :** Un comprobador de desgaste aplica una carga específica y condiciones de fricción (como deslizamiento o rectificado) a la superficie de un disco, midiendo la pérdida de masa, la pérdida de volumen o los cambios en la topografía de la superficie de la muestra para evaluar su resistencia al desgaste. Los métodos de prueba comunes incluyen la prueba de desgaste de pasador sobre disco y la prueba de desgaste de muela, que simulan entornos de fricción reales.

**Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno. La superficie debe limpiarse y pulirse hasta alcanzar la rugosidad especificada.
2. Fije el disco en la plataforma de prueba del probador de desgaste, seleccione el par de fricción adecuado (como una bola de acero o una muela abrasiva) y las condiciones de prueba (como carga, velocidad, tiempo).
3. Encienda la máquina de prueba, aplique una carga constante para realizar la prueba de fricción y registre el tiempo de prueba y la distancia de fricción.
4. Después de la prueba, se mide la pérdida de masa del disco (utilizando una balanza de alta precisión) o se mide el tamaño de la cicatriz de desgaste de la superficie (utilizando un microscopio o un perfilómetro).
5. Calcule la tasa de desgaste (como la tasa de pérdida de masa o la tasa de pérdida de volumen), repita la prueba en diferentes áreas y tome el valor promedio.
6. Analice los datos, compárelos con los requisitos de resistencia al desgaste estándar y evalúe la resistencia al desgaste de la oblea.

**Ventajas y limitaciones :** Los probadores de desgaste pueden simular entornos de fricción reales, lo que proporciona datos fiables de resistencia al desgaste y es adecuado para probar diversos escenarios de desgaste. Sin embargo, los resultados de las pruebas se ven afectados por las condiciones de fricción, factores ambientales (como la humedad) y el material del par de acoplamiento, lo que requiere un control estricto de los parámetros de prueba. Además, el equipo es costoso y los ciclos de prueba son largos.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se deben estandarizar las condiciones de prueba (como temperatura y humedad constantes); seleccionar pares de fricción similares a los utilizados en aplicaciones reales; y utilizar equipos de medición de alta precisión para analizar el desgaste. Los datos de resistencia al desgaste de los comprobadores de desgaste son fundamentales para verificar el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno en entornos de alta fricción, especialmente en la fabricación de componentes mecánicos y herramientas.

#### 4.4.3 Prueba de análisis de correlación entre dureza y resistencia al desgaste

El análisis de correlación de dureza y resistencia al desgaste investiga la relación entre la dureza y la resistencia al desgaste en discos de aleación de tungsteno. Mediante la integración de datos de ensayos

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

de dureza y desgaste, los autores analizan cómo se influyen mutuamente. Si bien la dureza es fundamental para la resistencia al desgaste, la correlación no es lineal. Factores como la tenacidad, la microestructura y el tratamiento superficial también influyen en esta relación. Este ensayo proporciona una base científica para optimizar el diseño de discos y los procesos de fabricación, especialmente en aplicaciones que requieren alta resistencia al desgaste.

**Principio de la prueba :** Esta prueba de correlación de dureza y resistencia al desgaste combina la prueba de dureza Vickers con la prueba de desgaste para medir la resistencia al desgaste de discos con diferentes niveles de dureza y analizar el efecto de la dureza en la tasa de desgaste. Mediante la manipulación de la composición de la aleación, el tratamiento térmico o el tratamiento superficial, se preparan muestras de discos de diferente dureza y se compara su resistencia al desgaste para determinar la relación entre ambas.

**Pasos de la prueba :**

1. Prepare varios juegos de muestras de discos de aleación de tungsteno y obtenga diferentes niveles de dureza ajustando la composición de la aleación (como el contenido de níquel y hierro) o el proceso de tratamiento térmico.
2. Utilice un probador de dureza Vickers para medir el valor de dureza de cada grupo de muestras y registrar los datos para garantizar condiciones de prueba consistentes.
3. Se realizaron pruebas de desgaste en cada grupo de muestras utilizando un probador de desgaste, controlando las mismas condiciones de fricción (como carga, velocidad y tiempo) para medir la pérdida de masa o el tamaño de la cicatriz de desgaste.
4. Organice los datos de dureza y desgaste, dibuje una curva de la relación entre la dureza y la tasa de desgaste y analice la correlación.
5. Se utilizó un software de análisis estadístico (por ejemplo, análisis de regresión) para evaluar el coeficiente de correlación entre la dureza y la resistencia al desgaste e identificar los factores de influencia clave.
6. Combinado con el análisis microestructural (como la observación con microscopio electrónico de barrido), se exploran los mecanismos microscópicos de dureza y resistencia al desgaste.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de análisis de correlación pueden revelar la relación intrínseca entre la dureza y la resistencia al desgaste, lo que proporciona una base científica para la optimización de materiales y resulta adecuado para el diseño de aplicaciones de alta resistencia al desgaste. Sin embargo, la prueba requiere la preparación de múltiples conjuntos de muestras, lo cual resulta costoso. Además, los resultados se ven afectados por la composición de la aleación, la microestructura y las condiciones de prueba, lo que requiere un análisis exhaustivo de múltiples factores.

**Medidas de optimización :** para mejorar la precisión de la prueba, se puede aumentar el número de grupos de muestras para cubrir un rango de dureza más amplio; se puede utilizar la estandarización de las condiciones de prueba para garantizar la comparabilidad de los datos; y se puede realizar una investigación en profundidad sobre los mecanismos de dureza y resistencia al desgaste en combinación con el análisis microestructural.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## 4.5 Métodos de prueba para determinar la resistencia y tenacidad de los discos de aleación de tungsteno

El rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno es crucial para evaluar su rendimiento en entornos dinámicos y de alta carga, lo que influye directamente en su aplicación en estructuras mecánicas, la industria aeroespacial y herramientas industriales. La resistencia, que abarca la resistencia a la tracción y a la flexión, refleja la capacidad de la oblea para resistir la deformación por estiramiento y flexión. La tenacidad, medida a través de la tenacidad al impacto, determina la resistencia de la oblea a la fractura por impacto o vibración. Es fundamental contar con métodos de prueba precisos y fiables para garantizar la calidad de las obleas, y a menudo se combinan diversas técnicas para mejorar la precisión de las pruebas.

### 4.5.1 Medición de la resistencia a la tracción utilizando una máquina de ensayos universal

La resistencia a la tracción es una propiedad mecánica clave de los discos de aleación de tungsteno, que refleja su capacidad para resistir la fractura bajo cargas de tracción y sirve como parámetro crítico para medir su resistencia y fiabilidad. Una máquina de ensayos universal es un dispositivo de ensayo versátil que aplica una carga de tracción a una muestra de disco, midiendo su tensión máxima y su comportamiento de deformación antes de la fractura para evaluar la resistencia a la tracción. Gracias a su alta precisión, flexibilidad y funcionamiento estandarizado, las máquinas de ensayos universales se utilizan ampliamente para probar la resistencia a la tracción de discos de aleación de tungsteno, proporcionando datos fiables para la verificación del rendimiento de estructuras mecánicas y componentes aeroespaciales.

**Principio de prueba :** Una máquina de ensayos universal aplica una carga de tracción que aumenta gradualmente a una muestra de disco, registrando los cambios de tensión y deformación hasta que la muestra se rompe. La resistencia a la tracción se define como la tensión máxima que una muestra puede soportar antes de romperse, medida generalmente en megapascales (MPa).

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno y procéselas para obtener especímenes de tracción estándar (como formas cilíndricas o de mancuerna), asegurándose de que la superficie sea lisa, libre de grietas o defectos y que cumpla con los estándares internacionales (como ASTM E8).
2. Fije la muestra en la abrazadera de la máquina de prueba universal, asegurándose de que esté sujeta de forma segura y que el eje de la muestra esté alineado con la dirección de carga.
3. Establezca los parámetros de prueba, incluida la velocidad de carga (normalmente 1-5 mm/min), la frecuencia de adquisición de datos y las condiciones ambientales (por ejemplo, temperatura ambiente o temperatura elevada).
4. Ponga en marcha la máquina de prueba, aplique una carga de tracción y registre la curva de carga-desplazamiento hasta que la muestra se rompa.
5. Analizar datos de pruebas y calcular la resistencia a la tracción (carga máxima dividida por el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

área de la sección transversal de la muestra), el alargamiento de rotura y el módulo elástico.

6. Repita la prueba en diferentes áreas o múltiples grupos de muestras, tome el valor promedio para mejorar la precisión y compárelo con el valor estándar para verificación.
7. Examine la superficie de la fractura (utilizando un microscopio o un microscopio electrónico de barrido) y analice el tipo de fractura (dúctil o frágil) para evaluar las propiedades del material.

**Ventajas y limitaciones :** Las máquinas de ensayo universales ofrecen alta precisión, son aptas para una amplia gama de materiales y condiciones de ensayo, y proporcionan datos completos de rendimiento de tracción, lo que las hace ideales tanto para uso en laboratorio como industrial. Sin embargo, los resultados de los ensayos se ven afectados por la calidad de la preparación de la muestra y la alineación de los accesorios. Los discos con formas irregulares deben procesarse para obtener muestras estándar, lo que incrementa los costos de los ensayos. Además, los ensayos a alta temperatura requieren accesorios especializados de alta temperatura y equipos de control ambiental, lo que complica la operación.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se pueden utilizar sensores de desplazamiento de alta precisión y celdas de carga para garantizar la precisión de los datos. Las muestras deben pulirse finamente para eliminar defectos superficiales. Se debe utilizar un sistema de control computarizado para registrar datos en tiempo real y reducir el error humano. Durante las pruebas a alta temperatura, se puede utilizar protección con gas inerte para prevenir la oxidación.

#### 4.5.2 Ensayo de flexión de tres puntos para medir la resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es la capacidad de un disco de aleación de tungsteno para resistir la deformación y la fractura bajo cargas de flexión. Es un indicador clave de sus propiedades mecánicas y afecta directamente su rendimiento en entornos de tensión complejos. La prueba de flexión de tres puntos es un método de ensayo común que aplica una carga concentrada a una muestra de disco y mide su rendimiento bajo tensión de flexión para evaluar su resistencia. Gracias a su simplicidad, fiabilidad y funcionamiento estandarizado, la prueba de flexión de tres puntos se utiliza ampliamente para evaluar la resistencia a la flexión de discos de aleación de tungsteno, proporcionando datos cruciales para la verificación del rendimiento de estructuras mecánicas y herramientas industriales.

**Principio de la prueba :** La prueba de flexión de tres puntos utiliza puntos de apoyo en cada extremo de la probeta y aplica una carga concentrada en el centro, lo que provoca su flexión. La resistencia a la flexión se calcula midiendo la carga máxima y las dimensiones geométricas de la probeta, lo que refleja la capacidad del disco para resistir la flexión y la fractura. La prueba también registra la deflexión y el comportamiento a la fractura de la probeta, lo que proporciona una evaluación completa de su resistencia y tenacidad.

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno y proceselas en láminas delgadas rectangulares o circulares estándar, con dimensiones que cumplan con las normas internacionales (como la ASTM E290). La superficie debe ser lisa y sin defectos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Coloque la muestra sobre los dos puntos de apoyo del comprobador de flexión de tres puntos, asegurándose de que la muestra esté nivelada y los puntos de apoyo estén espaciados adecuadamente (generalmente de 4 a 5 veces la longitud de la muestra).
3. Establezca los parámetros de prueba, incluida la velocidad de carga (normalmente 0,5-2 mm/min), el espaciado de los puntos de apoyo y la frecuencia de adquisición de datos.
4. Utilice el cabezal de carga de la máquina de prueba para aplicar una carga que aumente gradualmente en el medio de la muestra y registre la curva de carga-deflexión hasta que la muestra se rompa o alcance la deflexión máxima.
5. Analice datos de pruebas, calcule la resistencia a la flexión y evalúe el rendimiento en función de las dimensiones de la muestra y el comportamiento de la fractura.
6. Repita la prueba en varios grupos de muestras, tome el valor promedio para mejorar la precisión y compárelo y verifique con el valor estándar.
7. Examine la superficie de la fractura utilizando un microscopio o un microscopio electrónico de barrido para analizar el mecanismo de fractura (por ejemplo, fractura dúctil o frágil).

**Ventajas y limitaciones :** La prueba de flexión en tres puntos es fácil de usar y proporciona resultados intuitivos, lo que la hace adecuada para evaluar las propiedades de flexión de obleas y se utiliza ampliamente en laboratorios y entornos industriales. Sin embargo, los resultados de la prueba se ven afectados por el tamaño de la muestra, la separación entre los puntos de apoyo y la velocidad de carga, lo que requiere un control estricto de las condiciones de prueba.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se pueden utilizar celdas de carga de alta precisión y sensores de desplazamiento para garantizar la precisión de los datos; se pueden optimizar los procesos de preparación de muestras para eliminar defectos superficiales; y se pueden estandarizar la separación de los puntos de apoyo y las tasas de carga para reducir los errores de prueba. Los datos de resistencia a la flexión medidos en la prueba de flexión en tres puntos proporcionan un importante apoyo para verificar el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno en entornos de tensión complejos, especialmente en los sectores aeroespacial y de componentes mecánicos.

#### 4.5.3 Máquina de prueba de tenacidad al impacto

La tenacidad al impacto es la capacidad de un disco de aleación de tungsteno para resistir la fractura bajo cargas de impacto o vibración. Es un indicador clave de su tenacidad e influye directamente en su fiabilidad en entornos dinámicos. Las pruebas de impacto son un método común para evaluar la tenacidad al impacto mediante la aplicación de una carga de impacto transitoria a una muestra de disco y la medición de la energía absorbida y el comportamiento a la fractura. Gracias a su alta eficiencia y funcionamiento estandarizado, las máquinas de prueba de impacto se utilizan ampliamente para la prueba de tenacidad al impacto de discos de aleación de tungsteno, proporcionando datos cruciales para la verificación del rendimiento dinámico en equipos aeroespaciales y mecánicos.

**Principio de prueba :** Una máquina de ensayo de impacto aplica una carga de impacto momentánea a una muestra mediante un péndulo o una pesa de impacto. Se mide la energía absorbida en la fractura, lo

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que refleja la tenacidad al impacto de la muestra. Los métodos de prueba comunes incluyen la prueba de impacto Charpy y la prueba de impacto con pesa de impacto, que son adecuados para evaluar la resistencia al impacto de las obleas. Los resultados de la prueba se expresan como energía absorbida (julios) o características de fractura.

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno y proceselas para obtener muestras de impacto estándar (como las muestras Charpy con entalla en V). Las dimensiones deben cumplir con las normas internacionales (como ASTM E23) y la superficie debe ser lisa y sin defectos.
2. Fije la muestra al marco de soporte del probador de impacto, asegurándose de que la posición de la muesca esté alineada con la dirección del impacto (para la prueba Charpy).
3. Establezca los parámetros de prueba, incluida la energía del péndulo (normalmente 50-300 J), la velocidad de impacto y la temperatura ambiente (por ejemplo, temperatura ambiente o criogénica).
4. Suelte el péndulo o deje caer un peso para aplicar una carga de impacto a la muestra y registre la energía absorbida y las condiciones de fractura.
5. Examine la superficie de la fractura (utilizando un microscopio o un microscopio electrónico de barrido) y analice el tipo de fractura (dúctil o frágil).
6. Repita la prueba en varios grupos de muestras, tome el valor promedio para mejorar la precisión y compárelo y verifique con el valor estándar.
7. Se pueden realizar pruebas a diferentes temperaturas para evaluar el cambio en la tenacidad al impacto de la oblea en entornos de baja o alta temperatura.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de impacto permiten evaluar rápidamente la resistencia al impacto de una oblea, simulando entornos dinámicos reales y haciéndola apta para aplicaciones aeroespaciales y mecánicas. Sin embargo, los resultados de las pruebas se ven afectados por la calidad de la entalla de la muestra, la temperatura y la energía del impacto, lo que requiere un control estricto de las condiciones de prueba. Las obleas de aleación de tungsteno, debido a su alta dureza, pueden presentar baja tenacidad, por lo que se debe considerar la posibilidad de fractura frágil durante las pruebas.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de la prueba, se puede utilizar un sistema de medición de energía de alta precisión para registrar la energía absorbida con exactitud; se puede optimizar el proceso de entallado de la muestra para garantizar una forma uniforme; y se pueden realizar pruebas en diferentes condiciones de temperatura para evaluar exhaustivamente la tenacidad de la oblea. Los datos de tenacidad al impacto medidos por la máquina de pruebas de impacto proporcionan una base fiable para verificar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno en entornos dinámicos, especialmente en los sectores aeroespacial y de equipos mecánicos.

#### **4.6 Método de prueba para el rendimiento de protección contra la radiación de discos de aleación de tungsteno**

de tungsteno es crucial para evaluar su capacidad de protección contra entornos de alta radiación, lo que

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

influye directamente en su eficacia en aplicaciones médicas, científicas y nucleares. El rendimiento de blindaje contra la radiación incluye la absorción de rayos gamma y rayos X, así como su relación con el espesor. Los métodos de prueba científicos permiten evaluar exhaustivamente la eficacia de blindaje de una oblea. La precisión y la fiabilidad de los métodos de prueba son cruciales para garantizar la calidad de la oblea, y a menudo se combinan múltiples técnicas para mejorar la precisión de las pruebas.

#### 4.6.1 Uso del dispositivo de detección de la eficacia del blindaje contra rayos gamma

La prueba de efectividad del blindaje contra rayos gamma es un método importante para evaluar la capacidad de absorción de los discos de aleación de tungsteno contra rayos gamma altamente penetrantes. Se utiliza ampliamente en centrales nucleares, radioterapia médica y experimentos de investigación científica. Los dispositivos de detección de rayos gamma evalúan el rendimiento del blindaje de un disco midiendo su atenuación de los rayos gamma. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad y alto número atómico, absorben eficazmente los rayos gamma, reduciendo su potencial de penetración. Gracias a su alta precisión y seguridad, este dispositivo de prueba es ideal para evaluar la efectividad del blindaje de los discos, proporcionando datos fiables para aplicaciones en entornos de alta radiación.

**Principio de la prueba :** Un comprobador de la eficacia del blindaje contra rayos gamma utiliza una fuente radiactiva (como cobalto-60 o cesio-137) para emitir rayos gamma. Tras atravesar una oblea, se mide la intensidad de los rayos transmitidos para evaluar la eficacia del blindaje. Las obleas de alta densidad absorben más rayos gamma, lo que resulta en una menor intensidad de transmisión. Las pruebas se realizan generalmente en un entorno controlado, con detectores que registran la intensidad y analizan la tasa de atenuación.

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare la muestra del disco de aleación de tungsteno, asegurándose de que la superficie esté limpia y sin defectos, y que el tamaño cumpla con los requisitos de prueba (por ejemplo, 50 mm de diámetro, 5-20 mm de espesor).
2. Fije la oblea en la plataforma de prueba del dispositivo de detección de rayos gamma para asegurar la alineación con la fuente de rayos y el detector.
3. Seleccione una fuente de rayos gamma adecuada (como cobalto-60, energía aproximadamente 1,17-1,33 MeV) y configure la intensidad del rayo y el tiempo de irradiación.
4. En ausencia de disco, se mide la intensidad de radiación inicial como valor de referencia.
5. Se coloca el disco en la trayectoria del rayo, se mide la intensidad del rayo transmitido y se registran los datos de atenuación.
6. Repita la prueba en diferentes áreas o en múltiples grupos de muestras y tome el promedio para mejorar la precisión.
7. Analice los datos de tasa de atenuación y compárelos con los requisitos de blindaje estándar para evaluar el rendimiento de blindaje de rayos gamma de la oblea.
8. Utilice medidas de protección (como salas con protección de plomo) para garantizar la seguridad del operador y cumplir con las normas de seguridad radiológica.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Ventajas y limitaciones :** Los dispositivos de prueba de la efectividad del blindaje contra rayos  $\gamma$  proporcionan datos de atenuación de alta precisión, lo que los hace ideales para evaluar el rendimiento de las obleas en entornos de alta radiación. Los resultados de las pruebas son intuitivos y pueden compararse directamente con los valores estándar. Sin embargo, las pruebas requieren equipos y cualificaciones especializadas en protección radiológica, además de ser complejas y costosas. Además, la correspondencia entre la energía de la fuente de radiación y el espesor de la oblea puede afectar la precisión de la prueba, lo que requiere parámetros de prueba adecuados a cada caso de aplicación.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, utilice detectores de alta resolución (como detectores de germanio de alta pureza) para registrar la intensidad de la radiación; calibre la fuente de radiación y el detector para garantizar la precisión de los datos; y pruebe múltiples conjuntos de muestras, con diferentes espesores o composiciones de aleación, para evaluar exhaustivamente el rendimiento del blindaje. Las pruebas de eficacia del blindaje de rayos gamma proporcionan una base fiable para la aplicación de discos de aleación de tungsteno en los campos de la energía nuclear y la medicina, garantizando su capacidad de protección en entornos de alta radiación.

#### 4.6.2 Pasos de la prueba de tasa de atenuación de rayos X

La prueba de atenuación de rayos X es un método importante para evaluar la capacidad de absorción de rayos X de los discos de aleación de tungsteno. Se utiliza ampliamente en equipos de diagnóstico médico (como máquinas de rayos X y escáneres CT) y en ensayos no destructivos industriales. Gracias a su alta densidad y alto número atómico, los discos de aleación de tungsteno pueden bloquear eficazmente los rayos X, reduciendo el riesgo de penetración de estos en el equipo o el personal. La prueba de atenuación de rayos X mide la atenuación de los rayos X del disco para evaluar su capacidad de blindaje, lo que proporciona datos cruciales para aplicaciones de alta precisión.

**Principio de la prueba :** La prueba de tasa de atenuación de rayos X utiliza una fuente de rayos X para emitir rayos X de una energía específica. Tras atravesar una oblea, se mide la intensidad de los rayos transmitidos y se calcula la tasa de atenuación. Las obleas de alta densidad absorben más rayos X, lo que resulta en una menor intensidad de transmisión. La prueba se realiza generalmente en un laboratorio, utilizando un detector de rayos X para registrar los cambios de intensidad.

