

Qué es la lámina de molibdeno

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

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
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 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

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

Contenido

Capítulo 1 Descripción general de las láminas de molibdeno

- 1.1 Definición de lámina de molibdeno
- 1.2 Especificaciones de las láminas de molibdeno
- 1.3 Características de las láminas de molibdeno
 - 1.3.1 Características de apariencia de las láminas de molibdeno
 - 1.3.1.1 Apariencia y causa de la lámina de molibdeno negro-marrón
 - 1.3.1.2 Brillo gris plateado y principio de tratamiento de las láminas de molibdeno después del lavado con álcali
 - 1.3.1.3 Planitud de la lámina de molibdeno

Capítulo 2 Rendimiento de las láminas de molibdeno

- 2.1 Propiedades físicas de las láminas de molibdeno
 - 2.1.1 Densidad de las láminas de molibdeno
 - 2.1.2 Punto de fusión de la lámina de molibdeno
 - 2.1.3 Punto de ebullición de la lámina de molibdeno
 - 2.1.4 Conductividad de las láminas de molibdeno
 - 2.1.5 Conductividad térmica de las láminas de molibdeno
 - 2.1.6 Coeficiente de dilatación térmica de la lámina de molibdeno
- 2.2 Propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno
 - 2.2.1 Alta resistencia de la lámina de molibdeno
 - 2.2.2 Ductilidad de las láminas de molibdeno
 - 2.2.3 Resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno a altas temperaturas
 - 2.2.4 Dureza de las láminas de molibdeno
 - 2.2.5 Tenacidad de las láminas de molibdeno
 - 2.2.6 Resistencia a la fatiga de las láminas de molibdeno
- 2.3 Propiedades químicas de las láminas de molibdeno
 - 2.3.1 Resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno
 - 2.3.2 Resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno
- 2.4 CTIA GROUP LTD Hoja de molibdeno MSDS

Capítulo 3 Clasificación de las láminas de molibdeno

- 3.1 Clasificación de las láminas de molibdeno por pureza
 - 3.1.1 Láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$ de pureza)
 - 3.1.2 Láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99% - 99,9% de pureza)
- 3.2 Clasificación de las láminas de molibdeno según el proceso de fabricación
 - 3.2.1 Láminas de molibdeno fabricadas por pulvimetalurgia
 - 3.2.2 Hojas de molibdeno laminadas en caliente fabricadas por proceso de laminación
 - 3.2.3 Láminas de molibdeno laminadas en frío fabricadas por laminación
- 3.3 Clasificación de las láminas de molibdeno según los campos de aplicación
 - 3.3.1 Láminas de molibdeno utilizadas en el campo electrónico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3.2 Láminas de molibdeno utilizadas en la industria metalúrgica
- 3.3.3 Láminas de molibdeno utilizadas en la industria química
- 3.3.4 Láminas de molibdeno utilizadas en el sector aeroespacial
- 3.3.5 Láminas de molibdeno utilizadas en otros campos

Capítulo 4 Proceso de producción y preparación de láminas de molibdeno

- 4.1 Preparación de las materias primas antes de la producción de láminas de molibdeno
 - 4.1.1 Tipos y características del mineral de molibdeno
 - 4.1.1.1 Características y distribución de la molibdenita
 - 4.1.2 Métodos de extracción y beneficio del mineral de molibdeno
 - 4.1.2.1 Proceso de extracción a cielo abierto de mineral de molibdeno y puntos clave
 - 4.1.2.2 Métodos de extracción subterránea de mineral de molibdeno
 - 4.1.2.3 Principios y procesos del método de flotación para el mineral de molibdeno
 - 4.1.2.4 Principios y procesos del método de separación por gravedad para el mineral de molibdeno
 - 4.1.2.5 Principios y procesos de separación magnética del mineral de molibdeno
 - 4.1.3 Refinación y conversión de concentrado de molibdeno
 - 4.1.3.1 Tostado oxidativo-proceso de refinado de lixiviación de amoníaco del concentrado de molibdeno
 - 4.1.3.2 Proceso de refinado de tostación oxidativa por lixiviación ácida del concentrado de molibdeno
 - 4.1.3.3 Preparación de polvo de molibdeno a partir de extractos de concentrado de molibdeno
 - 4.2 Proceso de moldeo de lámina de molibdeno
 - 4.2.1 Preparación de láminas de molibdeno por pulvimetalurgia
 - 4.2.2 Preparación de la lámina de molibdeno mediante proceso de laminación
 - 4.2.2.1 Preparación de láminas de molibdeno mediante proceso de laminación en caliente
 - 4.2.2.2 Preparación de láminas de molibdeno mediante proceso de laminación en frío