#### Pasos de la prueba :

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno. La superficie debe estar limpia y sin defectos, y el tamaño debe cumplir con los requisitos de la prueba (p. ej., 50 mm de diámetro y 2-10 mm de espesor).
2. Fije el disco en el soporte de muestra del dispositivo de prueba de rayos X, asegurándose de que esté alineado con la fuente de rayos X y el detector.
3. Seleccione una fuente de rayos X adecuada (por ejemplo, tubo de rayos X, rango de energía 50-150 kVp), configure el voltaje y la corriente del tubo y ajuste el tiempo de irradiación.
4. En ausencia de disco, se midió la intensidad inicial de rayos X como valor de referencia.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Se coloca el disco en la trayectoria de rayos X, se mide la intensidad de la radiación transmitida y se registran los datos de atenuación.
6. Repita la prueba en diferentes niveles de energía (por ejemplo, 80 kVp, 120 kVp) para evaluar el rendimiento de protección de la oblea en diferentes energías de rayos X.
7. Analice los datos de tasa de atenuación, calcule la transmitancia (la relación entre la intensidad transmitida y la intensidad inicial) y compárela con los requisitos de blindaje estándar.
8. Repita la prueba en múltiples grupos de muestras o áreas diferentes y tome el valor promedio para mejorar la precisión.
9. Cumpla con las normas de seguridad radiológica y utilice protección para garantizar la seguridad del operador.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de tasa de atenuación de rayos X evalúan con precisión el rendimiento de blindaje de una oblea, lo que las hace adecuadas para la verificación del rendimiento en aplicaciones médicas e industriales. Los equipos de prueba son relativamente fáciles de conseguir y de usar. Sin embargo, los resultados de las pruebas se ven afectados por la energía de los rayos X, el grosor de la oblea y la sensibilidad del detector, lo que requiere un control estricto de las condiciones de prueba. Además, las pruebas con rayos X de alta energía requieren medidas de protección más rigurosas.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se pueden utilizar detectores de rayos X de alta resolución para garantizar mediciones de intensidad precisas; se pueden probar múltiples energías de rayos X para cubrir el rango de aplicación real; y se pueden calibrar las fuentes y detectores de rayos X para reducir errores. Las pruebas de tasa de atenuación de rayos X proporcionan un soporte fiable para verificar el rendimiento de blindaje de los discos de aleación de tungsteno en diagnósticos médicos y pruebas industriales, garantizando así su eficacia en aplicaciones de alta precisión.

#### 4.6.3 Comparación del rendimiento de blindaje de discos de aleación de tungsteno de diferentes espesores

de los discos de aleación de tungsteno de diferentes espesores es evaluar el impacto del espesor en la eficacia del blindaje contra rayos gamma y rayos X, proporcionando una base para optimizar el diseño y la aplicación de los discos. El espesor es un factor clave que influye en el rendimiento del blindaje. Los discos más gruesos absorben mayor energía de radiación y son adecuados para entornos de alta intensidad de radiación, mientras que los discos más delgados son más adecuados para escenarios de baja intensidad de radiación. La prueba revela la relación entre el espesor y el rendimiento del blindaje comparando las tasas de atenuación de discos de diferentes espesores.

**Principio de prueba :** La relación entre el rendimiento del blindaje y el espesor se basa en la atenuación exponencial de la radiación en los materiales. Las pruebas miden la intensidad de transmisión de rayos gamma o rayos X a través de discos de diferentes espesores, comparando las tasas de atenuación y evaluando el impacto del espesor en la eficacia del blindaje. Las pruebas se realizan típicamente utilizando una combinación de equipos de detección de rayos gamma y rayos X para cubrir diferentes tipos de radiación.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### **Pasos de la prueba :**

1. Prepare varios juegos de muestras de discos de aleación de tungsteno con espesores que cubran escenarios de aplicación típicos (por ejemplo, 1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm), asegurándose de que cada juego de muestras esté hecho de material consistente.
2. Fije los discos uno por uno en el soporte de muestra del dispositivo de prueba de radiación, asegurándose de que estén alineados con la fuente de radiación y el detector.
3. Seleccione una fuente de radiación adecuada (como rayos gamma de cobalto-60 o un tubo de rayos X), configure la energía y la intensidad de la radiación y registre la intensidad de la radiación inicial.
4. Se prueba cada juego de discos de espesor, se mide la intensidad de los rayos transmitidos y se registran los datos de atenuación.
5. Repita la prueba en diferentes niveles de energía (por ejemplo, 1,25 MeV para rayos gamma, 80-120 kVp para rayos X) para evaluar el efecto del espesor en el rendimiento del blindaje.
6. Analice los datos, dibuje una curva de la relación entre el espesor y la tasa de atenuación y compare los efectos de blindaje de obleas con diferentes espesores.
7. Se utilizó un software de análisis estadístico para calcular la diferencia en las tasas de atenuación y determinar el rango de espesor óptimo.
8. Asegúrese de que se cumplan las normas de seguridad radiológica durante las pruebas y utilice blindaje protector para proteger a los operadores.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de comparación de espesores permiten revelar intuitivamente el impacto del espesor en el rendimiento del blindaje, lo que proporciona una base científica para optimizar el diseño de obleas y resulta adecuado para aplicaciones médicas, científicas e industriales. Sin embargo, las pruebas requieren múltiples conjuntos de muestras, lo cual resulta costoso, y los resultados se ven afectados por la energía de la radiación y la composición de la aleación, lo que exige una consideración exhaustiva de múltiples factores. Las pruebas de obleas gruesas pueden generar señales de detector débiles debido a la alta atenuación, lo que requiere el uso de un detector de alta sensibilidad.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se pueden añadir puntos de prueba de espesor adicionales para cubrir un rango más amplio; se puede utilizar un detector de alta resolución para registrar con precisión señales de transmisión de baja intensidad; y se puede combinar el análisis microestructural para evaluar el impacto de las variaciones de espesor en la densidad del material. Las pruebas comparativas de rendimiento de blindaje de discos de diferentes espesores proporcionan datos clave para optimizar el diseño de discos de aleación de tungsteno para entornos de alta radiación, lo que promueve su aplicación en los sectores médico y de energía nuclear.

#### **4.7 Métodos de prueba para la conductividad eléctrica y térmica de discos de aleación de tungsteno**

de tungsteno es crucial para evaluar su eficacia en aplicaciones de electrónica, ingeniería eléctrica y gestión térmica. Su rendimiento influye directamente en su rendimiento en la conducción de corriente y la transferencia de calor. La conductividad eléctrica refleja la eficiencia de la oblea en la conducción de corriente, mientras que la conductividad térmica determina su capacidad para disipar y gestionar el calor.

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

Es fundamental contar con métodos de prueba precisos y fiables para garantizar la calidad de las obleas, y a menudo se combinan diversas técnicas para mejorar la precisión de las pruebas.

#### 4.7.1 Medición de conductividad mediante el método de cuatro sondas

El método de cuatro sondas es un método de prueba de conductividad de alta precisión. Aplicando una corriente constante a la superficie de una oblea de aleación de tungsteno y midiendo la caída de tensión, se calculan la resistividad y la conductividad de la oblea. Este método se utiliza ampliamente para pruebas de conductividad de obleas de aleación de tungsteno debido a su alta precisión, baja resistencia de contacto y amplia aplicabilidad. Proporciona datos fiables de rendimiento eléctrico, lo que sirve de base para la verificación del rendimiento en aplicaciones electrónicas y eléctricas. La conductividad afecta directamente el rendimiento de la oblea en contactos, conectores y componentes de circuitos.

**Principio de la prueba :** El método de cuatro sondas utiliza cuatro sondas equidistantes en contacto con la superficie de la oblea. Las dos sondas externas aplican una corriente constante, mientras que las dos internas miden la caída de tensión, calculando así la resistividad. La conductividad, la inversa de la resistividad, refleja la capacidad de la oblea para conducir la corriente. Este método mejora la precisión de la prueba al separar las vías de medición de corriente y tensión, eliminando así la influencia de la resistencia de contacto.

#### Pasos de la prueba :

1. Prepare la muestra del disco de aleación de tungsteno. La superficie debe pulirse hasta quedar lisa, sin manchas de aceite, óxido ni impurezas, para garantizar un buen contacto.
2. Fije la oblea en la plataforma del dispositivo de prueba de cuatro sondas para garantizar que la muestra esté estable y libre de vibraciones.
3. Ajuste el conjunto de cuatro sondas para asegurarse de que las cuatro sondas estén en contacto perpendicular con la superficie de la oblea y que el espaciado de las sondas sea uniforme.
4. Establezca los parámetros de prueba, incluido el valor de corriente constante (normalmente 1-100 mA) y el rango de medición de voltaje, utilizando una fuente de corriente de alta precisión y un voltímetro.
5. Se aplica una corriente constante, se mide la caída de voltaje a través de la sonda interna y se registran los datos.
6. Repita la medición en diferentes áreas de la superficie de la oblea (como el centro y el borde) y tome el promedio para mejorar la precisión.
7. La resistividad se calcula en función de la caída de tensión y el valor de la corriente, luego se convierte en conductividad y se compara con el valor estándar para su verificación.
8. Compruebe el estado de la superficie de la muestra y observe los puntos de contacto con un microscopio si es necesario para asegurarse de que no haya daños ni contaminación.

**Ventajas y limitaciones :** El método de cuatro sondas ofrece alta precisión y baja resistencia de contacto, lo que lo hace adecuado para probar materiales altamente conductores, como obleas de aleación de tungsteno y cobre. Se utiliza ampliamente en laboratorios y entornos industriales. Sin embargo, los

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resultados de las pruebas se ven afectados por la calidad de la superficie y el contacto de la sonda, por lo que es importante asegurar superficies lisas y la alineación de la sonda. El equipo de prueba requiere calibración regular, y podrían requerirse accesorios especiales para obleas delgadas o de forma irregular.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, utilice una fuente de corriente de alta precisión y un voltímetro para garantizar la precisión de los datos; pule finamente la superficie de la oblea para reducir la resistencia de contacto; pruebe múltiples conjuntos de muestras con diferentes composiciones de aleación (como tungsteno-cobre o tungsteno-plata) para evaluar exhaustivamente la conductividad. Los datos de conductividad medidos mediante el método de cuatro sondas proporcionan una base fiable para verificar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno en aplicaciones eléctricas y electrónicas, especialmente en aplicaciones de conexión y contacto de circuitos.

#### 4.7.2 Medición de la conductividad térmica mediante el método del hilo caliente

El método del hilo caliente es un método de prueba de conductividad térmica comúnmente utilizado. Calcula la conductividad térmica aplicando un pulso de calor a un disco de aleación de tungsteno y midiendo su respuesta térmica. Gracias a su alta precisión, rapidez y aplicabilidad, el método del hilo caliente se utiliza ampliamente para probar la conductividad térmica de discos de aleación de tungsteno. Proporciona datos fiables sobre el rendimiento térmico, lo que sirve de base para la verificación del rendimiento en aplicaciones de gestión térmica. La conductividad térmica influye directamente en el rendimiento del disco en disipadores de calor, tubos de calor y equipos de alta temperatura.

**Principio de prueba :** El método del hilo caliente consiste en incrustar un hilo caliente delgado (como un hilo de níquel-cromo) en una muestra de oblea, aplicar un pulso de calor de potencia constante y medir la variación de temperatura a lo largo del tiempo cerca del hilo caliente. La conductividad térmica se calcula en función de la velocidad de respuesta térmica y refleja la capacidad de la oblea para conducir el calor. Las pruebas se realizan generalmente en un entorno de temperatura controlada para minimizar las interferencias externas.

#### Pasos de la prueba :

1. Prepare muestras de discos de aleación de tungsteno y proceselas en tamaños estándar (como rebanadas rectangulares o redondas). La superficie debe estar limpia y sin defectos.
2. Incruste un cable calefactor delgado en la oblea o fije el cable calefactor a la superficie, asegurando un buen contacto entre el cable calefactor y la muestra.
3. Coloque la muestra en un entorno de temperatura constante de un dispositivo de prueba de alambre caliente y conecte el alambre caliente a la fuente de alimentación y al sensor de temperatura.
4. Configure los parámetros de prueba, incluida la potencia del pulso de calor (normalmente 0,1-1 W), el tiempo de calentamiento (de varios segundos a decenas de segundos) y la frecuencia de medición de temperatura.
5. Se aplica un pulso de calor y se registra el cambio de temperatura cerca de la línea caliente con el tiempo para generar una curva de temperatura-tiempo.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Analice los datos de respuesta de temperatura, calcule la conductividad térmica, repita la prueba en diferentes áreas y tome el valor promedio.
7. Compárese con el valor de conductividad térmica estándar para verificar si la conductividad térmica de la oblea cumple con los requisitos.
8. Adhesivo conductor para mejorar el contacto si es necesario.

**Ventajas y limitaciones :** El método del hilo caliente ofrece ventajas de alta precisión y rapidez. Es adecuado para probar materiales de alta conductividad térmica, como discos de aleación de tungsteno y cobre, y puede simular entornos reales de gestión térmica. Sin embargo, los resultados de la prueba se ven afectados por la calidad de contacto del hilo caliente y la temperatura ambiente, y las condiciones de prueba deben controlarse estrictamente. En el caso de discos delgados, la incrustación del hilo caliente puede resultar difícil y se requiere fijación a la superficie. Medidas de optimización: Para mejorar la precisión de la prueba, se pueden utilizar sensores de temperatura de alta precisión y entornos de temperatura constante para reducir la interferencia externa; optimizar el método de contacto entre el hilo caliente y la muestra para garantizar la eficiencia de la transferencia de calor; probar múltiples grupos de muestras, que cubran diferentes composiciones y espesores de aleación, y evaluar exhaustivamente la conductividad térmica. Los datos de conductividad térmica medidos por el método del hilo caliente proporcionan un importante respaldo para la verificación del rendimiento de los discos de aleación de tungsteno en el campo de la gestión térmica, especialmente en equipos electrónicos y aplicaciones aeroespaciales.

#### 4.7.3 Prueba de correlación entre conductividad eléctrica y conductividad térmica

La prueba de correlación de conductividad eléctrica y conductividad térmica investiga la relación entre las conductividades eléctrica y térmica de las obleas de aleación de tungsteno. Mediante la medición exhaustiva de los datos de rendimiento de ambas, se analiza la correlación inherente, lo que proporciona una base para optimizar el diseño de materiales. La conductividad eléctrica y térmica suelen estar correlacionadas en materiales metálicos, ya que ambas dependen del movimiento de electrones libres. Esta prueba revela el mecanismo subyacente al comparar la conductividad eléctrica y térmica en diferentes composiciones de aleación o condiciones de procesamiento.

**Principio de la prueba :** La prueba de correlación de conductividad eléctrica y térmica combina el método de cuatro sondas para medir la conductividad eléctrica y el método del hilo caliente para medir la conductividad térmica. Se preparan múltiples muestras de obleas con diferentes composiciones de aleación o condiciones de proceso, y se miden sus valores de conductividad eléctrica y térmica para analizar la relación entre ambas. Esta prueba se basa generalmente en la ley de Wiedemann-Franz, que establece que la conductividad térmica es proporcional a la conductividad eléctrica en ciertas condiciones.

#### Pasos de la prueba :

1. Prepare varios juegos de muestras de discos de aleación de tungsteno y obtenga muestras con diferentes conductividades eléctricas y térmicas ajustando la composición de la aleación (como la relación tungsteno-cobre, el contenido de níquel) o el proceso de fabricación (como la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperatura de sinterización).

2. La conductividad de cada grupo de muestras se midió utilizando el método de cuatro sondas y se registraron los datos de resistividad y conductividad para garantizar condiciones de prueba consistentes.
3. Se midió la conductividad térmica de cada grupo de muestras utilizando el método del alambre caliente, se registraron los datos de respuesta de temperatura y se calculó la conductividad térmica.
4. Organice los datos de conductividad eléctrica y conductividad térmica, dibuje la curva de relación entre ambos y analice la correlación.
5. Se utilizó un software de análisis estadístico (por ejemplo, análisis de regresión) para calcular el coeficiente de correlación entre la conductividad eléctrica y la conductividad térmica y para evaluar la fuerza de la correlación.
6. Combinado con el análisis microestructural (como la observación de la estructura del grano mediante microscopía electrónica de barrido), se exploran los mecanismos microscópicos de la conductividad eléctrica y térmica.
7. Repita la prueba en múltiples grupos de muestras para asegurar la confiabilidad de los datos y compararlos y verificarlos con el modelo teórico.
8. Analizar los resultados de las pruebas para identificar los factores clave que influyen en la correlación, como la composición de la aleación o la microestructura.

**Ventajas y limitaciones :** Las pruebas de correlación pueden revelar la relación inherente entre la conductividad eléctrica y térmica, lo que proporciona una base científica para optimizar el diseño de obleas y resulta adecuado para el desarrollo de materiales para aplicaciones electrónicas y de gestión térmica. Sin embargo, las pruebas requieren múltiples conjuntos de muestras, lo cual resulta costoso, y los resultados se ven afectados por la composición de la aleación, la microestructura y las condiciones de prueba, lo que requiere un análisis exhaustivo de múltiples factores. Además, la ley de Wiedemann-Franz puede presentar desviaciones en aleaciones de tungsteno de alta dureza, lo que requiere una corrección basada en datos experimentales.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la precisión de las pruebas, se puede aumentar el número de grupos de muestras para abarcar una gama más amplia de composiciones de aleación y condiciones de proceso; la estandarización de las condiciones de prueba puede garantizar datos comparables de conductividad eléctrica y térmica; y se puede realizar una investigación exhaustiva del mecanismo de correlación junto con el análisis microestructural. La correlación entre la conductividad eléctrica y térmica proporciona fundamento teórico para optimizar el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno, lo que promueve su aplicación en aplicaciones que requieren una conducción simultánea eficiente de corriente y calor, como dispositivos electrónicos y sistemas eléctricos.



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

**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

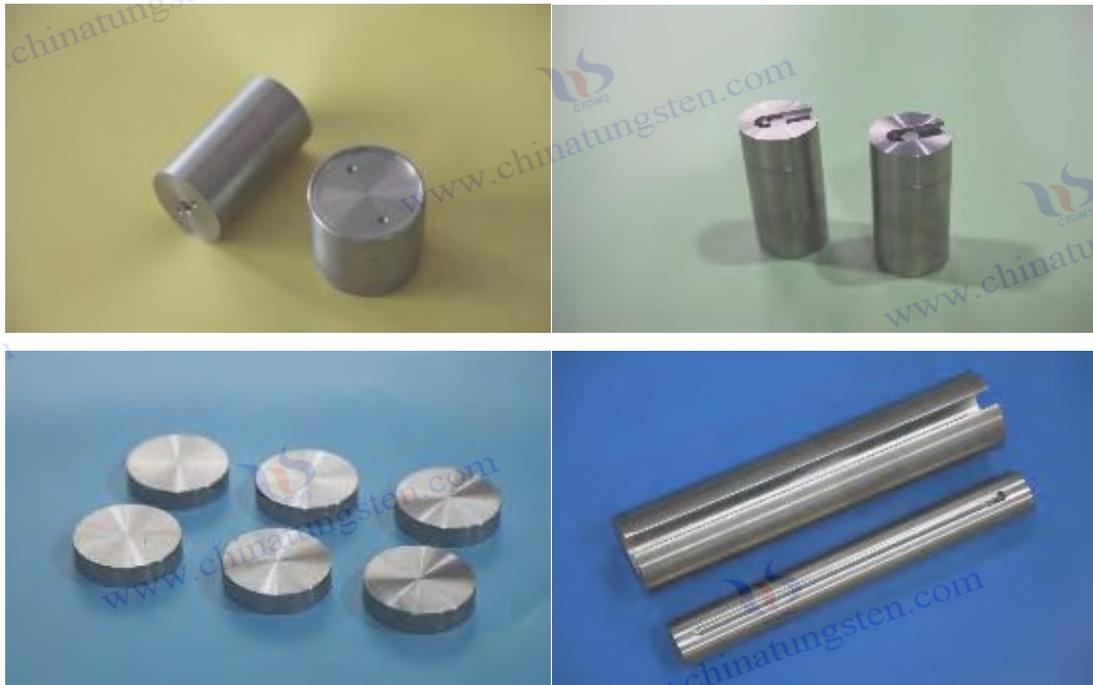
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 Proceso de producción de discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son un paso clave para garantizar su alta calidad y rendimiento, lo que implica múltiples etapas, como la selección de la materia prima, el pretratamiento, el conformado, la sinterización y el posprocesamiento. Las técnicas de producción científicas y precisas optimizan las propiedades físicas y mecánicas de los discos, cumpliendo con los estrictos requisitos de los sectores aeroespacial, médico, electrónico e industrial. Gracias a su alta densidad, resistencia, resistencia a altas temperaturas y propiedades de protección contra la radiación, los discos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en aplicaciones como contrapesos, componentes de protección, contactos eléctricos y componentes de gestión térmica. El proceso de producción requiere un estricto control de calidad y operaciones estandarizadas para garantizar un rendimiento constante y fiable del producto.

La selección y el pretratamiento de las materias primas son fundamentales para la producción de discos de aleación de tungsteno, lo que influye directamente en su rendimiento final. La calidad y la proporción de las materias primas determinan la densidad, la resistencia, la conductividad eléctrica y la conductividad térmica del disco, mientras que el pretratamiento garantiza la uniformidad y pureza de las materias primas, sentando las bases para el posterior conformado y sinterizado. El respeto al medio ambiente y la reciclabilidad de los discos de aleación de tungsteno exigen un enfoque en la eficiencia de los recursos y el control del impacto ambiental durante la producción.

### 5.1 Selección de materia prima y pretratamiento de discos de aleación de tungsteno

Las obleas de aleación de tungsteno son el punto de partida del proceso de producción y determinan directamente su microestructura y rendimiento. Las materias primas se componen principalmente de polvo de tungsteno de alta pureza y otros elementos de aleación (como níquel, hierro, cobre o plata). El cribado y el pretratamiento científicos garantizan que las materias primas cumplan con los requisitos de producción para obleas de alto rendimiento. El pretratamiento incluye el cribado, la limpieza y la mezcla del polvo, con el objetivo de mejorar la pureza, el tamaño de partícula y la uniformidad de la materia prima, proporcionando así una base de alta calidad para los procesos de pulvimetalurgia posteriores.

#### 5.1.1 Pureza y cribado del polvo de tungsteno

El polvo de tungsteno es la materia prima principal para las obleas de aleación de tungsteno. Su pureza y tamaño de partícula influyen directamente en la densidad, la resistencia y la uniformidad microestructural de la oblea. El polvo de tungsteno de alta pureza puede reducir el impacto negativo de las impurezas en el rendimiento, mientras que una distribución adecuada del tamaño de partícula ayuda a mejorar la fluidez del polvo y las propiedades de moldeo. La pureza y el cribado del polvo de tungsteno son pasos clave en el pretratamiento de la materia prima. Un estricto control de calidad garantiza que el polvo de tungsteno cumpla con los requisitos de producción para obleas de alto rendimiento.

**Principio del proceso :** La pureza y el cribado del polvo de tungsteno están diseñados para eliminar impurezas (como óxidos, carbono o azufre) y controlar la distribución del tamaño de partícula para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cumplir con los requisitos de los procesos de pulvimetalurgia. El polvo de tungsteno de alta pureza (normalmente  $\geq 99,9\%$ ) reduce los defectos microscópicos y mejora la densidad de la oblea y sus propiedades mecánicas. El cribado utiliza una criba vibratoria o un clasificador de flujo de aire para eliminar partículas de tamaño excesivo e insuficiente, garantizando una distribución uniforme del tamaño de partícula (normalmente entre 1 y 10  $\mu\text{m}$ ), optimizando así la fluidez del polvo y las propiedades de compactación.