Capítulo 5 Equipos de producción y ensayos de rendimiento de láminas de molibdeno

- 5.1 Equipo de minería para mineral de molibdeno
 - 5.1.1 Equipos de minería a cielo abierto para mineral de molibdeno
 - 5.1.2 Equipos de minería subterránea para mineral de molibdeno
- 5.2 Equipos de procesamiento de mineral de molibdeno
 - 5.2.1 Equipo de trituración de mineral de molibdeno
 - 5.2.2 Equipo de molienda para mineral de molibdeno
 - 5.2.3 Equipos de clasificación para mineral de molibdeno
 - 5.2.4 Equipo de flotación para mineral de molibdeno
- 5.3 Equipo de moldeo para láminas de molibdeno
 - 5.3.1 Equipo de pulvimetalurgia para láminas de molibdeno
 - 5.3.1.1 Equipos de prensado de polvo para láminas de molibdeno
 - 5.3.1.2 Equipos de sinterización de láminas de molibdeno
 - 5.3.2 Equipos de laminación de láminas de molibdeno
 - 5.3.2.1 Trenes de laminación en caliente de chapas de molibdeno
 - 5.3.2.2 Tren de laminación en frío para chapas de molibdeno
- 5.4 Equipo de prueba de rendimiento para láminas de molibdeno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.4.1 Equipo de medición de densidad para láminas de molibdeno
- 5.4.2 Equipo de ensayo de punto de fusión para láminas de molibdeno
- 5.4.3 Equipo de ensayo de conductividad para láminas de molibdeno
- 5.4.4 Equipo de ensayo de conductividad térmica para láminas de molibdeno
- 5.5 Equipo de prueba de propiedades mecánicas de láminas de molibdeno
- 5.5.1 Máquina de prueba de materiales universal para probar las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno
- 5.5.2 El durómetro prueba las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno
- 5.5.3 Máquina de ensayo de impacto para comprobar las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno

Capítulo 6 Métodos de ensayo para el rendimiento de las láminas de molibdeno

- 6.1 Método de ensayo para la densidad de la lámina de molibdeno
- 6.2 Método de prueba para el punto de fusión de la lámina de molibdeno
- 6.3 Métodos de ensayo para la estabilidad térmica de las láminas de molibdeno
- 6.4 Método de prueba para la conductividad de la lámina de molibdeno
- 6.5 Método de ensayo para la conductividad térmica de la lámina de molibdeno
- 6.6 Método de ensayo para el coeficiente de expansión térmica de la lámina de molibdeno
- 6.7 Método de prueba para la resistencia de la lámina de molibdeno
- 6.8 Método de prueba para la dureza de la lámina de molibdeno
- 6.9 Métodos de ensayo para la tenacidad de las láminas de molibdeno
- 6.10 Método de ensayo para la ductilidad de las láminas de molibdeno
- 6.11 Métodos de ensayo para determinar las propiedades de fatiga de las láminas de molibdeno
- 6.12 Método de ensayo para la resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno
- 6.13 Métodos de ensayo para la resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno

Capítulo 7 Campos de aplicación de las láminas de molibdeno

- 7.1 Aplicación de la lámina de molibdeno en el ámbito de la información electrónica
- 7.1.1 Aplicación de láminas de molibdeno en semiconductores
- 7.1.2 Aplicación de lámina de molibdeno en materiales de electrodos
- 7.1.3 Aplicación de lámina de molibdeno en el marco de plomo
- 7.2 Aplicación de láminas de molibdeno en horno de crecimiento de cristal de zafiro
- 7.2.1 Pantalla reflectante en el horno de crecimiento de cristal de zafiro para la producción de láminas de molibdeno
- 7.2.2 Láminas de molibdeno para la producción de cubiertas de hornos de crecimiento de cristal de zafiro
- 7.3 Aplicación de láminas de molibdeno en hornos de vacío
- 7.3.1 Pantallas reflectantes en hornos de vacío para la producción de láminas de molibdeno
- 7.3.2 Calor en el horno de vacío para la producción de láminas de molibdeno
- 7.3.3 Conectores en hornos de vacío para la producción de láminas de molibdeno
- 7.4 Aplicación de lámina de molibdeno en recubrimiento por plasma
- 7.4.1 Lámina de molibdeno como objetivo de pulverización catódica para el recubrimiento por plasma
- 7.5 Aplicación de la lámina de molibdeno en la industria metalúrgica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 7.5.1 Aplicación de láminas de molibdeno como aditivos en la fabricación de acero
- 7.6 Aplicación de lámina de molibdeno en la estructura de un horno de alta temperatura
 - 7.6.1 Aplicación de lámina de molibdeno en el escudo térmico
 - 7.6.2 Aplicación de lámina de molibdeno en el elemento calefactor
- 7.7 Aplicación de lámina de molibdeno en la anticorrosión de equipos químicos
 - 7.7.1 Aplicación de lámina de molibdeno en el revestimiento del reactor
 - 7.7.2 Aplicación de lámina de molibdeno en componentes de tuberías
- 7.8 Aplicación de láminas de molibdeno en componentes satélite
 - 7.8.1 Aplicación de lámina de molibdeno en componentes de antena
 - 7.8.2 Aplicación de lámina de molibdeno en el radiador del sistema de control térmico

Capítulo 8 Problemas de seguridad y protección del medio ambiente en la producción de láminas de molibdeno

- 8.1 Cuestiones de seguridad en la producción de láminas de molibdeno
- 8.2 Problemas ambientales en la producción de láminas de molibdeno

Capítulo 9 Normas nacionales y extranjeras para láminas de molibdeno

- 9.1 Estándar nacional chino para láminas de molibdeno
- 9.2 Normas internacionales para láminas de molibdeno
- 9.3 Estándares de láminas de molibdeno en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países del mundo

Capítulo 10 Hoja de molibdeno Datos y cifras

- 10.1 ¿Cuáles son los principales datos de los comprimidos de molibdeno?
- 10.2 Todos los datos de las láminas de molibdeno (especificaciones de rendimiento, producción y aplicación)

Apéndice: Glosario multilingüe de chips de molibdeno (chino, inglés, japonés, coreano)