**Pasos del proceso :** El control de la selección y pureza del polvo de tungsteno de alta pureza comienza con la selección de materias primas que cumplen con los estándares ASTM B777 (pureza  $\geq 99,9\%$ ). Los niveles de impurezas (p. ej., oxígeno  $\leq 0,05\%$ ) se confirman mediante informes de análisis químicos proporcionados por el proveedor. Luego, el polvo de tungsteno se coloca en un sistema de limpieza ultrasónica y se limpia con agua desionizada o etanol para eliminar los óxidos de la superficie y las impurezas orgánicas. Después de la limpieza, se seca al vacío o en una atmósfera de gas inerte. A continuación, el polvo se tamiza utilizando una criba vibratoria de alta precisión o un clasificador de aire para controlar el tamaño de partícula dentro del rango de 1-5  $\mu\text{m}$  o 5-10  $\mu\text{m}$ , eliminando partículas de gran tamaño (que afectan la uniformidad) o partículas finas (que tienden a aglomerarse). Luego, la distribución del tamaño de partícula se mide utilizando un analizador de tamaño de partícula láser, y se registran el tamaño de partícula medio (D50) y el rango de distribución para garantizar el cumplimiento de los requisitos del proceso. Las pruebas de pureza se realizan mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) o espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) para confirmar que los niveles de impurezas se encuentren por debajo de los límites estándar. El polvo de tungsteno tamizado se almacena en contenedores sellados en un ambiente seco y libre de polvo para evitar la oxidación y la contaminación. Cada lote de polvo de tungsteno se muestrea y analiza para garantizar la pureza y la consistencia del tamaño de partícula, y los datos se registran para su trazabilidad.

**Ventajas y limitaciones :** El polvo de tungsteno de alta pureza y la distribución uniforme del tamaño de partícula mejoran significativamente la densidad de la oblea y la consistencia del rendimiento, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta precisión. Sin embargo, el polvo de tungsteno de alta pureza es costoso y el proceso de cribado requiere equipos sofisticados, lo que incrementa los costos de producción. Además, las partículas finas pueden aglomerarse durante el cribado o el almacenamiento, lo que requiere un estricto control ambiental.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la eficiencia del proceso, se pueden utilizar equipos de cribado automatizados para reducir los errores manuales; se puede emplear un gas inerte de alta pureza (como el argón) para proteger el polvo de tungsteno de la oxidación; y se puede combinar un proceso de cribado multietapa para optimizar la distribución del tamaño de partícula. La pureza del polvo de tungsteno y los procesos de cribado proporcionan una base sólida para la producción de obleas de aleación de tungsteno de alto rendimiento, especialmente en aplicaciones de protección contra la radiación y contrapesos.

### 5.1.2 Relación de composición del material y mezcla

La proporción y la mezcla de la composición del material son pasos clave en la producción de discos de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aleación de tungsteno. Mediante un control preciso de la proporción y la uniformidad del polvo de tungsteno y otros elementos de aleación, se optimizan las propiedades mecánicas, la conductividad eléctrica y la conductividad térmica del disco. Una proporción adecuada equilibra la resistencia, la tenacidad y otras propiedades, mientras que una mezcla uniforme garantiza una microestructura uniforme y minimiza las variaciones de rendimiento.

**Principio del proceso** : La proporción de la composición del material se determina según los requisitos de la aplicación de la oblea. Por ejemplo, los contrapesos de alta densidad requieren un alto contenido de tungsteno (90-95 % en peso), mientras que las aplicaciones de alta conductividad requieren un mayor contenido de cobre o plata. El proceso de mezclado utiliza un mezclador mecánico o un molino de bolas para dispersar uniformemente el polvo de tungsteno con los demás polvos metálicos y formar una mezcla uniforme, proporcionando materias primas de alta calidad para el prensado y la sinterización posteriores. Esta mezcla uniforme reduce la microsegregación y mejora la estabilidad del rendimiento de la oblea.

**Pasos del proceso** : Relación y mezcla de componentes del material: Primero, diseñe la relación de aleación según los requisitos de la aplicación. Por ejemplo, una aleación de tungsteno-níquel-hierro (W-Ni-Fe) para contrapesos de alta densidad tiene una relación de 90:7:3, mientras que una aleación de tungsteno-cobre (W-Cu) para aplicaciones conductoras tiene una relación de 70:30. Utilice una balanza electrónica de alta precisión (precisión  $\geq 0,001$  g) para pesar los polvos de tungsteno, níquel, hierro o cobre para garantizar relaciones de mezcla precisas. Coloque los polvos pesados en un mezclador de tipo V, un molino de bolas planetario o un mezclador tridimensional. Agregue una cantidad adecuada de aditivo (como etanol o alcohol polivinílico) para mejorar la fluidez. Establezca el tiempo de mezcla en 2-8 horas a una velocidad de 100-300 rpm. Mezcle bajo una atmósfera inerte (como nitrógeno o argón) para evitar la oxidación. Tras la mezcla, se toman muestras del polvo para analizar la distribución elemental mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) o espectroscopia de energía dispersiva (EDS) para confirmar la uniformidad (desviación de la distribución de elementos  $\leq \pm 1\%$ ). Selle y almacene inmediatamente el polvo mezclado en un lugar seco para evitar la oxidación y la contaminación. Cada lote de polvo mezclado se muestrea y analiza para analizar la composición química y la distribución del tamaño de partícula, garantizando así que cumpla con los requisitos de diseño y proceso.

**Ventajas y limitaciones** : Las proporciones precisas de los ingredientes y la mezcla uniforme optimizan el rendimiento de las obleas, satisfacen diversos requisitos de aplicación y son ideales para la producción de alta precisión. Sin embargo, el proceso de mezcla puede generar irregularidades debido al rendimiento del equipo o a un funcionamiento inadecuado, lo que afecta la calidad de la oblea. Además, las aleaciones de alta conductividad (como W-Cu) requieren una alta proporción de polvo de cobre, lo que aumenta el costo y puede reducir la densidad.

**Medidas de optimización** : Para mejorar la uniformidad de la mezcla, utilice un mezclador tridimensional de alta eficiencia o prolongue el tiempo de mezcla; utilice coadyuvantes de molienda para reducir la aglomeración del polvo; y garantice una distribución uniforme de los elementos mediante muestreo y análisis multipunto. La proporción de la composición del material y el proceso de mezcla garantizan la producción de alto rendimiento de obleas de aleación de tungsteno, lo que promueve su

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

amplia aplicación en los sectores de la electrónica, la medicina y la aeroespacial.

## 5.2 Proceso de formación de discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son un paso fundamental en el proceso de producción. El material en polvo preprocesado se transforma en discos circulares de alta densidad y excelente rendimiento mediante prensado y sinterización. El proceso de conformado consta de dos etapas principales: prensado del polvo y sinterización, responsables de la conformación de la forma inicial y la densificación del material, respectivamente. El conformado preciso garantiza la precisión dimensional, la uniformidad de la densidad y las propiedades mecánicas de los discos, necesarias para aplicaciones de alto rendimiento.

### 5.2.1 Prensado de polvo

El prensado de polvo es el primer paso en la formación de discos de aleación de tungsteno. Al prensar un polvo de aleación de tungsteno mezclado uniformemente en una matriz para formar una pieza bruta de disco con una forma y densidad preliminares, se proporciona la base para la sinterización posterior. El proceso de prensado de polvo se utiliza ampliamente en la producción de discos de aleación de tungsteno debido a su alta eficiencia y precisión, garantizando la consistencia dimensional y la estabilidad estructural de la pieza bruta de disco.

**Principio del proceso :** El prensado de polvo utiliza presión hidráulica o mecánica para comprimir polvo de aleación de tungsteno (como tungsteno-níquel-hierro o tungsteno-cobre) y formar una palanquilla con una resistencia y forma específicas. Durante el proceso de prensado, las partículas de polvo experimentan deformación plástica y reorganización a alta presión, formando una estructura densa. El proceso de prensado requiere controlar la presión, el diseño de la matriz y la fluidez del polvo para garantizar que la densidad y la forma de la palanquilla cumplan con los requisitos.

**Pasos del proceso :** El proceso de prensado de polvo comienza con la carga de polvo de aleación de tungsteno pretratado (cribado para garantizar su pureza y mezclado uniformemente) en un molde circular de alta precisión. Se garantiza que la superficie del molde sea lisa y libre de contaminación para evitar defectos. El polvo se pesa con una balanza electrónica de alta precisión para asegurar una carga constante, asegurando así una densidad uniforme en la pieza. A continuación, el molde se coloca en una prensa hidráulica o mecánica, donde se aplica la presión adecuada para formar una pieza circular con una resistencia inicial. La presión y el desplazamiento se controlan durante el proceso de prensado para asegurar un espesor constante de la pieza. Tras el prensado, la pieza se retira cuidadosamente y se inspecciona la calidad de la superficie y las dimensiones, utilizando un microscopio óptico o un perfilómetro para detectar grietas o deformaciones. La pieza se almacena en un entorno seco y sin polvo a la espera de su sinterización. Todo el proceso debe realizarse en una sala limpia para evitar la contaminación del polvo, y se registran los parámetros de prensado (como la presión y el tiempo) de cada lote de piezas para garantizar la trazabilidad de la calidad.

**Ventajas y limitaciones :** El proceso de compactación de polvo es eficiente, económico y permite

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

producir rápidamente discos en bruto de alta precisión, lo que lo hace adecuado para la producción a gran escala. Sin embargo, la presión desigual o la fluidez insuficiente del polvo durante el proceso de compactación pueden provocar desviaciones de densidad, lo que afecta la calidad del disco en bruto. Además, la alta dureza del polvo de tungsteno puede causar desgaste en el molde, lo que requiere el uso de materiales de molde de alta resistencia.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la calidad del prensado, se pueden utilizar técnicas de prensado isostático (como el prensado isostático en frío) para garantizar una densidad uniforme; se puede optimizar el diseño del molde para reducir la resistencia al desmoldeo; y se pueden utilizar coadyuvantes de prensado (como el alcohol polivinílico) para mejorar la fluidez del polvo. El prensado de polvo proporciona una base sólida para el moldeo de alta precisión de discos de aleación de tungsteno, especialmente en la producción de contrapesos y componentes de protección.

### 5.2.2 Proceso de sinterización

El proceso de sinterización es un paso clave en la producción de discos de aleación de tungsteno. Un tratamiento a alta temperatura une las partículas de polvo en la pieza prensada, formando un disco de alta densidad y alta resistencia. El proceso de sinterización elimina la porosidad de la pieza, mejorando la densidad y las propiedades mecánicas del material, garantizando así el máximo rendimiento del disco. El proceso de sinterización se utiliza ampliamente en la producción de discos de aleación de tungsteno debido a su alta eficiencia y capacidad para optimizar el rendimiento.

**Principio del proceso :** El proceso de sinterización calienta y compacta la pieza bruta a altas temperaturas (normalmente entre 1300 y 1600 °C), lo que permite que las partículas de polvo formen una estructura densa mediante difusión, unión superficial y crecimiento de grano. Los discos de aleación de tungsteno se sinterizan habitualmente mediante sinterización en fase líquida. Los metales de bajo punto de fusión añadidos (como el níquel y el cobre) se funden a la temperatura de sinterización, lo que favorece la unión de las partículas y aumenta la densidad y la resistencia. El proceso de sinterización debe realizarse en atmósfera inerte o al vacío para evitar la oxidación.

**Pasos del proceso :** El proceso de sinterización comienza colocando las piezas en bruto del disco prensado en un horno de sinterización de alta temperatura (como un horno de vacío o un horno con protección de hidrógeno). Se utilizan crisoles de cerámica o grafito de alta pureza para sujetar las piezas y garantizar condiciones libres de contaminación. La temperatura de sinterización se establece con una velocidad de rampa controlada de 5-10 °C/min para evitar el estrés térmico. Las piezas se mantienen a la temperatura de sinterización durante 2-6 horas para promover la sinterización en fase líquida y la unión de partículas. Se introduce un gas inerte (como argón) o hidrógeno para prevenir la oxidación. Posteriormente, las piezas se enfrían a temperatura ambiente a una velocidad controlada para evitar el agrietamiento causado por el enfriamiento rápido. Después de la sinterización, se mide la densidad de los discos utilizando una balanza electrónica de alta precisión y se realizan pruebas no destructivas con rayos X para inspeccionar la porosidad interna o los defectos. Si es necesario, las superficies del disco se pulen para eliminar cualquier capa de óxido o defectos superficiales formados durante la sinterización.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los parámetros de sinterización (como la temperatura, el tiempo de retención y la atmósfera) se registran para cada lote de discos sinterizados para garantizar la trazabilidad de la calidad.

**Ventajas y limitaciones :** El proceso de sinterización puede mejorar significativamente la densidad y las propiedades mecánicas de las obleas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alto rendimiento. Sin embargo, la sinterización a alta temperatura consume mucha energía y requiere equipos rigurosos. Además, un control inadecuado de la temperatura puede generar granos sobredimensionados o porosidad residual, lo que compromete el rendimiento. Asimismo, la sinterización en fase líquida puede causar desviaciones en la composición debido a la volatilización de metales de bajo punto de fusión, lo que requiere un control preciso de las condiciones de sinterización.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la calidad de la sinterización, se puede utilizar el prensado isostático en caliente (HIP) para eliminar aún más la porosidad; se puede optimizar el perfil de temperatura de sinterización para reducir la tensión térmica; y se puede utilizar gas de protección de alta pureza para garantizar condiciones libres de oxidación. El proceso de sinterización proporciona una garantía clave para la producción de obleas de aleación de tungsteno de alta densidad y alto rendimiento, lo que impulsa su amplia aplicación en los sectores aeroespacial, médico y electrónico.

### 5.3 Tecnología de procesamiento de discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son un paso crucial en el proceso de producción. Las piezas sinterizadas se procesan mediante corte, rectificado y tratamiento superficial para crear discos de alta precisión y excelente calidad superficial. Este proceso garantiza la precisión dimensional, el acabado superficial y las propiedades mecánicas de los discos, cumpliendo con los requisitos de componentes de alto rendimiento de las industrias aeroespacial, médica y electrónica. La alta dureza y densidad de la aleación de tungsteno dificulta su procesamiento, lo que requiere equipos de alta precisión y un control riguroso de los parámetros del proceso para evitar defectos y desperdicio de material. A continuación, se detallan los pasos y las aplicaciones del procesamiento de discos de aleación de tungsteno, centrándose en el corte, el rectificado y el tratamiento superficial.

#### 5.3.1 Corte y rectificado

El corte y el rectificado son los pasos fundamentales en el procesamiento de discos de aleación de tungsteno. El mecanizado elimina el exceso de material y moldea el disco a su tamaño y forma precisos, garantizando así su cumplimiento con los requisitos de aplicaciones de alta precisión. La alta dureza y densidad de la aleación de tungsteno dificulta su corte y rectificado, lo que requiere herramientas de corte de alto rendimiento y equipos de precisión para lograr un procesamiento de alta calidad.

**Principio del proceso :** El corte y el rectificado utilizan herramientas rotatorias de alta velocidad o abrasivos para eliminar material de la pieza bruta de aleación de tungsteno sinterizada y lograr el tamaño y la calidad superficial deseados. El corte se utiliza principalmente para el desbaste, eliminando los excesos más grandes y dando forma inicial al disco; el rectificado se utiliza para el acabado, mejorando aún más la precisión dimensional y el acabado superficial. La alta dureza de la aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

requiere el uso de herramientas y abrasivos de diamante o nitruro de boro cúbico (CBN) para garantizar un procesamiento eficiente y de alta calidad.

**Pasos del proceso :** El proceso de corte y rectificado de discos de aleación de tungsteno comienza con la preparación de la pieza bruta sinterizada, asegurándose de que la superficie esté libre de defectos visibles. A continuación, se utiliza una limpieza ultrasónica para eliminar el aceite y las impurezas. La pieza bruta se fija en una fijación en un torno CNC o centro de mecanizado mediante un dispositivo de sujeción de alta precisión para garantizar la estabilidad y evitar vibraciones durante el mecanizado. Durante la fase de corte, se seleccionan herramientas de diamante o CBN y se establecen los parámetros de corte adecuados. El exceso de material se elimina mediante torneado o fresado para obtener la forma inicial del disco. Tras el corte, se comprueba la precisión dimensional con un telémetro láser o un micrómetro para garantizar el cumplimiento de los requisitos de diseño. A continuación, comienza la fase de rectificado, utilizando una rectificadora de precisión y una muela de diamante a baja velocidad de avance y un pulverizador de refrigerante para afinar la superficie y los bordes del disco, logrando un acabado superficial y una precisión dimensional óptimos. Durante el mecanizado, es necesario inspeccionar y sustituir periódicamente el desgaste de las herramientas y las muelas para evitar defectos. Tras el mecanizado, el disco se limpia ultrasónicamente para eliminar el fluido de corte y las virutas metálicas, y se utiliza un perfilómetro para inspeccionar la calidad de la superficie y la consistencia dimensional. Los parámetros de corte y rectificado (como la velocidad, la velocidad de avance y el tiempo de procesamiento) deben registrarse para cada lote de obleas procesadas a fin de garantizar la trazabilidad de la calidad.

**Ventajas y limitaciones :** Los procesos de corte y rectificado permiten alcanzar dimensiones y calidad superficial de alta precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos de las obleas en los sectores aeroespacial y electrónico. Sin embargo, la alta dureza de las aleaciones de tungsteno provoca un rápido desgaste de las herramientas, lo que resulta en elevados costes de procesamiento. Además, pueden formarse microfisuras durante el corte, lo que requiere un control estricto de los parámetros de procesamiento. Asimismo, el uso de refrigerante durante el rectificado puede incrementar los costes de eliminación de residuos.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la eficiencia y la calidad del procesamiento, se pueden utilizar centros de mecanizado CNC y utillajes automatizados para reducir los errores manuales; se pueden utilizar herramientas de corte de diamante y abrasivos de alto rendimiento para prolongar la vida útil de las herramientas; y se pueden utilizar formulaciones optimizadas de refrigerantes para reducir el impacto ambiental y mejorar la estabilidad del procesamiento. Los procesos de corte y rectificado proporcionan una base sólida para el mecanizado de alta precisión de obleas de aleación de tungsteno, especialmente en aplicaciones exigentes como dispositivos médicos y electrónica.

### 5.3.2 Tratamiento de superficies

El tratamiento superficial es un paso crucial en el procesamiento de obleas de aleación de tungsteno. Mediante procesos como el pulido, el recubrimiento o el tratamiento químico, se mejoran el acabado

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

superficial, la resistencia a la corrosión y el rendimiento funcional de la oblea para satisfacer las necesidades de aplicaciones específicas. El tratamiento superficial no solo mejora la apariencia y el rendimiento de la oblea, sino que también aumenta su durabilidad en entornos complejos.

**Principio del proceso :** El tratamiento superficial modifica la superficie de los discos de aleación de tungsteno mediante métodos mecánicos, químicos o físicos para eliminar defectos de mecanizado, mejorar el acabado o añadir recubrimientos funcionales que mejoren la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la conductividad eléctrica. Debido a la alta dureza y estabilidad química de la aleación de tungsteno, el tratamiento superficial requiere equipos y procesos especializados para garantizar la eficacia del tratamiento y la estabilidad del rendimiento del material.

**Pasos del proceso :** El tratamiento superficial de las obleas de aleación de tungsteno comienza con la inspección de las obleas tras el corte y el rectificado para garantizar que la superficie esté libre de grietas, arañazos o tensiones residuales. A continuación, se utiliza una limpieza ultrasónica para eliminar el aceite y las partículas de la superficie. Durante la fase de pulido, se utiliza una pulidora de precisión con pasta de pulido de diamante a baja velocidad y presión moderada para pulir la superficie de la oblea hasta obtener un acabado de espejo, mejorando tanto la suavidad como la apariencia. Tras el pulido, se inspecciona la calidad de la superficie con un perfilómetro y un microscopio para garantizar la ausencia de defectos microscópicos. Para obleas que requieren mayor resistencia a la corrosión o conductividad, se pueden utilizar procesos de deposición física de vapor (PVD) o recubrimientos de níquel, oro o plata para mejorar la conductividad y la resistencia a la corrosión. El recubrimiento se realiza en un entorno de vacío, con la temperatura y la velocidad de deposición controladas para garantizar un recubrimiento uniforme y una fuerte adhesión. Tras el tratamiento superficial, se utiliza un análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) para analizar la composición y el espesor del recubrimiento y verificar el cumplimiento de los requisitos de diseño. Si es necesario, se realiza una limpieza química para eliminar los residuos químicos y las obleas se enjuagan con agua desionizada para garantizar una superficie limpia. Los parámetros de pulido y recubrimiento (como el tiempo de pulido, el espesor del recubrimiento y las condiciones de deposición) se registran para cada lote de obleas con tratamiento superficial para garantizar la trazabilidad de la calidad.

**Ventajas y limitaciones :** El tratamiento de superficies puede mejorar significativamente la calidad superficial y el rendimiento funcional de las obleas, cumpliendo así con los estrictos requisitos de los sectores electrónico, médico y aeroespacial. Sin embargo, los procesos de pulido y recubrimiento requieren equipos de alta precisión, lo que incrementa los costos de producción. Además, las técnicas de recubrimiento inadecuadas pueden provocar una adhesión deficiente, lo que requiere un control estricto de los parámetros del proceso. Asimismo, los tratamientos químicos pueden generar aguas residuales, que deben gestionarse adecuadamente para minimizar el impacto ambiental.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la eficiencia y la calidad del tratamiento de superficies, se pueden utilizar equipos de pulido automatizados y sistemas de monitorización en línea para reducir los errores manuales; se pueden optimizar los parámetros del proceso de recubrimiento para garantizar la uniformidad y la adhesión del recubrimiento; y se pueden utilizar agentes de limpieza y sistemas de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tratamiento de líquidos residuales respetuosos con el medio ambiente para reducir el impacto ambiental. Los procesos de tratamiento de superficies constituyen una garantía clave para la aplicación de alto rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno, promoviendo su uso generalizado en entornos complejos y de alta precisión.

#### 5.4 Control de calidad e inspección de discos de aleación de tungsteno

tungsteno son componentes esenciales del proceso de producción, lo que garantiza que cumplan con altos estándares de densidad, resistencia, propiedades superficiales y protección contra la radiación. El control de calidad utiliza la monitorización en línea y las inspecciones puntuales de los productos terminados para rastrear parámetros clave durante el proceso de producción en tiempo real, identificando y corrigiendo rápidamente las desviaciones. Las pruebas utilizan métodos sistemáticos para verificar que el rendimiento de las obleas cumpla con los requisitos de la aplicación. Estos procesos mejoran la eficiencia de la producción, reducen la tasa de productos defectuosos y brindan un soporte confiable para aplicaciones en los sectores aeroespacial, médico y electrónico. A continuación, se detallan los procesos y aplicaciones del control de calidad y las pruebas de obleas de aleación de tungsteno, centrándose en la monitorización en línea del proceso de moldeo y las inspecciones puntuales de todas las propiedades del producto terminado.

##### 5.4.1 Monitoreo en línea del proceso de moldeo

La monitorización en línea del proceso de conformado es un método de control de calidad en tiempo real utilizado en la producción de discos de aleación de tungsteno. Mediante la monitorización de parámetros clave durante los procesos de compactación y sinterización del polvo, se garantiza la precisión dimensional, la densidad y la uniformidad estructural de los discos en bruto y sinterizados. Gracias a su alta eficiencia y rendimiento en tiempo real, la monitorización en línea permite detectar rápidamente desviaciones de producción y reducir los productos defectuosos. Se utiliza ampliamente en la producción de alta precisión de discos de aleación de tungsteno.

**Principio del proceso :** La monitorización en línea del proceso de conformado utiliza sensores, sistemas de control y equipos de análisis de datos para recopilar parámetros en tiempo real durante el proceso de prensado y sinterización (como presión, temperatura y distribución de densidad). Estos parámetros se comparan con valores de referencia para determinar la estabilidad del proceso. El sistema de monitorización puede detectar desviaciones de densidad en la pieza prensada, fluctuaciones de temperatura durante la sinterización o la formación de porosidad, garantizando así que la calidad de la oblea cumpla con los requisitos.

**Pasos del proceso :** La monitorización en línea del proceso de moldeo comienza en la etapa de prensado del polvo. Sensores de presión y desplazamiento de alta precisión monitorizan la presión de la prensadora y el desplazamiento de la matriz, registrando la curva fuerza-desplazamiento en tiempo real durante el proceso para garantizar un espesor constante de la palanquilla y una producción sin grietas. Tras el prensado, un telémetro láser o un detector ultrasónico escanea rápidamente la superficie y las

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dimensiones de la palanquilla para detectar deformaciones o defectos superficiales. Durante la etapa de sinterización, sensores de alta temperatura y termómetros infrarrojos monitorizan la temperatura en el horno de sinterización en tiempo real para garantizar velocidades de calentamiento y tiempos de mantenimiento estables, evitando el estrés térmico y el crecimiento anormal del grano. Durante la sinterización, la medición de densidad por rayos X en línea o los detectores ultrasónicos de defectos monitorizan la distribución de la densidad de la oblea (densidad objetivo  $\geq 95\%$  de la densidad teórica) para detectar porosidad interna o segregación. Los datos de monitorización se analizan en tiempo real mediante un sistema de control informático y se comparan con los parámetros estándar. Si se detectan desviaciones (como una presión que supere los límites o fluctuaciones de temperatura), los parámetros del equipo se ajustan automáticamente o se emite una alarma. Todos los datos de seguimiento se registran en el sistema de gestión de calidad para la optimización del proceso y la trazabilidad de la calidad.

**Ventajas y limitaciones** : El monitoreo en línea puede detectar desviaciones de producción en tiempo real, mejorando la eficiencia de producción y las tasas de calificación de productos, lo que lo hace adecuado para la producción de alta precisión y a gran escala. Sin embargo, los sistemas de monitoreo requieren sensores de alta precisión y un software complejo de análisis de datos, lo que implica una alta inversión en equipos y costos de mantenimiento. Además, los resultados del monitoreo pueden verse afectados por interferencias ambientales, lo que requiere un control estricto del entorno de producción.

**Medidas de optimización** : Para mejorar la precisión del monitoreo, se puede utilizar un sistema de sensores multipunto para cubrir de manera integral los parámetros clave de los procesos de prensado y sinterización; utilizar algoritmos de inteligencia artificial para analizar datos de monitoreo y predecir posibles defectos; y calibrar regularmente los sensores para garantizar la precisión de los datos.

#### 5.4.2 Inspección aleatoria de todos los elementos de rendimiento de los productos terminados

Las inspecciones puntuales de rendimiento completo del producto terminado constituyen un paso de verificación de calidad posterior a la producción para las obleas de aleación de tungsteno. Mediante pruebas sistemáticas de la densidad, las dimensiones, las propiedades mecánicas, la calidad superficial y el rendimiento de protección contra la radiación de las obleas terminadas, garantizamos que cumplan con los requisitos de diseño y aplicación. Gracias a su exhaustividad y representatividad, las inspecciones puntuales verifican la consistencia de los lotes de producción y sirven de base para la certificación de la calidad del producto.

**Principio del proceso** : Se realizan inspecciones completas del rendimiento de los productos terminados mediante pruebas de muestreo aleatorio para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las obleas, incluyendo indicadores clave como la densidad, la dureza, la resistencia a la tracción, la rugosidad superficial y la planitud. Estas inspecciones utilizan métodos de prueba estandarizados (como las normas ASTM) e instrumentación de alta precisión para verificar que las obleas cumplan con las especificaciones técnicas y analizar la consistencia del rendimiento entre lotes.

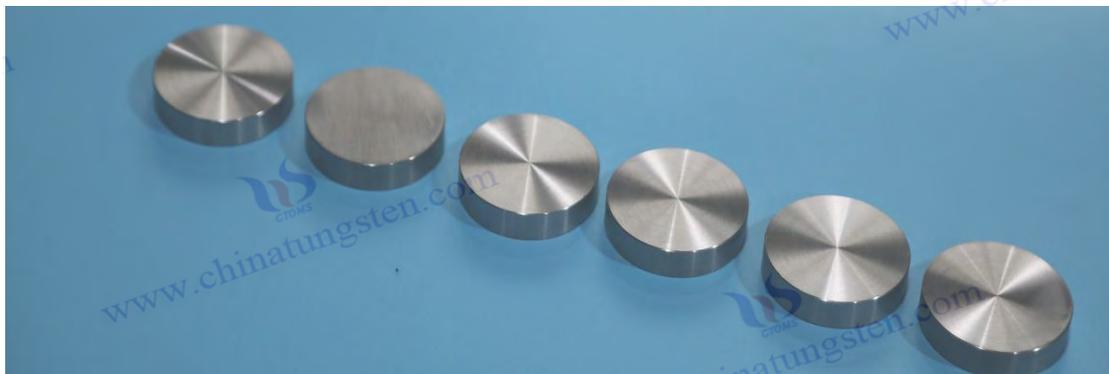
**Pasos del proceso** : La inspección completa del rendimiento de los productos terminados comienza con

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un muestreo aleatorio. Se seleccionan aleatoriamente muestras (normalmente entre el 5 y el 10 %) de cada lote de obleas según las normas de muestreo estadístico (como la ISO 2859) para garantizar su representatividad. Primero se mide la masa de las muestras con una balanza electrónica de alta precisión, y las dimensiones se miden con un telémetro láser o un micrómetro para calcular la densidad y garantizar que cumplan los valores objetivo. A continuación, se comprueba la dureza con un durómetro Vickers y se registra el valor de dureza (HV) para verificar el cumplimiento de las normas. Las pruebas mecánicas incluyen la resistencia a la tracción con una máquina universal de ensayos (cumple con la norma ASTM E8) y la resistencia a la flexión mediante una prueba de flexión de tres puntos (cumple con la norma ASTM E290) para evaluar la resistencia y la tenacidad de la oblea. La calidad de la superficie se mide con un rugosímetro y la planitud con un medidor de planitud para garantizar que cumpla con los requisitos de precisión de montaje. El rendimiento de protección contra la radiación se evalúa mediante pruebas de atenuación de rayos gamma o rayos X para medir la capacidad de absorción de radiación de la oblea. Todos los datos de las pruebas se registran en un informe de calidad y se comparan con las especificaciones técnicas para determinar la tasa de aceptación del lote. Los lotes que no superan las inspecciones aleatorias requieren una inspección completa o una repetición del trabajo, y se analiza la causa para optimizar el proceso.

**Ventajas y limitaciones :** El muestreo de rendimiento a escala real de productos terminados evalúa exhaustivamente el rendimiento de las obleas, garantizando que cumplan con los diversos requisitos de aplicación y sean aptas para la certificación de calidad y la aceptación del cliente. Sin embargo, la cobertura del muestreo es limitada, lo que puede pasar por alto defectos individuales, y los ciclos de prueba son largos, lo que incrementa los costos de producción. Además, los equipos de prueba de alta precisión requieren calibración periódica, lo que impone altas exigencias a la eficiencia operativa.

**Medidas de optimización :** Para mejorar la eficiencia del muestreo, se pueden utilizar equipos de prueba automatizados para acortar los ciclos de prueba; se pueden aumentar las tasas de muestreo para abarcar más parámetros de rendimiento; y se pueden combinar técnicas de ensayos no destructivos (como la tomografía computarizada de rayos X) para realizar análisis exhaustivos de las estructuras internas. El muestreo de rendimiento completo de productos terminados proporciona un respaldo sistemático para la verificación de calidad de obleas de aleación de tungsteno, lo que promueve su aplicación fiable en los sectores médico, aeroespacial y electrónico.



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Capítulo 6 Campos de aplicación de las obleas de aleación de tungsteno

Los discos de aleación de tungsteno, con su alta densidad, excelentes propiedades mecánicas, resistencia a altas temperaturas y capacidad superior de protección contra la radiación, han demostrado ser ampliamente utilizados en diversos campos de alta tecnología. Sus propiedades físicas y químicas únicas los convierten en un material indispensable en la investigación aeroespacial, médica, electrónica, industrial y científica. Gracias a sus procesos de producción de precisión, los discos de aleación de tungsteno pueden satisfacer requisitos de aplicación exigentes, como contrapesos en entornos de alta carga, protección en entornos de alta radiación y estabilidad estructural a altas temperaturas. Su no toxicidad y reciclabilidad los hacen aún más atractivos en áreas ambientalmente sensibles, cumpliendo con los requisitos de la industria moderna en materia de desarrollo sostenible y seguridad. En campos como dispositivos médicos, componentes aeroespaciales, conectores electrónicos y herramientas industriales, los discos de aleación de tungsteno, con su diverso rendimiento, proporcionan un soporte fundamental para una alta precisión y fiabilidad.

### 6.1 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en equipos médicos

tungsteno en dispositivos médicos se deben principalmente a su alta densidad y elevado número atómico, lo que los convierte en un material ideal para la protección radiológica. Su resistencia mecánica y a la corrosión también los hacen adecuados para entornos médicos complejos. En el campo médico, los discos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en equipos de radioterapia, instrumentos de diagnóstico y dispositivos de protección, proporcionando una protección radiológica segura y eficaz a pacientes y personal médico. Su alta densidad absorbe y bloquea eficazmente la radiación de alta energía, como los rayos X y gamma, a la vez que mantiene un tamaño compacto, lo que los hace adecuados para los requisitos de diseño de equipos médicos de precisión. Los discos de aleación de tungsteno presentan una excelente procesabilidad y pueden fabricarse en diversas formas y tamaños mediante pulvimetalurgia y procesos de mecanizado de precisión para satisfacer los requisitos de diferentes dispositivos médicos. Además, su no toxicidad y reciclabilidad los hacen seguros y respetuosos con el medio ambiente en aplicaciones médicas, especialmente en aplicaciones con estrictos requisitos de biocompatibilidad e impacto ambiental. El uso de discos de aleación de tungsteno en dispositivos médicos no solo mejora el rendimiento del dispositivo, sino que también promueve avances en las tecnologías de radioterapia y diagnóstico, lo que supone un importante apoyo para el desarrollo de la medicina moderna.

En equipos de radioterapia, los discos de aleación de tungsteno se utilizan principalmente para proteger la radiación de alta energía, garantizando así la precisión y seguridad del tratamiento. Por ejemplo, en aceleradores lineales, bisturios de rayos gamma y dispositivos de terapia de protones, los discos de aleación de tungsteno se utilizan como componentes de protección, reduciendo eficazmente las fugas de radiación y protegiendo al personal y los equipos circundantes. Su resistencia a altas temperaturas y estabilidad mecánica les permiten mantener su rendimiento en entornos de radiación de alta intensidad y estrés complejo, garantizando así la fiabilidad a largo plazo del equipo. Además, el acabado superficial y la precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno facilitan su integración con otros componentes, cumpliendo así con los requisitos de ensamblaje de alta precisión de los equipos médicos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En equipos de diagnóstico como escáneres CT y máquinas de rayos X, los discos de aleación de tungsteno se utilizan en colimadores y cubiertas de protección para optimizar el enfoque y la protección de los haces de radiación. Estas propiedades hacen que los discos de aleación de tungsteno sean irremplazables en el campo de los equipos médicos, ofreciendo una garantía clave para mejorar la eficacia del tratamiento y la seguridad del paciente.

### 6.1.1 Discos de protección contra la radiación para equipos de radioterapia

Los discos de protección contra la radiación en equipos de radioterapia son una aplicación médica clave de los discos de aleación de tungsteno. Están diseñados para bloquear y absorber la radiación de alta energía, protegiendo a los pacientes, al personal médico y a los equipos de la exposición innecesaria a la radiación. Gracias a su alta densidad y alto número atómico, los discos de aleación de tungsteno absorben eficazmente los rayos gamma y X, reduciendo la penetración de la radiación. Su tamaño compacto también los hace ideales para su uso en equipos de radioterapia con espacio limitado. Su resistencia mecánica y a la corrosión garantizan la estabilidad estructural en entornos de alta radiación y alta tensión, prolongando así la vida útil del equipo. Los discos de aleación de tungsteno ofrecen una excelente procesabilidad, lo que permite su fabricación en componentes de protección con formas complejas, cumpliendo con los requisitos de precisión y fiabilidad de los equipos de radioterapia. Además, su no toxicidad garantiza la seguridad en contacto con el cuerpo humano y cumple con los estrictos estándares de biocompatibilidad de los dispositivos médicos. En equipos de radioterapia, los discos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en el diseño de protección de dispositivos como aceleradores lineales, bisturís gamma y dispositivos de terapia de protones. Al optimizar la trayectoria del haz de radiación y reducir la radiación dispersa, mejoran la precisión y la seguridad del tratamiento.

tungsteno en equipos de radioterapia también reflejan un enfoque en la protección ambiental y la sostenibilidad. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental durante la producción y la eliminación, mientras que su alto rendimiento reduce la frecuencia de mantenimiento y reemplazo del equipo, lo que reduce el consumo de recursos. En el diseño de equipos de radioterapia, las obleas de aleación de tungsteno a menudo se combinan con otros materiales (como plomo o acero inoxidable) para formar una estructura de blindaje multicapa para mejorar aún más el efecto protector. Su acabado superficial y precisión dimensional permiten una integración perfecta en los componentes de precisión del equipo, como colimadores, escudos y placas protectoras, lo que garantiza un control preciso del haz de radiación y minimiza las fugas. Estas propiedades de las obleas de aleación de tungsteno las convierten en un componente indispensable de los equipos de radioterapia, proporcionando un importante apoyo para el desarrollo de la tecnología de radioterapia moderna y promoviendo avances en el tratamiento del cáncer y el manejo de otras enfermedades.

#### 6.1.1.1 Aplicaciones de blindaje en aceleradores lineales

En aceleradores lineales (LINAC), los discos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente como componentes de protección contra la radiación para controlar haces de rayos X y electrones de alta energía, garantizando así la precisión y la seguridad de la radioterapia. Los aceleradores lineales son el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

equipo fundamental de la radioterapia moderna, generando radiación de alta energía mediante la aceleración de electrones para el tratamiento de enfermedades como el cáncer. Gracias a su alta densidad y alto número atómico, los discos de aleación de tungsteno pueden absorber y bloquear eficazmente los rayos X de alta energía generados por el acelerador, reduciendo la fuga de radiación y protegiendo los tejidos no diana de los pacientes y del personal médico circundante. Su tamaño compacto los hace ideales para su integración en estructuras compactas de aceleradores, como colimadores, escudos y placas protectoras, para un control preciso de la forma y la dirección de los haces de radiación. La resistencia mecánica y la resistencia a altas temperaturas de los discos de aleación de tungsteno les permiten mantener un rendimiento estable en entornos de alta radiación y altas temperaturas, evitando la deformación o la degradación del rendimiento causada por el uso prolongado.

En el diseño de blindaje de aceleradores lineales, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar en láminas delgadas o en forma de disco para componentes clave de colimadores multilamina (MLC) o colimadores fijos. Estos componentes ajustan la forma e intensidad del haz de radiación para lograr una irradiación precisa del área tumoral, minimizando al mismo tiempo el daño al tejido sano. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan un movimiento suave y un posicionamiento preciso del colimador, mejorando la precisión del tratamiento. Además, su resistencia a la corrosión y su no toxicidad los hacen adecuados para su uso a largo plazo en entornos médicos sin contaminar a los pacientes ni al equipo. La tecnología de procesamiento de los discos de aleación de tungsteno, como la pulvimetalurgia y el rectificado de precisión, permite cumplir con los requisitos del acelerador para formas complejas y tolerancias estrictas, como lograr una modulación del haz de radiación de alta precisión en radioterapia de intensidad modulada dinámica.

tungsteno en aceleradores lineales también se reflejan en su efecto sinérgico con las estructuras de blindaje multicapa. Estos discos se combinan a menudo con otros materiales (como plomo o acero) para formar capas de blindaje compuestas, lo que mejora la protección general y optimiza el peso y el volumen del equipo. Su reciclabilidad y su naturaleza ecológica reducen el impacto ambiental de la eliminación de residuos, cumpliendo así con los requisitos de la industria médica para el desarrollo sostenible. En la práctica, el rendimiento de blindaje de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas periódicas (como pruebas de tasa de atenuación de rayos X) para garantizar su fiabilidad en entornos de radiación de alta intensidad. Estas ventajas convierten a los discos de aleación de tungsteno en un material de blindaje ideal para aceleradores lineales, proporcionando un apoyo eficiente y seguro para el tratamiento del cáncer y promoviendo el avance de la tecnología moderna de radioterapia.

#### **6.1.1.2 Diseño de blindaje local del equipo de bisturí de rayos gamma**

En los dispositivos de bisturí gamma, se utilizan discos de aleación de tungsteno en diseños de blindaje local para controlar con precisión la trayectoria de los rayos gamma y proteger el tejido no diana y el entorno circundante. El bisturí gamma es un dispositivo de radioterapia no invasivo que enfoca los rayos gamma emitidos por múltiples fuentes de cobalto-60 en la zona tumoral, lo que permite un tratamiento preciso. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad y alta capacidad de absorción, bloquean eficazmente los rayos gamma, reducen la radiación dispersa y garantizan la precisión y la

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

seguridad del área de tratamiento. Su pequeño tamaño y alta precisión de mecanizado los hacen ideales para el diseño compacto de los dispositivos de bisturí gamma, especialmente en componentes clave como colimadores y cubiertas de blindaje. La resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión de los discos de aleación de tungsteno les permiten mantener un rendimiento estable a largo plazo en entornos de alta radiación, evitando la degradación del rendimiento debido a daños por radiación.

En el diseño de blindaje local del Gamma Knife, los discos de aleación de tungsteno se procesan en láminas delgadas o formas geométricas complejas para la fabricación de colimadores y placas de blindaje. Estos componentes controlan con precisión el enfoque y la dirección de los rayos gamma, garantizando que el haz de radiación se concentre en el área del tumor y reduciendo la exposición a la radiación del tejido sano circundante. El acabado superficial y la precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno permiten una integración perfecta en el sistema de precisión del Gamma Knife, lo que facilita la implementación de planes de tratamiento de alta precisión. Su ausencia de toxicidad garantiza un contacto seguro con los pacientes y el personal médico, cumpliendo con los requisitos de biocompatibilidad de los dispositivos médicos. Además, la resistencia a altas temperaturas de los discos de aleación de tungsteno les permite mantener la estabilidad estructural en el entorno local de alta temperatura generado por el funcionamiento del Gamma Knife, evitando deformaciones o pérdidas de rendimiento.

tungsteno en equipos de bisturí gamma también se reflejan en su integración en estructuras de blindaje multicapa. Estos discos se utilizan a menudo junto con otros materiales de blindaje para formar un sistema de blindaje compuesto, optimizando la eficacia de la protección y el peso del dispositivo. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, en consonancia con las preocupaciones ambientales de la industria médica. En aplicaciones prácticas, el rendimiento de blindaje de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de tasa de atenuación de rayos gamma, lo que garantiza su fiabilidad en entornos de radiación de alta energía. Estas propiedades de los discos de aleación de tungsteno los hacen cruciales en el diseño de blindaje local de equipos de bisturí gamma, lo que proporciona un importante apoyo para el tratamiento de precisión de tumores cerebrales y otras enfermedades neurológicas, e impulsa el desarrollo de la tecnología de radiocirugía.

### 6.1.1.3 Disposición del blindaje en dispositivos de terapia de protones

En los dispositivos de terapia de protones, se utilizan discos de aleación de tungsteno como blindaje para controlar el haz de protones y la radiación secundaria que lo acompaña, garantizando así un tratamiento seguro y preciso. La terapia de protones es una técnica avanzada de radioterapia que utiliza haces de protones acelerados para irradiar tumores con precisión, minimizando el daño al tejido sano. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad y alto número atómico, absorben eficazmente la radiación secundaria generada por el haz de protones. Su tamaño compacto y su facilidad de procesamiento los hacen ideales para su integración en las complejas estructuras de los dispositivos de terapia de protones. La resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión de los discos de aleación de tungsteno garantizan un rendimiento estable en entornos de radiación de alta energía, prolongando así la vida útil del dispositivo.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En el diseño de blindaje de los dispositivos de terapia de protones, las obleas de aleación de tungsteno se procesan en láminas delgadas, discos o formas personalizadas para la fabricación de colimadores, escudos y placas protectoras. Estos componentes logran una irradiación de alta precisión del área tumoral mediante el control preciso de la trayectoria y la intensidad del haz de protones, a la vez que bloquean la radiación secundaria y protegen el tejido no diana del paciente y al personal médico. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de las obleas de aleación de tungsteno garantizan un movimiento suave y un posicionamiento preciso del colimador y los componentes de blindaje, mejorando la precisión del tratamiento. Su no toxicidad las hace aptas para su uso en entornos médicos y no contaminan a los pacientes ni a los equipos. Además, la resistencia a altas temperaturas de las obleas de aleación de tungsteno les permite mantener la estabilidad estructural en el entorno de alta temperatura generado por el funcionamiento del dispositivo de terapia de protones, evitando la deformación causada por el estrés térmico.

tungsteno en dispositivos de terapia de protones también se reflejan en su sinergia con los sistemas de blindaje compuestos. Los discos suelen combinarse con otros materiales (como boruros u hormigón) para formar una estructura de blindaje multicapa, lo que mejora la absorción de neutrones y rayos gamma, a la vez que optimiza el peso y el espacio del equipo. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, cumpliendo así con los requisitos de la industria médica para el desarrollo sostenible. En aplicaciones prácticas, el rendimiento de blindaje de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de atenuación de la radiación y mediciones de dosis de neutrones, lo que garantiza una protección fiable en entornos de protones de alta energía. Estas ventajas de los discos de aleación de tungsteno les permiten desempeñar un papel clave en el diseño de blindaje de los dispositivos de terapia de protones, proporcionando un apoyo eficiente y seguro para el tratamiento de precisión del cáncer y otras enfermedades, e impulsando el desarrollo de la tecnología de la terapia de protones.