Referencias

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

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

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

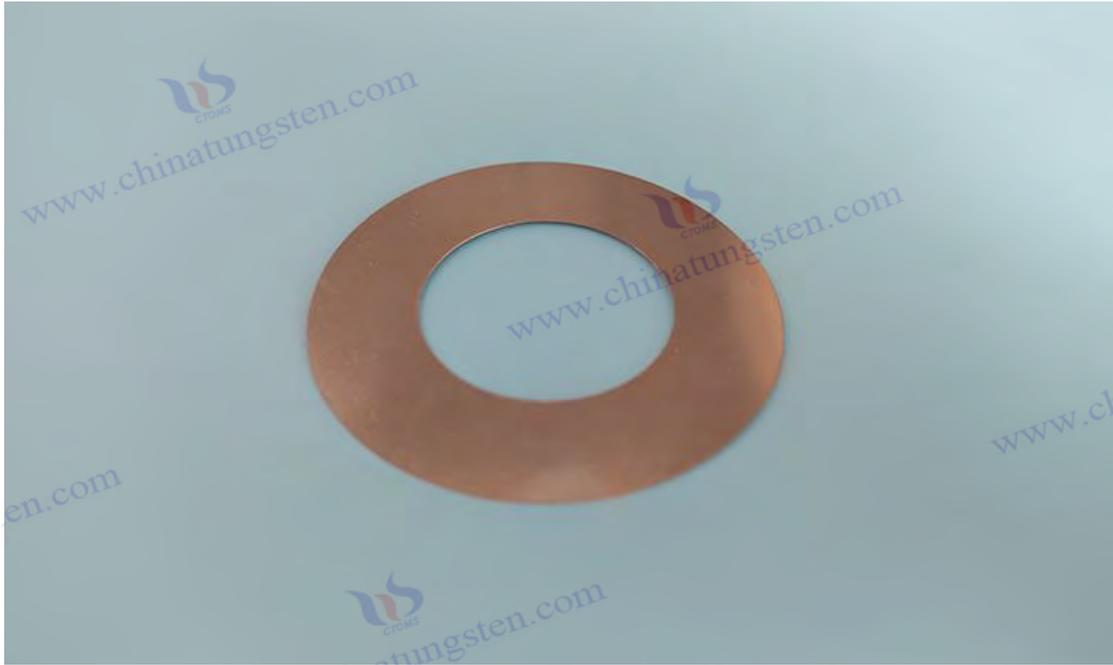


Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 1 Descripción general de las tabletas de molibdeno

1.1 Definición de lámina de molibdeno

La lámina de molibdeno es un material de lámina delgada hecho de metal de molibdeno de alta pureza (la pureza generalmente alcanza más del 99.95%) a través de procesos como pulvimetalurgia, laminación o forja, y su apariencia muestra un brillo metálico gris plateado. El molibdeno (símbolo químico Mo, número atómico 42) es un metal de transición raro que ocupa una posición importante en la industria y la ciencia y la tecnología debido a sus propiedades físicas y químicas únicas. Como forma de procesamiento de metal de molibdeno, la lámina de molibdeno generalmente se presenta en espesores extremadamente delgados (que van desde 0,01 mm a 3 mm) y se usa ampliamente en la industria aeroespacial, electrónica, energía nuclear, equipos médicos y estufas de alta temperatura. Su alto punto de fusión (aprox. 2620 °C) y su alta resistencia lo hacen excelente en entornos extremos, especialmente en escenarios que requieren resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión. El proceso de fabricación de láminas de molibdeno generalmente implica extraer molibdeno de la molibdenita (MoS_2) y luego pasar por múltiples procesos como sinterización, laminado en caliente, laminado en frío y recocido para hacer escamas delgadas con propiedades específicas. Este material no solo desempeña un papel importante en las industrias tradicionales, sino que también muestra un valor insustituible en campos tecnológicos emergentes, como la fabricación de semiconductores y equipos de nueva energía.

1.2 Especificaciones de las láminas de molibdeno

La siguiente es una tabla que detalla las especificaciones comunes de las láminas de molibdeno, el espesor de cobertura, el ancho, la longitud, el tipo de tratamiento de la superficie y los indicadores de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rendimiento relacionados para satisfacer las necesidades de diferentes escenarios industriales:

parámetro	Rango de especificaciones	de comentario
espesor	0,01 mm - 3 mm	Las láminas ultrafinas (0,01-0,1 mm) se utilizan para los componentes electrónicos de alta precisión, mientras que las láminas más gruesas (>1 mm) se utilizan para las piezas estructurales
Ancho	50 mm - 600 mm	Se puede personalizar de acuerdo con las necesidades del cliente, y algunas láminas anchas de molibdeno requieren un equipo rodante especial
largura	Longitudes personalizadas o formas de rollo	La forma de bobina se utiliza para la producción continua y la longitud de corte depende de la aplicación
Tratamiento superficial	Pulido, decapado, arenado	El lado pulido es adecuado para semiconductores, el lado decapado se usa en un entorno de vacío y el lado pulido con chorro de arena mejora la adherencia
Tolerancias de espesor	$\pm 0,005$ mm - ± 02 mm	Cumple con la norma ASTM B386, dependiendo del espesor
Pureza del material	$\geq 99,95\%$	Las láminas de molibdeno de alta pureza se pueden dopar con lantano, titanio y otros elementos (como aleaciones TZM) para mejorar el rendimiento
Estado recocido	Recocido de alivio de tensión, recocido completo	La temperatura de recocido es de 1100-1300 °C, lo que mejora la ductilidad y reduce la fragilidad
Rugosidad de la superficie	Ra 0,8 μ m - Ra 3,2 μ m	La rugosidad de la superficie pulida es la más baja y la rugosidad de la superficie arenada es mayor