### 6.1.2 Discos de contrapeso para equipos de imágenes médicas

tungsteno como contrapesos en equipos de imágenes médicas son una de sus funciones más importantes. Gracias a su alta densidad y excelentes propiedades mecánicas, son esenciales para el funcionamiento estable del equipo y la precisión de las imágenes. Los equipos de imágenes médicas, como los equipos de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM), suelen contener componentes que giran a alta velocidad o se mueven con precisión, lo que requiere contrapesos precisos para garantizar el equilibrio dinámico y la estabilidad estructural. Gracias a su alta densidad, los discos de aleación de tungsteno pueden proporcionar suficiente peso en un volumen reducido. En comparación con los materiales de contrapeso tradicionales (como el plomo o el acero), ocupan menos espacio y son adecuados para los requisitos de diseño compacto de los equipos médicos. Su resistencia mecánica y a la corrosión les permiten mantener un rendimiento estable bajo cargas elevadas y entornos complejos, evitando la deformación o la degradación del rendimiento causada por el uso prolongado. Además, los discos de aleación de tungsteno poseen excelentes propiedades de procesamiento y pueden fabricarse en formas redondas o personalizadas de alta precisión mediante procesos de pulvimetalurgia y mecanizado de precisión para cumplir con los estrictos requisitos de los componentes de contrapeso de los equipos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En equipos de imágenes médicas, los discos de aleación de tungsteno sirven principalmente como contrapesos, equilibrando los componentes rotatorios y optimizando la estabilidad general del dispositivo. Por ejemplo, en el pórtico giratorio de un equipo de TC, se utilizan discos de aleación de tungsteno como contrapesos para garantizar el equilibrio dinámico durante la rotación a alta velocidad y reducir el impacto de la vibración en la calidad de la imagen. En equipos de resonancia magnética, se utilizan como contrapesos fijos o ajustables para mejorar la estabilidad del dispositivo en campos magnéticos intensos, garantizando la uniformidad del campo magnético y la precisión de la imagen. Su no toxicidad los hace aptos para su uso en entornos médicos, sin representar riesgos para la salud de los pacientes ni del personal médico. El acabado superficial y la precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno permiten una integración perfecta en los sistemas de precisión del dispositivo, lo que favorece un movimiento de alta precisión y una fiabilidad operativa a largo plazo. Su reciclabilidad reduce aún más el impacto ambiental, en consonancia con el enfoque de la industria médica en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible. El uso de discos de aleación de tungsteno en contrapesos para equipos de imágenes médicas no solo mejora el rendimiento del dispositivo, sino que también promueve avances en la tecnología de diagnóstico, proporcionando a los pacientes una atención médica más segura y precisa.

#### 6.1.2.1 Equilibrado de contrapesos de componentes rotatorios de máquinas CT

Los discos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en el equilibrio de los componentes rotatorios de los equipos de TC, garantizando que el equipo mantenga un equilibrio dinámico durante la rotación a alta velocidad, mejorando así la precisión de las imágenes y la estabilidad del dispositivo. Los equipos de TC (escáneres de tomografía computarizada) son equipos esenciales en el campo de la imagenología médica, ya que generan imágenes transversales detalladas de tejido humano mediante la rápida rotación de fuentes y detectores de rayos X. El marco rotatorio es un componente clave de los equipos de TC, ya que contiene tubos de rayos X, detectores y otros componentes de precisión que deben girar a alta velocidad para lograr un escaneo rápido. Gracias a su alta densidad, los discos de aleación de tungsteno pueden proporcionar suficiente peso en un volumen pequeño para equilibrar la distribución del peso del marco rotatorio, reducir la vibración y el ruido causados por el desequilibrio, y garantizar un funcionamiento fluido y una excelente calidad de imagen.

En los componentes rotativos de las máquinas CT, los discos de aleación de tungsteno se procesan habitualmente para formar contrapesos circulares o sectoriales de precisión, que se instalan en posiciones específicas del marco rotatorio para compensar las fuerzas desequilibradas de componentes pesados, como tubos de rayos X y detectores. Su alta densidad permite que los contrapesos equilibren eficazmente el peso en espacios reducidos, optimizando el diseño estructural del marco rotatorio y reduciendo el peso y el volumen totales. La resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión de los discos de aleación de tungsteno les permiten soportar la fuerza centrífuga generada por la rotación a alta velocidad y las tensiones ambientales durante el funcionamiento prolongado, evitando la deformación o la degradación del rendimiento. Presentan un excelente rendimiento de procesamiento y permiten alcanzar una alta precisión dimensional mediante rectificado de precisión y mecanizado CNC, lo que garantiza una perfecta adaptación entre el contrapeso y el marco rotatorio y favorece el equilibrio dinámico durante la rotación a alta velocidad. Además, el excelente acabado superficial de los discos de aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reduce la resistencia a la fricción al entrar en contacto con las piezas rotatorias, mejorando la suavidad de movimiento y la vida útil del equipo.

de tungsteno como contrapesos en escáneres de TC también reflejan una prioridad en la seguridad y la protección del medio ambiente. Su inocuidad garantiza un contacto seguro con los pacientes y el personal médico, cumpliendo así con los requisitos de biocompatibilidad de los dispositivos médicos. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de su eliminación y minimiza el desperdicio de recursos. En la práctica, el rendimiento de los discos de aleación de tungsteno como contrapeso se verifica mediante pruebas de equilibrio dinámico y análisis de vibraciones para garantizar la estabilidad del marco giratorio durante el funcionamiento a alta velocidad. Los discos de aleación de tungsteno suelen combinarse con otros materiales (como aluminio o acero) para formar sistemas de contrapeso compuestos que optimizan aún más la distribución del peso y el rendimiento del dispositivo.

### 6.1.2.2 Contrapesos estables para equipos de resonancia magnética

Los discos de aleación de tungsteno desempeñan un papel importante en la estabilización del peso de los equipos de resonancia magnética (RM). Al proporcionar pesos de alta densidad, garantizan la estabilidad estructural y la precisión operativa del equipo en entornos con campos magnéticos intensos. Los equipos de RM son una tecnología clave en el campo de la imagenología médica. Utilizan campos magnéticos intensos y pulsos de radiofrecuencia para generar imágenes detalladas de tejido humano y se utilizan para diagnosticar diversas enfermedades. Los equipos de RM contienen componentes pesados, como imanes grandes, bobinas de gradiente y bobinas de radiofrecuencia, que requieren pesos precisos para mantener la estabilidad general y evitar desplazamientos o vibraciones durante el funcionamiento. Gracias a su alta densidad, los discos de aleación de tungsteno pueden proporcionar suficiente peso en un volumen pequeño, lo que resulta adecuado para los requisitos de diseño compacto y preciso de los equipos de RM. Su resistencia mecánica y a la corrosión les permiten mantener un rendimiento estable en campos magnéticos intensos y entornos complejos, evitando la degradación del rendimiento causada por el uso prolongado.

En el diseño de contrapesos estables para equipos de resonancia magnética (RM), los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar en contrapesos redondos, rectangulares o con formas personalizadas. Estos se instalan alrededor de la base del equipo, la estructura de soporte o las bobinas de gradiente para optimizar la distribución del peso y mejorar la estabilidad general. Su alta densidad permite que los contrapesos proporcionen suficiente masa en un espacio limitado, reduciendo el volumen de la base del equipo y optimizando el uso del espacio. Los discos de aleación de tungsteno ofrecen una excelente maquinabilidad, logrando una alta precisión dimensional mediante procesos de pulvimetalurgia y mecanizado de precisión, lo que garantiza un ajuste preciso entre el contrapeso y la estructura del equipo. Su excelente acabado superficial reduce la resistencia a la fricción durante el contacto con el equipo y facilita la instalación y el ajuste. Además, las propiedades no magnéticas de los discos de aleación de tungsteno evitan que interfieran con el intenso campo magnético del equipo de RM, garantizando la uniformidad del campo magnético y la calidad de la imagen.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno como contrapesos en equipos de resonancia magnética (RM) también demuestran un compromiso con la seguridad y la protección del medio ambiente. Su inocuidad garantiza un contacto seguro con los pacientes y el personal médico, cumpliendo con los estrictos estándares para dispositivos médicos. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, cumpliendo con los requisitos de la industria médica para el desarrollo sostenible. En aplicaciones prácticas, el rendimiento del contrapeso de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de vibración y análisis de estabilidad para garantizar que el equipo no se mueva ni vibre durante su funcionamiento. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales no magnéticos para formar sistemas de contrapeso compuestos, optimizando aún más la distribución del peso y la estabilidad estructural del equipo. Su uso en equipos de RM no solo mejora la precisión de las imágenes y la fiabilidad del equipo, sino que también reduce el ruido operativo y los requisitos de mantenimiento, proporcionando a los pacientes una experiencia de diagnóstico más segura y cómoda e impulsando el desarrollo de la tecnología de RM.

### 6.1.3 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en equipos de medicina nuclear

tungsteno en equipos de medicina nuclear se deben principalmente a su excelente capacidad de blindaje contra la radiación. Se utilizan ampliamente para proteger a operadores, pacientes y equipos de la radiación de alta energía emitida por isótopos radiactivos. Los equipos de medicina nuclear implican la preparación, el empaquetado y el análisis de radiofármacos, como la tomografía computarizada por emisión monofotónica (SPECT), la tomografía por emisión de positrones (PET) y los analizadores de radioinmunoensayo. Estos dispositivos requieren materiales de blindaje altamente eficaces para bloquear los rayos gamma y beta. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad y alto número atómico, absorben y bloquean eficazmente esta radiación de alta energía. Su tamaño compacto también los hace ideales para su integración en las estructuras compactas de los equipos de medicina nuclear. Su resistencia mecánica y a la corrosión garantizan un rendimiento estable en entornos de alta radiación y químicamente corrosivos, evitando la deformación o la degradación del rendimiento debido al uso prolongado. Los discos de aleación de tungsteno ofrecen una excelente procesabilidad y pueden mecanizarse con precisión en láminas delgadas, discos o formas personalizadas para cumplir con los estrictos requisitos de blindaje de estos equipos.

En los equipos de medicina nuclear, el efecto de blindaje de los discos de aleación de tungsteno no solo mejora la seguridad operativa, sino que también optimiza el rendimiento del equipo. Por ejemplo, en equipos de envasado de radiofármacos, los discos de aleación de tungsteno se utilizan como contenedores de blindaje y cubiertas protectoras para minimizar las fugas de radiación de los radioisótopos durante el proceso de envasado. En los instrumentos de radioinmunoensayo, los discos de aleación de tungsteno se utilizan para proteger detectores y componentes clave, reducir el ruido de fondo de la radiación y mejorar la sensibilidad y la precisión de la detección. Su inocuidad garantiza la seguridad durante el contacto con el cuerpo humano y cumple con los estándares de biocompatibilidad de los dispositivos médicos. Además, el acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno permiten una integración perfecta en los sistemas de precisión del equipo, lo que favorece un funcionamiento preciso y una fiabilidad operativa a largo plazo. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental y los costes

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de gestión de residuos, en consonancia con el enfoque de la industria médica en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

### 6.1.3.1 Blindaje de equipos de envasado de radiofármacos

tungsteno en equipos de dispensación de radiofármacos representan un avance significativo en medicina nuclear. Se utilizan principalmente para bloquear los rayos gamma y beta de alta energía emitidos por radioisótopos, protegiendo así a los operadores y al medio ambiente. Los equipos de dispensación de radiofármacos preparan y dispensan radioisótopos (como el tecnecio-99m, el yodo-131 y el flúor-18) con fines diagnósticos y terapéuticos. Estos isótopos liberan radiación de alta energía durante el proceso de dispensación, lo que requiere materiales de blindaje eficientes para evitar fugas de radiación. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad y alto número atómico, absorben y bloquean eficazmente esta radiación, reduciendo la probabilidad de penetración. Su tamaño compacto también los hace adecuados para diseños de equipos de dispensación compactos. Su resistencia mecánica y a la corrosión garantizan un rendimiento estable en entornos de alta radiación y químicamente corrosivos, previniendo la deformación o degradación por el uso prolongado. Los discos de aleación de tungsteno ofrecen una excelente procesabilidad y se pueden formar en láminas delgadas, discos o cubiertas de protección con formas personalizadas, cumpliendo con los requisitos de protección de alta precisión de los equipos de dispensación.

En equipos de envasado de radiofármacos, los discos de aleación de tungsteno se utilizan habitualmente para fabricar contenedores de blindaje, cubiertas protectoras o revestimientos para tanques de envasado, con el fin de aislar los isótopos radiactivos y evitar fugas de radiación en el área de operación. Su alta densidad les permite proporcionar un blindaje suficiente con un espesor reducido, optimizando el espacio de diseño del equipo y reduciendo el peso total. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan una perfecta integración con otros componentes del equipo de envasado, lo que favorece el correcto funcionamiento del sistema automatizado. Su no toxicidad los hace aptos para su uso en entornos médicos y no contaminan los medicamentos ni a los operarios. Además, su resistencia a altas temperaturas y estabilidad química les permiten soportar las altas temperaturas locales o la corrosión química que puede producirse durante el proceso de envasado, garantizando así una fiabilidad a largo plazo. En aplicaciones reales, el blindaje de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de tasa de atenuación de rayos gamma para garantizar que reduzcan eficazmente las dosis de radiación y protejan la seguridad de los operarios.

tungsteno en equipos de envasado de radiofármacos también reflejan un enfoque en la sostenibilidad ambiental. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental durante la producción y la eliminación, cumpliendo así con el compromiso de la industria médica con el desarrollo sostenible. Los discos de aleación de tungsteno suelen combinarse con otros materiales de blindaje (como vidrio de plomo o acero inoxidable) para formar sistemas de blindaje compuestos, lo que mejora aún más la protección y optimiza el peso y el coste del equipo. Durante la operación de los equipos de envasado, el efecto de blindaje de los discos de aleación de tungsteno reduce significativamente los riesgos de exposición a la radiación, mejorando la seguridad y la eficiencia de la preparación de fármacos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 6.1.3.2 Componentes protectores de los instrumentos de radioinmunoensayo

de tungsteno como componentes protectores en instrumentos de radioinmunoensayo constituyen otra aplicación importante en medicina nuclear. Se utilizan principalmente para proteger la radiación emitida por radioisótopos, detectores y componentes clave, y garantizar la precisión de la detección y la seguridad del equipo. Los instrumentos de radioinmunoensayo detectan moléculas específicas (como hormonas o proteínas) en muestras biológicas mediante marcadores radiactivos (como yodo-125 o tecnecio-99m) para análisis de alta sensibilidad. Estos marcadores emiten radiación gamma o beta de baja energía, lo que requiere materiales de blindaje eficientes para reducir el ruido de fondo y mejorar la sensibilidad de la detección. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad y elevado número atómico, absorben eficazmente estas radiaciones. Su tamaño compacto y su facilidad de procesamiento los hacen ideales para su integración en sofisticados sistemas de detección de instrumentos. Su resistencia mecánica y a la corrosión garantizan un rendimiento estable en entornos de alta radiación, evitando su degradación por el uso prolongado.

En los instrumentos de radioinmunoensayo, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar en láminas delgadas, discos o placas protectoras con formas personalizadas que se instalan alrededor de detectores, cámaras de muestra o fuentes de radiación para proteger la radiación y reducir el ruido de fondo. Su alta densidad permite proporcionar un efecto de apantallamiento suficiente con un espesor menor, optimizar el diseño espacial del instrumento y reducir el volumen total. El acabado superficial y la alta precisión dimensional del disco de aleación de tungsteno garantizan una compatibilidad precisa con otros componentes del instrumento, lo que contribuye al funcionamiento estable del sistema de detección. Su no toxicidad lo hace apto para entornos médicos y no contamina las muestras biológicas ni a los operadores. Además, la resistencia a la corrosión del disco de aleación de tungsteno le permite soportar la corrosión causada por reactivos químicos o la humedad que pueda producirse en el interior del instrumento, lo que garantiza una fiabilidad a largo plazo. En aplicaciones reales, el rendimiento de apantallamiento del disco de aleación de tungsteno se verifica mediante la medición del fondo de radiación y pruebas de tasa de atenuación para garantizar que pueda reducir eficazmente la interferencia de detección y mejorar la precisión del análisis.

tungsteno en los instrumentos de radioinmunoensayo también reflejan un enfoque en la sostenibilidad ambiental. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, cumpliendo con los requisitos de la industria médica para la fabricación ecológica. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales no magnéticos (como plástico o acero inoxidable) para formar sistemas de blindaje compuestos, optimizando aún más la eficacia del blindaje y el peso del instrumento. En radioinmunoensayos, el efecto protector de los discos de aleación de tungsteno mejora significativamente la sensibilidad y la precisión de la detección, proporcionando un apoyo fiable para el diagnóstico de enfermedades.

## 6.2 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en electrónica y semiconductores

tungsteno en los sectores de la electrónica y los semiconductores se deben principalmente a su excelente

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conductividad térmica, alta densidad y resistencia mecánica, lo que las convierte en un material ideal para disipadores de calor, soportes estructurales y conexiones eléctricas. En los equipos de fabricación de chips, las obleas de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente en componentes de conducción y disipación de calor, lo que garantiza una gestión térmica eficiente durante el funcionamiento a alta potencia y mantiene la estabilidad de los procesos de precisión. Su alta conductividad térmica... Permite una rápida transferencia de calor, evitando el sobrecalentamiento del equipo y prolongando su vida útil. La resistencia mecánica y a la corrosión de las obleas de aleación de tungsteno les permite mantener un rendimiento estable en entornos de alto vacío, alta temperatura y químicamente corrosivos, lo que las hace idóneas para las exigentes condiciones de la fabricación de semiconductores. Su excelente procesabilidad permite moldearlas en formas redondas o personalizadas de alta precisión mediante procesos de pulvimetalurgia y mecanizado de precisión, cumpliendo con los requisitos de precisión dimensional y calidad superficial de los equipos de fabricación de chips. Además, su no toxicidad y reciclabilidad se alinean con el enfoque de la industria electrónica en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible. La aplicación de obleas de aleación de tungsteno en los campos de la electrónica y los semiconductores ha impulsado avances en la tecnología de fabricación de chips y ha proporcionado un apoyo fundamental para el desarrollo de dispositivos electrónicos y circuitos integrados de alto rendimiento.

En equipos de fabricación de chips, las obleas de aleación de tungsteno se utilizan principalmente como componentes conductores y disipadores de calor en equipos clave como implantadores de iones, máquinas de fotolitografía y equipos de deposición química de vapor. Por ejemplo, en los implantadores de iones, las obleas de aleación de tungsteno actúan como sustratos termoconductores, transfiriendo rápidamente el calor generado durante el proceso y garantizando una temperatura uniforme de la oblea. En las máquinas de fotolitografía, las obleas de aleación de tungsteno se utilizan como disipadores de calor para mantener la estabilidad térmica del sistema óptico y la plataforma de la oblea, mejorando así la precisión de la fotolitografía. Su alta densidad también les permite actuar como contrapesos, optimizando la estabilidad operativa del equipo.

### 6.2.1 Equipos de fabricación de chips Obleas conductoras térmicas

tungsteno, como conductores térmicos en equipos de fabricación de chips, son una aplicación clave en los sectores de la electrónica y los semiconductores. Se utilizan principalmente para la disipación y la gestión térmica, garantizando un funcionamiento estable durante procesos de alta potencia y alta precisión. La fabricación de chips implica numerosos procesos de alta precisión, como la implantación de iones, la fotolitografía y la deposición química de vapor. Estos procesos generan cantidades significativas de calor. La falta de disipación de este calor puede provocar el sobrecalentamiento del equipo, la deformación de la oblea o una disminución de la precisión del proceso. Las obleas de aleación de tungsteno, en particular las de tungsteno-cobre, poseen una alta conductividad térmica (aproximadamente 150-200 W/m·K) y excelentes propiedades mecánicas, lo que permite una rápida transferencia de calor y mantiene temperaturas estables en equipos y obleas. Su alta densidad les permite proporcionar suficiente capacidad térmica en un espacio compacto, lo que las hace ideales para el diseño compacto de equipos de fabricación de chips. La resistencia a altas temperaturas y a la corrosión de las

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

oblas de aleación de tungsteno garantiza un rendimiento estable en entornos de alto vacío y químicamente corrosivos, evitando su degradación con el tiempo.

En los equipos de fabricación de chips, las obleas de aleación de tungsteno se procesan habitualmente en láminas delgadas, discos o sustratos o disipadores térmicos termoconductores con formas personalizadas. Estos se instalan cerca de componentes clave que generan calor, como la etapa de oblea de un implantador de iones o el sistema óptico de una máquina de fotolitografía. Su acabado superficial y su alta precisión dimensional ( $\text{error} \leq 0,01 \text{ mm}$ ) garantizan una adaptación precisa a otros componentes del equipo, lo que facilita el funcionamiento estable de procesos de alta precisión. Las obleas de aleación de tungsteno ofrecen un excelente rendimiento de procesamiento y permiten alcanzar formas complejas y altas tolerancias mediante procesos de pulvimetalurgia y rectificado de precisión, satisfaciendo así las necesidades de componentes de alta precisión en la fabricación de chips. Su no toxicidad las hace aptas para su uso en salas blancas y no contaminan las obleas ni los equipos. Además, su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación de residuos, cumpliendo así con los requisitos de la industria de semiconductores en materia de protección ambiental y desarrollo sostenible.

### 6.2.1.1 Componentes conductores térmicos de los implantadores de iones

tungsteno, como componentes conductores térmicos en implantadores de iones, son una característica clave de los equipos de fabricación de chips. Se utilizan principalmente para transferir rápidamente el calor generado durante el proceso, garantizando la uniformidad de la temperatura de la oblea y la estabilidad operativa del equipo. Los implantadores de iones, equipos críticos en la fabricación de chips, utilizan haces de iones acelerados para implantar dopantes en las obleas, formando estructuras semiconductoras específicas. Este proceso genera una cantidad considerable de calor que, especialmente con dosis altas de implante, puede provocar el sobrecalentamiento de la oblea o temperaturas elevadas en los componentes del equipo, lo que compromete la precisión y la calidad del dopaje. Las obleas de aleación de tungsteno, gracias a su alta conductividad térmica y densidad, absorben y transfieren el calor eficientemente, manteniendo temperaturas estables en la etapa de la oblea y los componentes circundantes. Su resistencia mecánica y a altas temperaturas les permiten mantener un rendimiento estable en entornos de alto vacío y con haces de iones de alta energía, evitando la deformación causada por el estrés térmico o el uso prolongado. Las obleas de aleación de tungsteno ofrecen excelentes propiedades de procesamiento y se pueden fabricar en sustratos o disipadores de calor térmicamente conductores de alta precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos de gestión térmica de los implantadores de iones.

En los componentes de conductividad térmica de los implantadores de iones, las obleas de aleación de tungsteno se procesan generalmente en láminas delgadas circulares o rectangulares y se instalan en el sistema de disipación de calor, cerca de la etapa de la oblea o de la trayectoria del haz de iones, para absorber y transferir el calor generado por la oblea y el equipo. Su alta conductividad térmica garantiza una rápida transferencia de calor desde la zona caliente al dispositivo de disipación, evitando la deformación de la oblea o el dopaje desigual causado por el sobrecalentamiento local. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de la oblea de aleación de tungsteno le permiten un ajuste

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

perfecto con la etapa de la oblea, mejorando la eficiencia de la transferencia de calor, a la vez que facilitan la rotación a alta velocidad y el posicionamiento preciso de la etapa de la oblea. Su resistencia a la corrosión le permite soportar el entorno de gases químicos o plasma al que puede estar expuesta durante el proceso de implantación de iones, garantizando así una fiabilidad a largo plazo. En aplicaciones reales, la conductividad térmica de la oblea de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de distribución de temperatura y análisis de imágenes térmicas para garantizar que mantenga eficazmente la uniformidad de la temperatura del proceso.

tungsteno para la conductividad térmica en implantadores de iones también reflejan un enfoque en la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Su inocuidad garantiza que no contaminen las obleas cuando se utilizan en salas blancas, cumpliendo con los estrictos estándares de la fabricación de semiconductores. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Las obleas de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales termoconductores, como el grafito o el aluminio, para formar sistemas compuestos de disipación de calor, optimizando aún más la eficiencia de la gestión térmica y el rendimiento del dispositivo.