En el mercado, los productos de marca como la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD siguen estrictamente el estándar ASTM B386, la tolerancia de espesor se puede controlar dentro de ± 0.005 mm y el valor Ra de rugosidad de la superficie es tan bajo como 0.4 micras, lo que cumple con los estrictos requisitos de las aplicaciones de gama alta.

Las especificaciones de la lámina de molibdeno también se pueden optimizar según la composición de la aleación (por ejemplo, aleación de molibdeno TZM) o elementos dopados (por ejemplo, lantano o titanio) para satisfacer las necesidades especiales de sectores como la aeroespacial, la industria nuclear o la fabricación de semiconductores. Por ejemplo, la lámina de aleación de molibdeno TZM es superior a la lámina de molibdeno puro en términos de resistencia a altas temperaturas y resistencia a la fluencia, y es adecuada para entornos de temperatura más alta (por encima de 1500 °C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3 Características de las láminas de molibdeno

La lámina de molibdeno se destaca entre muchos materiales de alto rendimiento debido a sus propiedades únicas. En primer lugar, la lámina de molibdeno tiene un punto de fusión extremadamente alto (2620 °C), solo superado por el tungsteno, el renio y otros metales, por lo que aún puede mantener una excelente resistencia mecánica en entornos de alta temperatura, como una resistencia a la tracción de más de 700MPa a 1200 °C. En segundo lugar, las láminas de molibdeno tienen un bajo coeficiente de expansión térmica (alrededor de $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), que coincide con el coeficiente de expansión térmica de muchos materiales cerámicos y sustratos semiconductores, lo que los convierte en aplicaciones importantes en recubrimientos de barrera térmica y envases electrónicos. Además, las láminas de molibdeno tienen una excelente conductividad térmica (conductividad térmica de aproximadamente 138 W/m·K) y pueden disipar el calor de manera efectiva, lo que las hace adecuadas para el blindaje térmico de estufas de alta temperatura o sustratos de disipación de calor para dispositivos electrónicos. Sin embargo, las láminas de molibdeno son frágiles a temperatura ambiente y su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo las limita en ductilidad a bajas temperaturas, pero cuando se calientan a la temperatura de recristalización (1000-1200 °C), la ductilidad mejora significativamente, lo cual es conveniente para el procesamiento posterior. Las láminas de molibdeno también exhiben una excelente resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes ácidos y atmósferas no oxidantes, pero son propensas a la formación de óxidos volátiles (por ejemplo, MoO_3) en atmósferas oxidantes, por lo que a menudo se usan al vacío o bajo protección de gas inerte. Además, las láminas de molibdeno tienen una alta conductividad eléctrica (resistividad de aproximadamente $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), por lo que puede utilizarse como material de electrodo u objetivo en la industria electrónica. En general, las láminas de molibdeno tienen alta resistencia, resistencia a altas temperaturas, baja expansión térmica y excelente conductividad térmica y eléctrica, lo que las convierte en materiales indispensables para la industria aeroespacial, nuclear y la fabricación de semiconductores.