#### 6.2.1.2 Aplicación de obleas de disipación de calor en máquinas de fotolitografía

Las obleas de aleación de tungsteno son otra aplicación importante en los equipos de fabricación de chips como disipadores de calor en máquinas de litografía. Se utilizan principalmente para mantener la estabilidad térmica del sistema óptico y la plataforma de obleas, garantizando alta precisión y consistencia en el proceso litográfico. Las máquinas de litografía son equipos esenciales en la fabricación de chips, ya que transfieren patrones de circuitos a obleas mediante luz ultravioleta o ultravioleta extrema (EUV). Sus sistemas ópticos y plataformas de obleas requieren un estricto control de temperatura durante el funcionamiento a alta potencia para evitar la expansión térmica y la distorsión óptica. Las obleas de aleación de tungsteno, gracias a su alta conductividad térmica y alta densidad, pueden transferir rápidamente el calor generado durante el proceso litográfico, evitando el sobrecalentamiento de los componentes ópticos o las obleas y garantizando una transferencia precisa de patrones. Su resistencia mecánica y a altas temperaturas les permiten mantener un rendimiento estable en entornos de alto vacío y bajo intensa radiación luminosa, previniendo la deformación causada por el estrés térmico. Las obleas de aleación de tungsteno ofrecen excelentes propiedades de procesamiento y pueden fabricarse como disipadores de calor de alta precisión o sustratos térmicamente conductores, cumpliendo con los requisitos de precisión de las máquinas de litografía.

En el sistema de refrigeración de las máquinas de fotolitografía, las obleas de aleación de tungsteno se suelen procesar en discos delgados o disipadores de calor con formas personalizadas y se instalan cerca de matrices de lentes ópticas, reflectores o platinas de oblea para absorber y transferir el calor generado por la fuente de luz y el sistema láser. Su alta conductividad térmica garantiza una rápida transferencia de calor desde las zonas calientes al disipador, manteniendo la estabilidad de la temperatura en el sistema óptico y la oblea, y evitando la distorsión o desalineación óptica causada por las fluctuaciones de temperatura. El acabado superficial liso y la alta precisión dimensional de la oblea de aleación de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno permiten una integración perfecta con los componentes de precisión de la máquina de fotolitografía, lo que favorece un posicionamiento de alta precisión y un funcionamiento estable. Su resistencia a la corrosión le permite soportar los agentes de limpieza químicos y los entornos de alto vacío que se producen durante el proceso de fotolitografía, lo que garantiza una fiabilidad a largo plazo. Durante la aplicación, el rendimiento de disipación de calor de la oblea de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de imagen térmica y distribución de temperatura para garantizar su capacidad de mantener eficazmente la estabilidad térmica durante el proceso de fotolitografía.

El uso de obleas de aleación de tungsteno en máquinas de fotolitografía para la disipación de calor también refleja un enfoque en la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Su inocuidad garantiza la ausencia de contaminación de las obleas o componentes ópticos cuando se utilizan en salas blancas, cumpliendo con los altos estándares de la fabricación de semiconductores. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Las obleas de aleación de tungsteno suelen combinarse con otros materiales termoconductores para formar un sistema compuesto de disipación de calor que optimiza aún más la eficiencia de la gestión térmica y el rendimiento del equipo.

### 6.2.2 Obleas de electrodos para dispositivos de alta frecuencia

de tungsteno en electrodos para dispositivos de alta frecuencia son una manifestación clave de su aplicación en los campos de la electrónica y los semiconductores. Se utilizan principalmente para facilitar la transmisión de señales de alta frecuencia y una conducción eficiente de la corriente, garantizando un rendimiento estable del dispositivo durante la oscilación de alta frecuencia y el funcionamiento a alta potencia. Los dispositivos de alta frecuencia, como los de comunicación por microondas y los de potencia de RF, se utilizan ampliamente en aplicaciones como radares, comunicaciones por satélite, estaciones base de comunicaciones móviles y amplificadores de potencia. Requieren materiales con alta conductividad y resistencia mecánica para sus electrodos y componentes conductores. Los discos de aleación de tungsteno, en particular las aleaciones de tungsteno-cobre o tungsteno-plata, ofrecen una conducción de corriente y transmisión de señales estables en entornos de alta frecuencia gracias a su alta conductividad (similar a la del cobre o la plata puros) y sus excelentes propiedades mecánicas. Su alta conductividad térmica permite una rápida disipación del calor, lo que evita el sobrecalentamiento causado por el funcionamiento a alta potencia y prolonga la vida útil del dispositivo. La resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas de los discos de aleación de tungsteno garantiza un rendimiento estable en entornos químicamente corrosivos y de oscilación de alta frecuencia, lo que evita la degradación de los materiales de los electrodos con el tiempo.

En dispositivos de alta frecuencia, las obleas de aleación de tungsteno se procesan típicamente en discos delgados, obleas o electrodos con formas personalizadas, que se instalan en circuitos de microondas, amplificadores de RF o conectores para facilitar la conducción de corriente y la transmisión de señales. Su acabado superficial y alta precisión dimensional (error  $\leq 0,01$  mm) garantizan una compatibilidad precisa con otros componentes del dispositivo, reducen la resistencia de contacto y la pérdida de señal, y favorecen la transmisión estable de señales de alta frecuencia. Las obleas de aleación de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ofrecen un excelente rendimiento de procesamiento y permiten alcanzar formas complejas y altos requisitos de tolerancia mediante procesos de pulvimetalurgia y rectificado de precisión, cumpliendo así con los estrictos requisitos de los dispositivos de alta frecuencia para componentes de electrodos. Su no toxicidad las hace aptas para su uso en salas blancas y no contaminan el dispositivo ni el entorno de fabricación. Además, la reciclabilidad de las obleas de aleación de tungsteno reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación de residuos, cumpliendo así con los requisitos de la industria electrónica para la fabricación ecológica.

### 6.2.2.1 Estructura de electrodos de los dispositivos de comunicación por microondas

de tungsteno en las estructuras de electrodos de los dispositivos de comunicación por microondas son una manifestación clave de su aplicación en dispositivos de alta frecuencia. Se utilizan principalmente para facilitar la transmisión estable de señales de alta frecuencia y una conducción de corriente eficiente, garantizando así un rendimiento estable del dispositivo dentro del rango de frecuencias de microondas. Los dispositivos de comunicación por microondas se utilizan ampliamente en radares, comunicaciones satelitales, estaciones base 5G y equipos de redes inalámbricas, y requieren materiales de electrodos con alta conductividad y baja pérdida de señal para mantener la integridad de la señal y la eficiencia de la transmisión. Los discos de aleación de tungsteno, en particular las aleaciones de tungsteno-cobre o tungsteno-plata, gracias a su alta conductividad y excelente resistencia mecánica, pueden proporcionar una conducción de corriente fiable en entornos de oscilación de alta frecuencia, reduciendo la atenuación de la señal y la interferencia electromagnética. Su alta conductividad térmica permite una rápida disipación del calor, evitando el sobrecalentamiento causado por el funcionamiento a alta potencia en dispositivos de microondas y manteniendo la estabilidad de los electrodos y circuitos. La resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas de los discos de aleación de tungsteno les permite mantener un rendimiento estable en los entornos de oscilación de alta temperatura y alta frecuencia de los dispositivos de microondas, evitando la pérdida de señal debido a la degradación del material.

En las estructuras de electrodos de los dispositivos de comunicación por microondas, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar en discos delgados, electrodos de tira o conectores con formas personalizadas. Estos se instalan en circuitos de microondas, guías de onda o sistemas de antena para facilitar la transmisión de señales de alta frecuencia y la conducción de corriente. Su alta conductividad garantiza una baja pérdida de resistencia, reduce la atenuación de la señal y mejora la eficiencia de la comunicación. El acabado superficial liso y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno permiten una conexión fluida con otros componentes de los dispositivos de microondas (como sustratos cerámicos o electrodos de oro), lo que reduce la resistencia de contacto y la interferencia electromagnética, y favorece la transmisión estable de señales de alta frecuencia. Su resistencia a la corrosión les permite soportar la humedad y los gases químicos que los dispositivos de microondas pueden encontrar durante su funcionamiento, lo que garantiza su fiabilidad a largo plazo. En aplicaciones prácticas, el rendimiento eléctrico de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de impedancia y análisis de pérdida de señal para garantizar que cumplen con los altos estándares requeridos para las comunicaciones por microondas. tungsteno , utilizadas como electrodos en dispositivos de comunicación por microondas, también reflejan una prioridad en el respeto al medio ambiente y la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sostenibilidad. Su inocuidad garantiza que no contaminen los dispositivos ni el entorno de fabricación cuando se utilizan en salas blancas, cumpliendo así con los altos estándares de la industria electrónica. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Las obleas de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales conductores, como recubrimientos de oro o plata, para formar estructuras de electrodos compuestos, optimizando aún más la conductividad y la eficiencia de transmisión de la señal.

#### 6.2.2.2 Obleas conductoras para dispositivos de potencia de RF

tungsteno, como obleas conductoras en dispositivos de potencia de RF, son otra manifestación importante de su aplicación en dispositivos de alta frecuencia. Se utilizan principalmente para facilitar la conducción fiable de corrientes de alta potencia y la gestión térmica, garantizando así la estabilidad y la eficiencia de los dispositivos durante el funcionamiento a alta potencia. Los dispositivos de potencia de RF, como los amplificadores y transistores de potencia, se utilizan ampliamente en estaciones base de comunicaciones inalámbricas, equipos de radiodifusión y sistemas industriales de RF. Requieren materiales con alta conductividad eléctrica y térmica para construir componentes y electrodos conductores. Las obleas de aleación de tungsteno, especialmente las de tungsteno-cobre, pueden conducir grandes corrientes de forma eficiente y disipar el calor rápidamente gracias a su alta conductividad eléctrica y térmica, lo que previene el sobrecalentamiento o la degradación del rendimiento causados por el funcionamiento a alta potencia. Su alta densidad y resistencia mecánica les permiten mantener la estabilidad estructural en entornos de oscilación de alta potencia y alta frecuencia, evitando la deformación causada por tensión mecánica o térmica. La resistencia a la corrosión de las obleas de aleación de tungsteno les permite soportar los entornos químicos a los que pueden estar expuestos los dispositivos de RF durante su funcionamiento, garantizando así una fiabilidad a largo plazo.

Entre los componentes conductores de los dispositivos de potencia de RF, las obleas de aleación de tungsteno se procesan habitualmente en electrodos circulares, sustratos conductores o piezas de conexión que se instalan en amplificadores de potencia, transistores o sistemas de disipación de calor para facilitar la conducción de corriente de alta potencia y la gestión térmica. Su alta conductividad garantiza una baja pérdida de resistencia, reduce el desperdicio de energía y mejora la eficiencia de conversión de energía. La alta conductividad térmica de las obleas de aleación de tungsteno les permite transferir rápidamente el calor generado por el funcionamiento del dispositivo al disipador de calor, mantener la estabilidad de la temperatura de funcionamiento y prolongar su vida útil. Su acabado superficial y su alta precisión dimensional garantizan una compatibilidad precisa con otros componentes del dispositivo, reducen la resistencia de contacto y la resistencia térmica, y favorecen una transferencia eficiente de corriente y calor. En aplicaciones reales, la conductividad eléctrica y térmica de las obleas de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de conductividad y análisis termográficos para garantizar que cumplan con los altos estándares de los dispositivos de potencia de RF.

tungsteno en dispositivos de potencia de RF también reflejan un enfoque en la protección ambiental y la sostenibilidad. Su no toxicidad garantiza que no contaminen los dispositivos cuando se utilizan en salas blancas, cumpliendo con los altos estándares de la industria electrónica. Su reciclabilidad reduce el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Las obleas de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales conductores o térmicamente conductores (como el cobre o la cerámica) para formar sistemas conductores compuestos, optimizando aún más el rendimiento eléctrico y térmico.

### 6.2.3 Aplicación de obleas de aleación de tungsteno en el encapsulado electrónico

tungsteno en el encapsulado electrónico se deben principalmente a su excelente conductividad térmica y capacidad de apantallamiento electromagnético. Se utilizan ampliamente como sustratos disipadores de calor para dispositivos de alta potencia y como encapsulados de apantallamiento para componentes electrónicos, garantizando un rendimiento estable en operaciones de alta potencia y entornos electromagnéticos complejos. El encapsulado electrónico es el proceso de integración de chips, circuitos y otros componentes electrónicos en un único módulo, lo que requiere un equilibrio entre la gestión térmica, la compatibilidad electromagnética y la estabilidad mecánica. Las obleas de aleación de tungsteno, en particular las de tungsteno-cobre o tungsteno-plata, gracias a su alta conductividad térmica y alta densidad, pueden transferir rápidamente el calor para evitar el sobrecalentamiento del dispositivo, a la vez que proporcionan un apantallamiento electromagnético eficaz, protegiendo los circuitos sensibles de interferencias externas. Su resistencia mecánica y a la corrosión les permiten mantener un rendimiento estable en entornos de alto vacío, alta temperatura y químicamente corrosivos, evitando la degradación del rendimiento debido al uso prolongado. Las obleas de aleación de tungsteno también presentan una excelente procesabilidad y pueden formarse en discos delgados, sustratos o formas personalizadas mediante pulvimetalurgia y procesos de mecanizado de precisión, cumpliendo así con los exigentes requisitos de los componentes de alta precisión en encapsulados electrónicos. En este tipo de encapsulados, las obleas de aleación de tungsteno se utilizan comúnmente como sustratos disipadores de calor, cubiertas de blindaje o cubiertas de encapsulado, montadas alrededor de chips de alta potencia, amplificadores de potencia o componentes electrónicos sensibles. Su alta conductividad térmica garantiza una rápida transferencia de calor del elemento calefactor al disipador, manteniendo la estabilidad de la temperatura de funcionamiento del dispositivo y mejorando la eficiencia operativa y la vida útil. Su alta densidad le permite bloquear eficazmente las ondas electromagnéticas, reduciendo el impacto de las interferencias electromagnéticas externas en los circuitos y mejorando la integridad de la señal y la fiabilidad del dispositivo. El acabado superficial liso y la alta precisión dimensional de la oblea de aleación de tungsteno permiten una integración perfecta con otros componentes de la estructura del encapsulado, lo que favorece un ensamblaje de alta precisión y una fiabilidad operativa a largo plazo. Su no toxicidad la hace apta para su uso en salas blancas, sin contaminar el chip ni el entorno de fabricación. Además, la reciclabilidad de las obleas de aleación de tungsteno reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, cumpliendo con los requisitos de la industria electrónica para la fabricación ecológica.

#### 6.2.3.1 Disipador de calor del paquete del dispositivo de alta potencia

Las obleas de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en la aplicación de disipadores térmicos de empaquetado para dispositivos de alta potencia. Se utilizan principalmente para transferir

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rápidamente el calor generado durante el funcionamiento del dispositivo, garantizando así la estabilidad de la temperatura y la fiabilidad operativa. Los dispositivos de alta potencia, como amplificadores de potencia, diodos láser y unidades centrales de procesamiento (CPU), generan una gran cantidad de calor durante su funcionamiento. Si este calor no se disipa a tiempo, puede provocar el sobrecalentamiento del dispositivo, la degradación del rendimiento o una vida útil más corta. Las obleas de aleación de tungsteno, especialmente las de tungsteno-cobre, absorben y transfieren el calor de forma eficiente gracias a su alta conductividad térmica y alta densidad, manteniendo la temperatura de funcionamiento del dispositivo dentro de un rango seguro. Su resistencia mecánica y a altas temperaturas les permiten mantener la estabilidad estructural durante el funcionamiento a alta potencia y en entornos de alta temperatura, evitando la deformación o el agrietamiento causados por la tensión térmica. Las obleas de aleación de tungsteno tienen un excelente rendimiento de procesamiento y se pueden convertir en obleas o sustratos de disipadores de calor de alta precisión a través de procesos de pulvimetalurgia y pulido de precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos del empaquetado de dispositivos de alta potencia en cuanto a precisión dimensional y calidad de superficie.

En el encapsulado de dispositivos de alta potencia, las obleas de aleación de tungsteno se suelen procesar en discos delgados, sustratos de disipación de calor o disipadores térmicos. Estos se instalan bajo el chip o el elemento calefactor para transferir rápidamente el calor a dispositivos externos de disipación, como tubos de calor o sistemas de refrigeración por aire. Su alta conductividad térmica garantiza una conducción térmica eficiente desde la zona de generación de calor, evitando la degradación del rendimiento del dispositivo causada por sobrecalentamiento local. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de la oblea de aleación de tungsteno le permiten ajustarse firmemente al chip u otros componentes del encapsulado, reduciendo la resistencia térmica y mejorando la eficiencia de la transferencia de calor. Su resistencia a la corrosión le permite soportar agentes de limpieza químicos o ambientes húmedos a los que pueda estar expuesta durante el proceso de encapsulado, lo que garantiza su fiabilidad a largo plazo. En aplicaciones reales, el rendimiento de disipación de calor de la oblea de aleación de tungsteno se verifica mediante imágenes térmicas y pruebas de distribución de temperatura para garantizar que mantenga eficazmente la estabilidad térmica del dispositivo. El uso de obleas de aleación de tungsteno como disipadores térmicos en el encapsulado de dispositivos de alta potencia también refleja una prioridad en la sostenibilidad ambiental. Su no toxicidad garantiza que no contaminen los chips ni el entorno de fabricación al utilizarse en salas blancas, cumpliendo así con los altos estándares de la industria electrónica. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Las obleas de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales termoconductores, como el grafito o la cerámica, para formar sistemas de disipación de calor compuestos, optimizando aún más la eficiencia de la gestión térmica y el rendimiento del empaquetado.

### 6.2.3.2 Blindaje y embalaje de componentes electrónicos

Las obleas de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en el blindaje y el encapsulado de componentes electrónicos, utilizándose principalmente para bloquear interferencias electromagnéticas externas, proteger circuitos sensibles y garantizar la integridad y fiabilidad de la señal en entornos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electromagnéticos complejos. Componentes electrónicos como circuitos integrados, sensores y módulos de alta frecuencia se utilizan ampliamente en comunicaciones, electrónica automotriz y sistemas de control industrial. Son susceptibles a la interferencia de ondas electromagnéticas externas, lo que resulta en distorsión de la señal o degradación del rendimiento. Gracias a su alta densidad y elevado número atómico, las obleas de aleación de tungsteno protegen eficazmente la radiación electromagnética, incluyendo interferencias de radiofrecuencia (RFI) e interferencias electromagnéticas (EMI), protegiendo así los circuitos sensibles de influencias externas. Su alta conductividad les permite conducir rápidamente corrientes interferentes, reduciendo el ruido electromagnético. Su resistencia mecánica y a la corrosión les permiten mantener un rendimiento estable en entornos con alta humedad, corrosión química o altas temperaturas, previniendo la degradación del blindaje debido al uso prolongado.

En el blindaje y encapsulado de componentes electrónicos, los discos de aleación de tungsteno se procesan típicamente en discos delgados, cubiertas de blindaje o cubiertas de encapsulado, que se instalan alrededor de circuitos o chips sensibles para formar una capa de blindaje electromagnético. Su alta densidad les permite proporcionar un efecto de blindaje suficiente con un espesor relativamente pequeño, optimizando el espacio ocupado por el diseño del encapsulado y satisfaciendo las necesidades de dispositivos electrónicos compactos. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan una adaptación precisa a otros componentes de la estructura del encapsulado, reduciendo las holguras o la resistencia de contacto y mejorando la eficiencia del blindaje. Presentan excelentes propiedades de procesamiento y pueden fabricarse en formas complejas mediante pulvimetalurgia y procesos de mecanizado de precisión para satisfacer los requisitos de blindaje de diferentes componentes electrónicos. En aplicaciones prácticas, el rendimiento de blindaje de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de compatibilidad electromagnética y análisis de la efectividad del blindaje para garantizar que reduzcan eficazmente el impacto de las interferencias electromagnéticas.

Los discos de aleación de tungsteno utilizados en el blindaje y embalaje de componentes electrónicos también reflejan un enfoque en la protección ambiental y la sostenibilidad. Su no toxicidad garantiza la no contaminación de chips o circuitos cuando se utilizan en salas blancas, cumpliendo con los altos estándares de la industria electrónica. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales de blindaje (como polímeros conductores o recubrimientos metálicos) para formar sistemas de blindaje compuestos, optimizando aún más la eficacia del blindaje y el peso del paquete. Su uso en el blindaje y embalaje de componentes electrónicos mejora significativamente la integridad y la fiabilidad de la señal del dispositivo, lo que proporciona un soporte fundamental para los avances en comunicaciones, electrónica automotriz y sistemas de control industrial, e impulsa el progreso en la tecnología de embalaje electrónico.

### 6.3 Aplicación de discos de aleación de tungsteno en la industria aeroespacial

tungsteno en la industria aeroespacial se deben principalmente a su alta densidad, excelente resistencia mecánica y resistencia a altas temperaturas, lo que los convierte en un material ideal para contrapesos,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

componentes estructurales y entornos de alta temperatura. En naves espaciales, los discos de aleación de tungsteno se utilizan ampliamente para el control de actitud, el equilibrado de contrapesos y el soporte estructural, garantizando un funcionamiento estable y un control preciso en el complejo entorno espacial. Su alta densidad les permite proporcionar suficiente peso en un volumen reducido, lo cual es ideal para diseños de naves espaciales compactas y optimiza la distribución del peso y el aprovechamiento del espacio. La resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión de los discos de aleación de tungsteno les permiten mantener un rendimiento estable en temperaturas extremas, vacío y entornos de radiación, evitando la deformación o la degradación del rendimiento causada por el uso prolongado. Su excelente procesabilidad permite moldearlos en formas redondas o personalizadas de alta precisión mediante pulvimetalurgia y procesos de mecanizado de precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos de precisión dimensional y calidad superficial de los equipos aeroespaciales. Además, su no toxicidad y reciclabilidad se alinean con el enfoque de la industria aeroespacial en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible. La aplicación de discos de aleación de tungsteno en la industria aeroespacial ha promovido avances en el diseño de naves espaciales y en las tecnologías de operación, proporcionando un apoyo fundamental para la exploración espacial y las comunicaciones satelitales.

En el control de actitud de naves espaciales, los discos de aleación de tungsteno se utilizan principalmente como contrapesos y componentes de equilibrio para garantizar la estabilidad de la nave durante la operación orbital, el ajuste de actitud y los cambios de trayectoria. Por ejemplo, en los sistemas de ajuste de actitud de satélites, se utilizan discos de aleación de tungsteno como contrapesos para optimizar la distribución del peso y mantener el equilibrio dinámico del satélite. En los mecanismos de cambio de trayectoria de naves espaciales, se utilizan discos de aleación de tungsteno como contrapesos para garantizar la estabilidad durante cambios de trayectoria de alta precisión. Su alta densidad y estabilidad mecánica les permiten soportar las altas tensiones y vibraciones del entorno espacial, manteniendo así la fiabilidad operativa de la nave.

### 6.3.1 Discos de aleación de tungsteno para pesos de control de actitud de naves espaciales

tungsteno en los contrapesos de control de actitud de naves espaciales son una manifestación importante de su función en el sector aeroespacial. Se utilizan principalmente para optimizar la distribución del peso de las naves espaciales y garantizar la estabilidad del ajuste de actitud y la operación orbital. Las naves espaciales, como satélites, sondas y estaciones espaciales, requieren un control de actitud preciso para mantener la dirección y trayectoria correctas y realizar misiones de comunicación, observación o navegación. Gracias a su alta densidad, los discos de aleación de tungsteno pueden proporcionar suficiente peso en un volumen reducido, lo que resulta adecuado para los estrictos requisitos de las naves espaciales en cuanto a optimización espacial y de peso. Su resistencia mecánica y a altas temperaturas les permite mantener un rendimiento estable en las condiciones extremas del entorno espacial, evitando la deformación o la degradación del rendimiento causadas por el uso prolongado. Los discos de aleación de tungsteno tienen un excelente rendimiento de procesamiento y pueden fabricarse en formas redondas o personalizadas de alta precisión mediante pulvimetalurgia y mecanizado de precisión para cumplir con los estrictos requisitos de tamaño y calidad de los sistemas de control de actitud para componentes de contrapeso.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En los sistemas de control de actitud de naves espaciales, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar en discos, láminas delgadas o contrapesos con formas personalizadas. Estos se instalan en componentes rotatorios, volantes o mecanismos de equilibrio de la nave espacial para ajustar el centro de gravedad y optimizar el equilibrio dinámico. Su alta densidad permite un contrapeso eficiente en un volumen menor, lo que reduce el peso total de la nave espacial y los costos de lanzamiento. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan una integración perfecta con otros componentes del sistema de control de actitud, lo que favorece un movimiento de alta precisión y una fiabilidad operativa a largo plazo. Su resistencia a la corrosión les permite soportar los efectos de los gases traza o la radiación presentes en el entorno espacial, garantizando así la estabilidad a largo plazo de los componentes del contrapeso. En aplicaciones reales, el rendimiento del contrapeso de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de equilibrio dinámico y análisis de vibraciones para garantizar que cumplan con los altos estándares requeridos para el control de actitud de naves espaciales.

tungsteno en los contrapesos de control de actitud de las naves espaciales también reflejan una prioridad en el respeto al medio ambiente y la sostenibilidad. Su no toxicidad garantiza la ausencia de contaminación del medio ambiente ni de los equipos durante la fabricación y operación de las naves espaciales, cumpliendo con los altos estándares de la industria aeroespacial. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales ligeros (como el aluminio o la fibra de carbono) para formar sistemas de contrapeso compuestos, optimizando aún más la distribución del peso y el rendimiento de la nave espacial. Su uso en el control de actitud mejora significativamente la estabilidad y la precisión operativas de las naves espaciales, lo que proporciona un apoyo fundamental para la ejecución exitosa de misiones espaciales e impulsa los avances en la tecnología aeroespacial.

### 6.3.1.1 Contrapesos para el ajuste de la actitud del satélite

Los discos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en la aplicación de contrapesos para el ajuste de la actitud de satélites. Se utilizan principalmente para optimizar la distribución del peso del satélite y garantizar su equilibrio dinámico y la precisión del control de actitud durante la operación orbital. Los satélites en el espacio requieren sistemas de control de actitud (como ruedas de reacción, giroscopios de momento de control o propulsores) para ajustar su orientación y lograr misiones como comunicaciones, observación de la Tierra o experimentos científicos. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, pueden proporcionar suficiente peso en un volumen pequeño, lo que los hace adecuados para las necesidades de los satélites de diseño compacto y optimización del peso. Su resistencia mecánica y a altas temperaturas les permite mantener un rendimiento estable en las condiciones extremas del entorno espacial, evitando la deformación causada por estrés térmico o daños por radiación. Los discos de aleación de tungsteno tienen excelentes propiedades de procesamiento y pueden fabricarse en contrapesos redondos o personalizados de alta precisión mediante pulvimetalurgia y procesos de rectificado de precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos de los sistemas de control de actitud de satélites en cuanto a precisión dimensional y distribución de masa.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En los sistemas de ajuste de actitud de satélites, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar en discos delgados, contrapesos o formas personalizadas, y se instalan en la rueda de reacción, el volante o el marco estructural del satélite para ajustar el centro de gravedad y mantener el equilibrio dinámico. Su alta densidad les permite proporcionar suficiente contrapeso en espacios reducidos, optimizando la distribución del peso del satélite y reduciendo el consumo de combustible y los costes de lanzamiento. El acabado superficial liso y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan una integración perfecta con otros componentes del sistema de control de actitud (como cojinetes o motores), lo que favorece una rotación y estabilidad de alta precisión para el ajuste de actitud. Su resistencia a la corrosión les permite soportar gases traza o radiación de partículas de alta energía presentes en el entorno espacial, lo que garantiza la fiabilidad a largo plazo del contrapeso. En aplicaciones prácticas, el rendimiento del contrapeso de los discos de aleación de tungsteno se verifica mediante pruebas de vibración en tierra y análisis de operaciones orbitales para garantizar que cumplan con los requisitos de alta precisión del ajuste de actitud de satélites.

tungsteno utilizados en el control de actitud de satélites también reflejan un enfoque en la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Su inocuidad garantiza la no contaminación de los equipos ni del entorno espacial durante la fabricación y operación de los satélites, cumpliendo así con los altos estándares de la industria aeroespacial. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con materiales ligeros (como aleaciones de titanio o compuestos) para formar sistemas de contrapeso compuestos, optimizando aún más la distribución del peso y el rendimiento de los satélites.

### 6.3.1.2 Pesos de equilibrio para mecanismos de cambio de órbita de naves espaciales

Los discos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en el uso de contrapesos en los mecanismos de ajuste de trayectoria de naves espaciales. Se utilizan principalmente para optimizar la distribución del peso del mecanismo y garantizar la estabilidad y precisión de la nave durante los ajustes y maniobras orbitales. Los mecanismos de ajuste de trayectoria de naves espaciales, como los sistemas de propulsión o los brazos robóticos, se utilizan para ajustar la posición orbital o la actitud de la nave para realizar tareas como la transferencia orbital, el acoplamiento o la corrección de la actitud. Estos mecanismos deben operar en condiciones de alta precisión y alta tensión, lo que requiere contrapesos que optimicen la distribución del peso y reduzcan la vibración y la desviación. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alta densidad, pueden proporcionar suficiente peso en un volumen pequeño, lo que los hace ideales para el diseño compacto de los mecanismos de ajuste de trayectoria de naves espaciales. Su resistencia mecánica y a altas temperaturas les permite mantener un rendimiento estable en las condiciones extremas del entorno espacial, evitando la deformación causada por tensión mecánica o térmica. Los discos de aleación de tungsteno tienen excelentes propiedades de procesamiento y pueden fabricarse en discos de contrapeso de alta precisión a través de procesos de pulvimetalurgia y mecanizado de precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos de precisión dimensional y distribución de masa en los mecanismos de ajuste de trayectoria.

En los mecanismos de cambio de trayectoria de naves espaciales, los discos de aleación de tungsteno se

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

suelen procesar en contrapesos redondos, láminas delgadas o formas personalizadas, y se instalan en ubicaciones específicas de propulsores, brazos robóticos o componentes giratorios para equilibrar el centro de gravedad del mecanismo y reducir la vibración y la desviación durante el funcionamiento. Su alta densidad permite un contrapeso eficiente en un volumen reducido, optimizando la distribución del peso del mecanismo y mejorando la maniobrabilidad y el consumo de combustible de la nave. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan una adaptación precisa a otros componentes del mecanismo de cambio de trayectoria, lo que favorece un movimiento de alta precisión y una fiabilidad operativa a largo plazo. Su resistencia a la corrosión les permite soportar los efectos de los gases traza o la radiación presentes en el entorno espacial, garantizando así la estabilidad a largo plazo de los componentes del contrapeso.

tungsteno en las maniobras de trayectoria de naves espaciales también reflejan un enfoque en la protección ambiental y la sostenibilidad. Su no toxicidad garantiza la no contaminación de los equipos ni del entorno espacial durante la fabricación y operación de naves espaciales, cumpliendo con los altos estándares de la industria aeroespacial. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con materiales ligeros (como aleación de aluminio o fibra de carbono) para formar sistemas de contrapeso compuestos, optimizando aún más la distribución del peso y el rendimiento del mecanismo. Su uso en maniobras de trayectoria mejora significativamente la maniobrabilidad y la precisión del control de las naves espaciales, proporcionando un apoyo fundamental para el éxito del ajuste de órbita, el acoplamiento espacial y las misiones de exploración del espacio profundo, e impulsando los avances en la tecnología aeroespacial.

### 6.3.2 Discos de aleación de tungsteno resistentes a altas temperaturas para componentes del motor

de tungsteno en componentes de motores aeroespaciales son una manifestación clave de su aplicación en el sector aeroespacial. Están diseñados principalmente para soportar calor y estrés térmico extremos, garantizando la estabilidad estructural y la fiabilidad del rendimiento del motor durante operaciones de alta potencia. Los motores aeroespaciales, como los de cohetes y los sistemas de propulsión de transbordadores espaciales, generan temperaturas extremadamente altas (hasta miles de grados Celsius) y un choque térmico intenso durante su funcionamiento, lo que requiere materiales resistentes a altas temperaturas para mantener la integridad de los componentes críticos. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alto punto de fusión, alta densidad y excelente resistencia mecánica, pueden mantener un rendimiento estable en entornos corrosivos y de alta temperatura y alta presión, previniendo fallos por estrés térmico o degradación del material. Su resistencia a la corrosión les permite soportar la composición química de los gases de combustión a alta temperatura en la cámara de combustión, prolongando así la vida útil del componente. Los discos de aleación de tungsteno también ofrecen una excelente procesabilidad y pueden moldearse en formas redondas o personalizadas de alta precisión mediante pulvimetalurgia y mecanizado de precisión, cumpliendo con los estrictos requisitos de precisión dimensional y calidad superficial de los componentes del motor.

En los motores aeroespaciales, las obleas de aleación de tungsteno se suelen procesar para formar discos,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

revestimientos o placas protectoras resistentes a altas temperaturas. Estas obleas se instalan en zonas clave de toberas, cámaras de combustión o sistemas de propulsión para resistir el impacto directo y la radiación térmica de gases a alta temperatura. Su alta conductividad térmica permite dispersar rápidamente el calor, reducir el sobrecalentamiento local y proteger los componentes circundantes de daños térmicos. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de las obleas de aleación de tungsteno garantizan una integración perfecta con otros componentes del sistema del motor, lo que favorece un ensamblaje de alta precisión y una fiabilidad operativa a largo plazo. Su no toxicidad las hace aptas para su uso en el proceso de fabricación aeroespacial y no contaminan los equipos ni el medio ambiente. Además, la reciclabilidad de las obleas de aleación de tungsteno reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación de residuos, cumpliendo así con los requisitos de la industria aeroespacial para una fabricación ecológica. La aplicación resistente a altas temperaturas de obleas de aleación de tungsteno en los componentes del motor no solo mejora la confiabilidad operativa y la seguridad del sistema, sino que también promueve el avance de la tecnología de propulsión aeroespacial, proporcionando un apoyo clave para la exploración del espacio profundo y la aviación de alto rendimiento.

### 6.3.2.1 Piezas resistentes a altas temperaturas cerca de las toberas de los motores de cohetes

Los discos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en los componentes resistentes a altas temperaturas cerca de las toberas de los motores de cohetes. Están diseñados principalmente para soportar las tensiones térmicas extremas de los gases de alta temperatura de la cámara de combustión y la zona de la tobera, garantizando así la estabilidad del rendimiento y la integridad estructural del motor. Los motores de cohetes son componentes esenciales de los sistemas de propulsión de naves espaciales, que queman propelente para generar gases a alta temperatura y alta presión (que alcanzan miles de grados Celsius) para impulsar naves espaciales a la órbita o realizar misiones en el espacio profundo. La zona cercana a la tobera está directamente expuesta a gases a alta temperatura y a un intenso choque térmico, lo que requiere materiales resistentes a altas temperaturas para mantener la estabilidad estructural y la fiabilidad funcional. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alto punto de fusión y excelente resistencia al calor, mantienen la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional en entornos de temperaturas extremadamente altas, previniendo fallos por tensión térmica o fusión del material. Su resistencia a la corrosión les permite soportar la erosión causada por gases oxidantes o corrosivos en la cámara de combustión, prolongando así la vida útil del componente.

Entre los componentes resistentes a altas temperaturas cerca de las toberas de los motores de cohetes, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar como revestimientos circulares, placas protectoras o capas resistentes al calor en la pared interior de la tobera. Estos discos se instalan en la garganta o zona de salida de la tobera para proteger la estructura de la tobera del impacto directo de gases a alta temperatura y la radiación térmica. Su alta conductividad térmica les permite dispersar rápidamente el calor en la zona de la tobera, reduciendo los gradientes de temperatura locales y minimizando el riesgo de grietas o deformaciones causadas por la tensión térmica. El acabado superficial y la alta precisión dimensional de los discos de aleación de tungsteno garantizan un ajuste preciso con la estructura de la tobera, lo que favorece una guía eficiente del flujo de aire y un mayor empuje. Su resistencia mecánica

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les permite soportar la alta presión y las vibraciones experimentadas durante el funcionamiento de la tobera, garantizando así una fiabilidad operativa a largo plazo.

tungsteno en las toberas de los motores de cohetes también reflejan un enfoque en la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Su no toxicidad garantiza la ausencia de contaminación para los equipos y el medio ambiente durante la fabricación y el funcionamiento, cumpliendo con los altos estándares de la industria aeroespacial. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales resistentes a altas temperaturas (como cerámica o aleaciones de molibdeno) para formar sistemas compuestos resistentes al calor, optimizando aún más la resistencia térmica y la distribución del peso de la tobera.

### 6.3.2.2 Discos resistentes al calor para sistemas de propulsión de transbordadores espaciales

Los discos de aleación de tungsteno desempeñan un papel fundamental en la aplicación de discos resistentes al calor en los sistemas de propulsión de transbordadores espaciales. Se utilizan principalmente para proteger componentes críticos de gases a alta temperatura y choques térmicos, garantizando así la estabilidad y seguridad del sistema de propulsión durante operaciones de alta potencia. El sistema de propulsión del transbordador genera gases a alta temperatura y alta presión al quemar propelente, impulsar el transbordador a órbita o realizar ajustes orbitales. Estos sistemas generan temperaturas extremadamente altas y choques térmicos intensos durante su funcionamiento, lo que requiere materiales resistentes a altas temperaturas para mantener la integridad estructural y la fiabilidad funcional de los componentes críticos. Los discos de aleación de tungsteno, gracias a su alto punto de fusión y excelente resistencia al calor, mantienen la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura, previniendo fallos por estrés térmico o degradación del material. Su resistencia a la corrosión les permite soportar los gases corrosivos o los entornos oxidantes presentes en los sistemas de propulsión, prolongando así la vida útil de los componentes.

En los sistemas de propulsión de transbordadores espaciales, los discos de aleación de tungsteno se suelen procesar para obtener discos resistentes al calor, placas protectoras o revestimientos, que se instalan en zonas críticas de cámaras de combustión, toberas o intercambiadores de calor para resistir el impacto directo y la radiación térmica de gases a alta temperatura. Su alta conductividad térmica les permite disipar el calor rápidamente, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento localizado y protegiendo los componentes circundantes de daños térmicos. El acabado superficial liso de los discos de aleación de tungsteno y su alta precisión dimensional garantizan una adaptación precisa a otros componentes del sistema de propulsión, lo que favorece una guía eficiente del flujo de aire y un mayor empuje. Su resistencia mecánica les permite soportar las altas presiones, vibraciones y choques térmicos propios del funcionamiento del sistema de propulsión, garantizando así una fiabilidad operativa a largo plazo.

de tungsteno en los sistemas de propulsión de transbordadores espaciales también reflejan un enfoque en la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Su no toxicidad garantiza la ausencia de contaminación para los equipos y el medio ambiente durante la fabricación y la operación, cumpliendo

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con los altos estándares de la industria aeroespacial. Su reciclabilidad reduce el impacto ambiental de la producción y la eliminación, minimizando el desperdicio de recursos. Los discos de aleación de tungsteno se combinan a menudo con otros materiales resistentes a altas temperaturas para formar sistemas compuestos termorresistentes, optimizando aún más el rendimiento térmico y la distribución del peso del sistema de propulsión.



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

**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

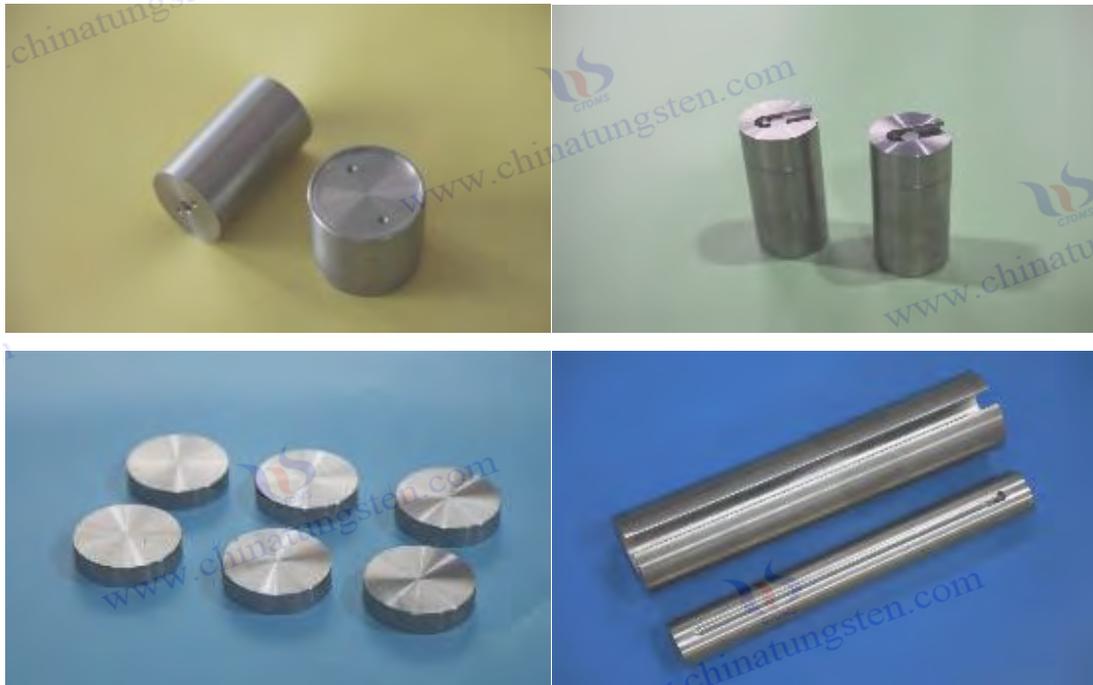
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 Almacenamiento, transporte y normas de los discos de aleación de tungsteno

de tungsteno tienen una amplia gama de aplicaciones en los sectores aeroespacial, médico, electrónico e industrial gracias a su alta densidad, excelentes propiedades mecánicas y resistencia a altas temperaturas. El almacenamiento y el transporte durante el proceso de producción y aplicación afectan directamente la calidad y la estabilidad del rendimiento de los discos. Para garantizar que los discos de aleación de tungsteno no se vean afectados por factores ambientales ni sufran daños físicos durante el almacenamiento y el transporte, se deben establecer normas y especificaciones estrictas, que incluyan las condiciones ambientales de almacenamiento, los métodos de embalaje y los requisitos de transporte. Estas medidas no solo protegen las propiedades físicas y químicas de los discos, sino que también prolongan su vida útil y reducen el desperdicio de material causado por un almacenamiento o transporte inadecuados. El respeto al medio ambiente y la reciclabilidad de los discos de aleación de tungsteno exigen prestar atención a la eficiencia en el uso de recursos y al control del impacto ambiental durante el almacenamiento y el transporte para cumplir con los requisitos de la industria moderna para el desarrollo sostenible.

### 7.1 Requisitos de almacenamiento para discos de aleación de tungsteno

Las obleas de aleación de tungsteno son un elemento clave para garantizar su rendimiento estable y una calidad impecable, lo cual está directamente relacionado con su fiabilidad en procesos o aplicaciones posteriores. Su alta densidad y dureza las hacen más sensibles a las condiciones ambientales, especialmente en entornos húmedos, corrosivos o de alta temperatura, propensas a la oxidación, la contaminación superficial o daños físicos. Por lo tanto, durante el almacenamiento, es necesario controlar estrictamente los parámetros ambientales y adoptar métodos de embalaje y apilado científicos para proteger la calidad de la superficie y la estabilidad del rendimiento de las obleas. Los requisitos de almacenamiento implican no solo el control de las condiciones ambientales, sino también un diseño de embalaje y especificaciones de apilado razonables para evitar que las obleas se deformen, se rayen o sufran cambios químicos durante el almacenamiento prolongado.

#### 7.1.1 Condiciones del entorno de almacenamiento (temperatura, humedad, etc.)

El entorno de almacenamiento de las obleas de aleación de tungsteno es un factor clave para garantizar la estabilidad de sus propiedades físicas y químicas. Esto implica un control estricto de parámetros como la temperatura, la humedad, el entorno gaseoso y la limpieza. Si bien las obleas de aleación de tungsteno presentan una excelente resistencia a la corrosión, la exposición prolongada a entornos con alta humedad o gases corrosivos puede causar oxidación o contaminación superficial, lo que afecta su conductividad eléctrica y térmica, así como su calidad superficial. Unas condiciones de almacenamiento adecuadas pueden prolongar eficazmente la vida útil de las obleas y mantener su alto rendimiento en aplicaciones como la aeroespacial, la médica y la electrónica.

Las condiciones de almacenamiento controladas están diseñadas para evitar que los discos de aleación de tungsteno sufran una degradación del rendimiento debido a factores ambientales como altas

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperaturas, alta humedad o gases corrosivos. Una temperatura y humedad adecuadas pueden reducir la oxidación superficial y las reacciones químicas, mientras que un entorno de almacenamiento limpio previene la contaminación por polvo o partículas, garantizando así el acabado superficial y la estabilidad del rendimiento del disco. Los discos de aleación de tungsteno se almacenan generalmente en un ambiente interior controlado, utilizando una manta de gas inerte o un desecante para minimizar aún más el impacto ambiental.

### 7.1.2 Especificaciones de embalaje y apilamiento

tungsteno son cruciales para su almacenamiento. Su objetivo es evitar daños físicos, rayones superficiales o deformaciones durante el almacenamiento y el transporte, garantizando así que su rendimiento y apariencia no se vean afectados. Su alta densidad y dureza los hacen sensibles al impacto mecánico y la fricción, lo que requiere un diseño de empaquetado y métodos de apilado científicos para proteger la calidad de su superficie y la precisión dimensional.