1.3.1 Características de apariencia de las láminas de molibdeno

1.3.1.1 Apariencia y causa de la lámina de molibdeno negro-marrón

Las láminas de molibdeno sin tratar suelen tener un aspecto marrón negruzco durante la producción, una característica que se debe principalmente a la capa de óxido que se forma en su superficie. Durante el procesamiento de láminas de molibdeno, como el laminado o el recocido, cuando el metal de molibdeno se expone al aire, su superficie reacciona con el oxígeno para formar óxido de molibdeno (MoO_3 o MoO_2). Estos óxidos suelen ser de color negro-marrón o gris oscuro y cubren la superficie de la lámina de molibdeno, formando una película de óxido delgada y densa. La ocurrencia de reacciones de oxidación está estrechamente relacionada con la temperatura y la concentración de oxígeno en el entorno de procesamiento. Por ejemplo, en el proceso de recocido a altas temperaturas (800-1000 °C), las superficies de molibdeno son muy susceptibles a la oxidación si no están protegidas por vacío o gases inertes como el argón o el nitrógeno. Además, la apariencia negro-marrón de las láminas de molibdeno también puede verse afectada por los residuos de lubricante utilizados en el proceso de laminación o por las trazas de impurezas de la superficie. Estos lubricantes pueden carbonizarse a altas temperaturas,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

formando trazas de compuestos a base de carbono que oscurecen aún más el color de la superficie. Aunque la capa de óxido negro-marrón protege la lámina de molibdeno de una mayor corrosión hasta cierto punto, en aplicaciones de alta precisión como objetivos semiconductores o componentes electrónicos, esta capa de óxido a menudo debe eliminarse mediante un procesamiento posterior para garantizar la limpieza de la superficie y un rendimiento constante.

1.3.1.2 Brillo gris plateado y principio de tratamiento de las láminas de molibdeno después del lavado con álcali

A través del lavado cáustico, la superficie de la lámina de molibdeno puede adquirir el brillo metálico gris plateado característico, que no solo es una característica intrínseca del metal de molibdeno, sino también un reflejo de su alta pureza y limpieza de la superficie. El proceso de lavado cáustico suele utilizar una solución alcalina fuerte, como hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), para remojar las láminas de molibdeno a una temperatura específica (50-80 °C) para eliminar óxidos, grasas y residuos orgánicos de la superficie. El principio químico del lavado cáustico se basa en la reacción del óxido de molibdeno con una solución alcalina, por ejemplo, el MoO_3 reacciona con el NaOH para producir molibdato de sodio soluble (Na_2MoO_4), despegando así la capa de óxido de la superficie y revelando el verdadero color del metal de molibdeno. Además, los lavados cáusticos suelen ir seguidos de un proceso de enjuague y secado con agua desionizada para evitar la oxidación secundaria y garantizar que la superficie esté libre de productos químicos residuales. La rugosidad de la superficie de la lámina de molibdeno lavada cáustica puede ser tan baja como Ra 0,4 micras, mostrando un brillo gris plateado similar a un espejo, lo que no solo mejora la estética, sino que también mejora significativamente el rendimiento de la lámina de molibdeno en un entorno de vacío, como la reducción de la tasa de liberación de gas, y es adecuada para su uso en hornos de vacío u objetivos de pulverización catódica. El control preciso del proceso de lavado cáustico es particularmente importante para los productos de láminas de molibdeno de alta gama, como las láminas de molibdeno CTIA GROUP LTD, al optimizar el proceso de lavado cáustico para garantizar el acabado y la consistencia de la superficie, y cumplir con los requisitos de la norma ASTM B386 para láminas de molibdeno de alta precisión.

1.3.1.3 Planitud de la lámina de molibdeno

La planitud de las láminas de molibdeno es un indicador importante de sus características de apariencia y rendimiento de aplicación, especialmente en aplicaciones de alta precisión como la deposición de películas delgadas, empaques electrónicos y componentes mecánicos de precisión. La planitud generalmente se cuantifica por la ondulación de la superficie o la desviación de la planitud, y la desviación de la planitud de la lámina de molibdeno de alta calidad se puede controlar dentro de ± 0.01 mm / m. La planitud de una lámina de molibdeno se ve afectada por una variedad de factores, incluido el proceso de laminación, el tratamiento de recocido y el espesor del material. Las láminas de molibdeno ultrafinas (< 0,1 mm de grosor) son propensas a tensiones internas durante el proceso de laminación en frío, lo que da lugar a ligeras ondulaciones u ondulaciones de la superficie, por lo que se requiere un recocido preciso de alivio de tensiones (1100-1300 °C) para mejorar la estructura del grano y aliviar la tensión. Las láminas de molibdeno más gruesas (>1 mm) son relativamente fáciles de controlar debido a