Especificaciones de embalaje y apilamiento: Proteja los discos de aleación de tungsteno de impactos mecánicos, vibraciones y fricción mediante materiales de amortiguación, separadores y contenedores de embalaje resistentes. Un diseño de apilamiento adecuado evita la deformación del disco y los daños superficiales causados por un apilamiento inadecuado, a la vez que optimiza el uso del espacio de almacenamiento. Los materiales de embalaje deben ser resistentes a la humedad, al polvo y antiestáticos para proteger aún más la estabilidad del rendimiento del disco.

Las especificaciones científicas de empaquetado y apilado permiten preservar eficazmente la calidad superficial y el rendimiento de las obleas de aleación de tungsteno, lo que las hace aptas para un almacenamiento de alta precisión y a largo plazo. Sin embargo, los materiales de empaquetado personalizados y las bandejas separadas incrementan los costos de producción, y las alturas de apilado limitadas pueden reducir el uso del espacio de almacenamiento. Además, un empaquetado inadecuado puede dañar las obleas, por lo que es necesario un estricto cumplimiento de estas especificaciones.

Para mejorar la eficiencia del envasado, se pueden utilizar equipos de envasado automatizados para reducir los errores manuales; se pueden diseñar bandejas de envasado reutilizables para reducir los costes y el impacto ambiental; y las disposiciones de apilamiento optimizadas, combinadas con materiales ligeros y de alta resistencia, pueden optimizar el uso del espacio. Los métodos de envasado y las especificaciones de apilamiento proporcionan garantías clave para el almacenamiento seguro de obleas de aleación de tungsteno, lo que promueve su aplicación fiable en los sectores aeroespacial, médico y electrónico.

### 7.2 Requisitos de transporte para discos de aleación de tungsteno

de tungsteno son cruciales para garantizar su calidad y rendimiento desde su producción hasta su uso. Debido a su alta densidad, dureza y sensibilidad a la calidad de la superficie, es fundamental contar con métodos de transporte científicos y medidas de protección para evitar arañazos, deformaciones o contaminación causadas por vibraciones, colisiones o factores ambientales. Los requisitos de transporte

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

no solo implican la selección del método adecuado, sino también el desarrollo de medidas de protección y normas de seguridad para garantizar la seguridad y fiabilidad de las obleas durante el transporte.

### 7.2.1 Selección del método de transporte

Elegir el método de transporte adecuado es crucial para garantizar que las obleas de aleación de tungsteno lleguen intactas y seguras a su destino. Su alta densidad y alto valor las hacen sensibles a vibraciones, impactos y cambios ambientales durante el transporte. Por lo tanto, el método de transporte adecuado debe seleccionarse en función de la distancia de transporte, las condiciones ambientales y los requisitos de la aplicación, garantizando así un equilibrio entre eficiencia y seguridad.

La elección del método de transporte se basa en las propiedades físicas de la oblea y los requisitos de la aplicación. El objetivo es optimizar las herramientas y rutas de transporte para minimizar las vibraciones, los impactos y el impacto ambiental, garantizando así un rendimiento estable de la oblea. Los métodos de transporte más comunes incluyen el transporte por carretera, ferrocarril, aire y mar. Cada método requiere un equilibrio entre la distancia de transporte, los requisitos de tiempo y las condiciones ambientales para garantizar la seguridad y la eficiencia del transporte de la oblea.

Para mejorar la eficiencia del transporte, se puede adoptar el transporte multimodal, combinando las ventajas del transporte por carretera, ferrocarril y aire; utilizando un sistema de seguimiento logístico para monitorear el estado del transporte en tiempo real; y colaborando con empresas de logística profesionales para personalizar los planes de transporte. La optimización científica de la selección del modo de transporte proporciona garantías fiables para el transporte seguro de obleas de aleación de tungsteno, especialmente bajo los estrictos requisitos de los sectores aeroespacial y médico.

### 7.2.2 Medidas de protección durante el transporte

Las medidas de protección durante el transporte son cruciales para garantizar que las obleas de aleación de tungsteno no sufran daños físicos ni se vean afectadas por el medio ambiente. Debido a su alta densidad y dureza, sus superficies se rayan fácilmente por colisiones o fricción. El embalaje científico y las medidas de protección son necesarios para reducir estos riesgos.

Las medidas de protección durante el transporte incluyen el uso de materiales de embalaje de alta resistencia, amortiguadores y medidas de control ambiental para proteger las obleas de aleación de tungsteno de vibraciones, impactos, humedad y fluctuaciones de temperatura. Estas medidas de protección deben combinarse con el método de transporte y las condiciones ambientales para optimizar el diseño del embalaje y los métodos de carga, garantizando así la calidad superficial y la estabilidad del rendimiento de la oblea.

### 7.2.3 Normas y etiquetas de seguridad para el transporte

Las normas de seguridad en el transporte y el etiquetado son cruciales para garantizar la seguridad y la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

trazabilidad de las obleas de aleación de tungsteno durante el transporte. Una normativa y un etiquetado claros reducen los riesgos durante el transporte y garantizan el cumplimiento normativo y el control de calidad. El alto valor y la alta precisión de las obleas de aleación de tungsteno requieren estrictas normas de seguridad durante el transporte para evitar pérdidas o daños.

Cumplimiento durante el transporte mediante procedimientos operativos establecidos y etiquetado estandarizado de embalajes. Estas regulaciones abarcan las operaciones de carga y descarga, los controles de las condiciones de transporte y las medidas de respuesta ante emergencias. El etiquetado proporciona información sobre las propiedades de las obleas, los requisitos de protección y las advertencias de seguridad, lo que facilita su correcta manipulación tanto por parte de los transportistas como de los destinatarios.

Para mejorar la seguridad y la eficiencia, se pueden utilizar etiquetas electrónicas (como RFID) para lograr un seguimiento en tiempo real durante el transporte; se pueden desarrollar regulaciones de transporte internacionales unificadas para simplificar los requisitos de etiquetado; y se puede fortalecer la capacitación del personal de transporte para garantizar el cumplimiento de las regulaciones. Las regulaciones de seguridad en el transporte y el etiquetado brindan garantías sistemáticas para el transporte seguro de obleas de aleación de tungsteno, promoviendo su aplicación confiable en los sectores aeroespacial, médico y electrónico.

### 7.3 Estándar de disco de aleación de tungsteno de China

Como el mayor productor y consumidor mundial de recursos de tungsteno, China ha desarrollado una serie de normas nacionales (GB/T) e industriales para obleas de aleación de tungsteno con el fin de regular su producción, control de calidad y aplicación. Estas normas, emitidas principalmente por la Administración de Normalización de China (SAC) y las asociaciones industriales pertinentes, garantizan la consistencia del rendimiento y la seguridad de las obleas de aleación de tungsteno en sectores como el aeroespacial, la electrónica y la medicina.

#### Descripción general estándar :

Las normas chinas para obleas de aleación de tungsteno abarcan principalmente la composición del material, las propiedades mecánicas, la precisión dimensional, la calidad de la superficie y los métodos de prueba, y son aplicables a la producción y aplicación de obleas de aleación de tungsteno (como las de tungsteno-níquel-hierro, tungsteno-cobre, etc.). Las normas comunes incluyen:

- GB/T 3875-2017 Placas de tungsteno y aleaciones de tungsteno: Aunque está dirigida principalmente a placas, sus regulaciones son aplicables a las materias primas para el procesamiento de obleas. Especifica la composición química (p. ej., contenido de tungsteno  $\geq 90\%$ ), la densidad ( $17-18,5 \text{ g/cm}^3$ ), la dureza ( $HB \geq 250$ ) y los requisitos de calidad superficial ( $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ ) de las aleaciones de tungsteno.
- GB/T 3459-2006 Especificaciones Técnicas Generales para Productos de Tungsteno y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aleaciones de Tungsteno : Especifica el proceso de fabricación, la tolerancia dimensional ( $\pm 0,01$  mm), el tratamiento superficial y los métodos de inspección de calidad para productos de aleaciones de tungsteno. Es aplicable al corte, rectificado y tratamiento superficial de obleas.

- YS/T 659-2007 Materiales de Procesamiento de Tungsteno y Aleaciones de Tungsteno : Esta norma especifica los métodos de ensayo para la precisión dimensional, el acabado superficial y las propiedades mecánicas de los productos procesados con aleaciones de tungsteno. Es adecuada para aplicaciones electrónicas y aeroespaciales.

#### Requisitos clave :

- **Composición química** : El contenido de tungsteno suele estar entre el 90% y el 97%, complementado con elementos como níquel, cobre o hierro para garantizar una alta densidad y resistencia mecánica.
- **Precisión dimensional** : tolerancia del diámetro de la oblea  $\leq \pm 0,01$  mm, tolerancia de espesor  $\leq \pm 0,005$  mm, cumpliendo con los requisitos de aplicación de alta precisión.
- **Calidad de la superficie** : rugosidad superficial  $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$ , sin grietas ni marcas de oxidación, lo que garantiza la conductividad eléctrica y térmica.
- **Método de prueba** : La espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) se utiliza para analizar la composición, se utiliza un durómetro para probar la dureza y se utiliza un perfilómetro para probar la rugosidad de la superficie para cumplir con los requisitos de calidad de las industrias aeroespacial y electrónica.
- **Requisitos de protección ambiental** : La norma exige que el proceso de producción reduzca las emisiones de residuos, fomente el uso de materiales reciclables y cumpla con las regulaciones ambientales.

#### 7.4 Normas internacionales para discos de aleación de tungsteno

Las normas internacionales para discos de aleación de tungsteno, desarrolladas principalmente por organizaciones como la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Sociedad para Pruebas y Materiales (ASTM), tienen como objetivo proporcionar especificaciones técnicas unificadas para la producción, las pruebas y la aplicación de discos de aleación de tungsteno en todo el mundo. Estas normas se utilizan ampliamente en los sectores aeroespacial, electrónico y médico, garantizando la consistencia y la fiabilidad de los discos de aleación de tungsteno en toda la cadena de suministro global.

#### Descripción general estándar :

Las normas internacionales abarcan principalmente las propiedades de los materiales, los requisitos de procesamiento y los métodos de inspección de calidad de las obleas de aleación de tungsteno, y son aplicables a la producción y aplicación de aleaciones basadas en tungsteno (como las de tungsteno-níquel-hierro y tungsteno-cobre). Entre las normas más utilizadas se incluyen:

- **Aleación de tungsteno de alta densidad ASTM B777-15** : esta norma especifica la composición química (por ejemplo, contenido de tungsteno 90%-97%), la densidad (16,5-19

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

g/cm<sup>3</sup>), las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción  $\geq 600$  MPa) y los requisitos de procesamiento para discos de aleación de tungsteno adecuados para aplicaciones aeroespaciales y electrónicas.

- **ISO 28319:2010 Productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno** : Especifica el proceso de fabricación, la tolerancia dimensional ( $\pm 0,01$  mm) y la calidad superficial ( $R_a \leq 0,4$   $\mu\text{m}$ ) de los productos de aleaciones de tungsteno. Es adecuada para el corte, el rectificado y el tratamiento superficial de obleas.
- **Métodos de prueba ASTM E696-07 para tungsteno y aleaciones de tungsteno** : proporciona análisis de composición química, pruebas de dureza y examen microestructural de discos de aleación de tungsteno para garantizar un rendimiento constante.

#### Requisitos clave :

- **Composición química** : 90%-97% de tungsteno, complementado con elementos como níquel, cobre o hierro para garantizar una alta densidad y resistencia a la corrosión.
- **Precisión dimensional** : tolerancia de diámetro y espesor  $\leq \pm 0,01$  mm, paralelismo  $\leq 0,005$  mm, cumpliendo con los requisitos de aplicación de alta precisión.
- **Calidad de la superficie** : rugosidad superficial  $R_a \leq 0,4$   $\mu\text{m}$ , sin rayones, grietas ni óxidos, lo que garantiza la conductividad y la resistencia al desgaste.
- **Método de prueba** : Utilice un analizador de espectro para detectar la composición, un probador de dureza Brinell para probar la dureza y una máquina de medición de tres coordenadas para verificar la precisión dimensional para garantizar el cumplimiento de los requisitos de la industria aeroespacial y electrónica.
- **Protección y seguridad del medio ambiente** : La norma exige que el proceso de producción reduzca la emisión de sustancias nocivas y el embalaje debe cumplir con las regulaciones de transporte internacional (como IATA) para garantizar la seguridad y la reciclabilidad.

#### 7.5 Estándares de discos de aleación de tungsteno en Europa, América, Japón, Corea del Sur, etc.

Países como Europa, EE. UU., Japón y Corea del Sur han desarrollado sus propios estándares para las obleas de aleación de tungsteno, regulando su producción y aplicación según sus respectivas necesidades industriales y normativas ambientales. Estos estándares son similares en cuanto a las propiedades de los materiales, la tecnología de procesamiento y las pruebas de calidad, pero difieren según las áreas de aplicación y los requisitos regulatorios.

#### Descripción general estándar :

- **A NOSOTROS** :
  - **Aleación de tungsteno de alta densidad ASTM B777-15** : Aplicable a obleas de aleaciones de tungsteno-níquel-hierro y tungsteno-cobre. Composición química especificada (90 %-97 % tungsteno), densidad (17-18,5 g/cm<sup>3</sup>), resistencia a la tracción ( $\geq 600$  MPa) y calidad superficial ( $R_a \leq 0,4$   $\mu\text{m}$ ). Ampliamente utilizada en contrapesos aeroespaciales y componentes electrónicos de refrigeración.
  - **Estándar militar de aleación de tungsteno MIL-T-21014D** : destinado a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aplicaciones militares, especifica tolerancias dimensionales de mayor precisión ( $\pm 0,005$  mm) y resistencia a la radiación, lo que lo hace adecuado para blindaje de reactores nucleares y contrapesos militares.

- **Europa :**
  - **EN ISO 28319:2010 Productos de tungsteno y aleaciones de tungsteno :** Especifica la composición, las propiedades mecánicas y los requisitos de procesamiento de los discos de aleaciones de tungsteno. Es adecuada para los sectores de la electrónica y la aeroespacial, priorizando la protección ambiental y la reciclabilidad.
  - **EN 10204:2004 Documentos de inspección de productos metálicos :** Requiere un informe de prueba de material (MTR) para discos de aleación de tungsteno, que incluya la composición, la dureza y los resultados de las pruebas dimensionales, para garantizar la trazabilidad de la calidad.
- **Japón :**
  - **JIS H 4463:2006 Productos de tungsteno y aleación de tungsteno :** especifica la composición química (tungsteno  $\geq 90$  %), densidad ( $17-19$  g/cm<sup>3</sup>) y calidad de la superficie ( $Ra \leq 0,3$   $\mu$ m) de discos de aleación de tungsteno adecuados para aplicaciones de semiconductores y maquinaria de precisión.
  - **Métodos de prueba de aleación de tungsteno JIS Z 8801:2011 :** proporciona análisis de composición, pruebas de dureza y métodos de prueba de microestructura para garantizar un rendimiento constante de las obleas.
- **Corea del Sur :**
  - **KS D 9501:2018 Tungsteno y aleaciones de tungsteno :** especifica la composición química, las propiedades mecánicas y los requisitos de procesamiento de las obleas de aleación de tungsteno, adecuadas para equipos electrónicos y de comunicación, haciendo hincapié en la alta conductividad térmica y el acabado de la superficie ( $Ra \leq 0,4$   $\mu$ m).
  - **Métodos de prueba de aleación de tungsteno KS D 9502:2018 :** proporciona especificaciones de pruebas de composición, precisión dimensional y calidad de superficie para garantizar el cumplimiento de los requisitos de aplicación de alta precisión.

#### Requisitos clave :

- **Composición química :** Todas las normas nacionales exigen un contenido de tungsteno  $\geq 90\%$ , complementado con níquel, cobre o hierro. Algunas normas (como la MIL-T-21014D) exigen un control de impurezas más estricto.
- **Precisión dimensional :** El rango de tolerancia suele ser de  $\pm 0,005$  mm a  $\pm 0,01$  mm, y las normas europeas y japonesas tienen requisitos más elevados para el acabado de la superficie ( $Ra \leq 0,3$   $\mu$ m).
- **Método de prueba :** utilice XRF, probador de dureza, máquina de medición de tres coordenadas y otros equipos para garantizar que la composición, las propiedades mecánicas y la precisión dimensional cumplan con los estándares.
- **Protección del medio ambiente y seguridad :** las normas europeas y estadounidenses enfatizan

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la producción respetuosa con el medio ambiente y la reciclabilidad, mientras que las normas japonesas y coreanas se centran en la compatibilidad con salas limpias y el embalaje debe cumplir con las regulaciones de transporte internacionales.



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

apéndice

Terminología de los discos de aleación de tungsteno

categoria	el término	definición	Antecedentes de la aplicación
Propiedades del material	Aleación de tungsteno	Material compuesto compuesto principalmente de tungsteno (W) (90-97 %) con elementos añadidos como níquel, hierro, cobre o plata mediante pulvimetalurgia. Presenta alta densidad, alta resistencia mecánica y alta resistencia a la temperatura.	Contrapesos aeroespaciales, blindaje radiológico médico, componentes electrónicos conductores térmicos.
	densidad	Masa por unidad de volumen, típicamente 17-18,5 g/cm <sup>3</sup> .	Aplicaciones de contrapeso y blindaje, como contrapesos de satélite y equipos de radioterapia.
	dureza	La capacidad de resistir deformaciones o rayones causados por fuerzas externas, típicamente $\geq 300$ HV.	Escenarios de resistencia al desgaste y al impacto para envases electrónicos y componentes mecánicos.
	Conductividad térmica	La capacidad de conducción de calor de la aleación de cobre y tungsteno es de aproximadamente 150-200 W/m·K.	Gestión térmica en la fabricación de chips y embalajes electrónicos.
	Conductividad eléctrica	La capacidad de conducir corriente de la aleación de cobre y tungsteno es de aproximadamente 30%-50% IACS.	Electrodos y conectores electrónicos de dispositivos de alta frecuencia.
Proceso de producción	Metalurgia de polvos	El polvo de tungsteno se mezcla con otros polvos metálicos, se prensa y se sinteriza para producir discos.	Proceso de formación de discos de aleación de tungsteno.
	Sinterización en fase líquida	El metal de bajo punto de fusión se funde, promoviendo la unión de las partículas de tungsteno y aumentando la densidad y la resistencia.	Las obleas se sinterizan para garantizar que la densidad sea $\geq 95\%$ de la densidad teórica.
	Corte y rectificado	El exceso de material se elimina mediante torneado, fresado y rectificado para lograr las dimensiones y la calidad de superficie deseadas.	Mecanizado de precisión de obleas, error dimensional $\leq 0,01$ mm, Ra $\leq 0,4$ $\mu$ m.
	Tratamiento de superficies	Mejore el acabado de la superficie, la resistencia a la corrosión y la funcionalidad mediante pulido, enchapado electrolítico o PVD.	Mejorar la conductividad eléctrica y la resistencia al desgaste, como los discos de disipación de calor electrónicos.
	Prensado isostático	El polvo se prensa en tochos utilizando una presión alta y uniforme para garantizar una densidad uniforme.	El disco se prensa para reducir la porosidad interna.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Control de calidad	Precisión dimensional	Las dimensiones deben cumplir con las especificaciones de diseño con una tolerancia de $\leq \pm 0,01$ mm.	Inspeccione el diámetro, el espesor y el paralelismo para cumplir con los requisitos aeroespaciales y electrónicos.
	rugosidad de la superficie	Microrrugosidad superficial, $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$ .	La inspección con perfilómetro garantiza una superficie lisa.
	Pruebas no destructivas	Inspección no destructiva de obleas para detectar defectos internos, como la inspección por rayos X o la inspección ultrasónica.	Compruebe si hay porosidad interna, grietas o segregación.
	Análisis de la composición química	La composición elemental se determinó mediante XRF o ICP-MS.	Asegúrese de que el contenido de tungsteno sea $\geq 90\%$ y controle las impurezas.
	Trazabilidad de la calidad	Registrar datos de producción, procesamiento y pruebas para garantizar la trazabilidad de la calidad.	Control de calidad en los campos aeroespacial y médico.
Almacenamiento y transporte	Temperatura y humedad constantes	Mantener la temperatura entre $15-25^{\circ}\text{C}$ y la humedad $\leq 40\%$ para evitar oxidación o contaminación.	Almacenamiento de obleas para garantizar la calidad y el rendimiento de la superficie.
	embalaje antiestático	Utilice materiales antiestáticos para evitar la acumulación de electricidad estática.	Transporte y almacenamiento en los sectores de electrónica y semiconductores.
	amortiguador	Utilice material de amortiguación o bandejas amortiguadoras para reducir las vibraciones y los golpes.	Proteja las obleas de alta densidad contra arañazos o deformaciones.
	Sello a prueba de humedad	Utilice tiras de sellado a prueba de humedad o desecante para evitar que la humedad penetre.	Transporte de larga distancia o transporte marítimo para proteger la calidad de la superficie.
	Etiqueta de transporte	Marca información del producto, a prueba de humedad, a prueba de golpes y requisitos de funcionamiento.	Orientar al personal de transporte para cumplir con las regulaciones internacionales de transporte.
Normas y aplicaciones	ASTM B777	Una norma estadounidense que especifica la composición, densidad y propiedades mecánicas de las aleaciones de tungsteno de alta densidad.	Contrapesos aeroespaciales, blindaje radiológico médico.
	blindaje contra la radiación	Utilice alta densidad y alto número atómico para bloquear los rayos gamma o rayos X.	Equipos de radioterapia médica y equipos de medicina nuclear.
	contrapeso	Utiliza alta densidad para optimizar la distribución del peso y mantener el equilibrio dinámico.	Aeroespacial (control de actitud de satélite), imágenes médicas (máquina de TC).

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Referencias

### Referencias chinas

- [1] GB/T 3875-2017, Placas de tungsteno y aleación de tungsteno, Administración de Normalización de la República Popular China, 2017.
- [2] GB/T 3459-2006, Requisitos técnicos generales para productos de tungsteno y aleación de tungsteno, Administración de Normalización de la República Popular China, 2006.
- [3] YS/T 659-2007, Materiales procesados de tungsteno y aleación de tungsteno, Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China, 2007.

### Referencias en inglés

- [1] ASTM B777-15, Especificación estándar para base de tungsteno, metal de alta densidad, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2015.
- [2] ISO 28319:2010, Odontología - Soldadura láser y materiales de relleno, Organización Internacional de Normalización, 2010.
- [3] ASTM E696-07, Especificación estándar para alambre de termopar de aleación de tungsteno-renio, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2007.
- [4] JIS H 4463:2006, Productos de tungsteno y aleación de tungsteno, Normas industriales japonesas, 2006.
- [5] KS D 9501:2018, Tungsteno y aleaciones de tungsteno, Normas industriales coreanas, 2018.
- [6] KS D 9502:2018, Métodos de prueba para tungsteno y aleaciones de tungsteno, Normas industriales coreanas, 2018.
- [7] EN 10204:2004, Productos metálicos: tipos de documentos de inspección, Comité Europeo de Normalización, 2004.



CTIA GROUP LTD Oblea de aleación de tungsteno

#### 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)