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la alta rigidez del material, pero deben evitarse la deformación excesiva o el enfriamiento desigual durante el proceso de laminación. Los equipos de laminación de última generación y los procesos de recocido de varias pasadas pueden mejorar significativamente la planitud de la lámina de molibdeno, por ejemplo, controlando el gradiente de temperatura y la velocidad de enfriamiento a través de un horno de recocido al vacío, que minimiza la ondulación de la superficie de la lámina de molibdeno. Además, la planitud también está relacionada con el tratamiento de la superficie, y las láminas de molibdeno después del pulido o decapado suelen tener una mayor planitud debido a una distribución más uniforme de las tensiones superficiales. En la práctica, las láminas de molibdeno con alta planitud pueden garantizar un buen ajuste entre el objetivo y el sustrato durante la deposición de película delgada o reducir las concentraciones de estrés térmico en los envases electrónicos, prolongando así la vida útil de los componentes.

en.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 2 Rendimiento de las láminas de molibdeno

2.1 Propiedades físicas de las láminas de molibdeno

Las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD favorecidas por sus excelentes propiedades físicas, se utilizan en aplicaciones aeroespaciales, electrónicas y de alta temperatura, cubriendo propiedades clave como densidad, punto de fusión, punto de ebullición, conductividad eléctrica, conductividad térmica y coeficiente de expansión térmica. Estas propiedades se deben a la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del molibdeno y a la energía de enlace de la meseta, lo que hace que exhiba una excelente estabilidad y funcionalidad en entornos extremos. A continuación se discutirá en detalle el coeficiente de expansión térmica de la lámina de molibdeno, así como su alta resistencia, ductilidad y resistencia a la fluencia a alta temperatura en propiedades mecánicas, y se realizará un análisis en profundidad basado en datos profesionales y antecedentes del proceso para revelar su valor de aplicación en escenarios de alta precisión y alta temperatura.

2.1.1 Densidad de las láminas de molibdeno

La densidad de la lámina de molibdeno es un indicador importante de sus propiedades físicas, generalmente alrededor de $10,22 \text{ g/cm}^3$ (a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), ligeramente inferior a la del tungsteno ($19,25 \text{ g/cm}^3$) pero superior a la de muchos metales comunes como el hierro ($7,87 \text{ g/cm}^3$) o el aluminio ($2,70 \text{ g/cm}^3$). Este valor de densidad refleja la disposición atómica compacta del metal de molibdeno, lo que lo hace relativamente liviano y mantiene una alta resistencia, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren resistencia y peso, como el blindaje térmico para componentes aeroespaciales u hornos de alta temperatura. La densidad de una lámina de molibdeno se ve afectada por su pureza y trazas de elementos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dopados. Por ejemplo, la densidad de una lámina de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$) está cerca del valor teórico, mientras que una lámina de aleación de molibdeno TZM dopada con lantano o titanio puede tener un ligero cambio en la densidad (generalmente entre 10,16 y 10,20 g/cm³) debido a la adición de una pequeña cantidad de otros elementos. Durante el proceso de producción, la densidad de la lámina de molibdeno se controla con precisión mediante pulvimetalurgia y el posterior proceso de laminación. El tamaño de partícula y las condiciones de sinterización del polvo de molibdeno inicial (por ejemplo, temperatura 1800-2000 °C, vacío o protección contra el hidrógeno) afectan la densidad de la pieza en bruto, mientras que las múltiples pasadas de laminado en frío y recocido eliminan aún más la porosidad interna y garantizan una densidad uniforme de la lámina de molibdeno. La consistencia de la densidad es especialmente crítica para la deposición de película delgada o aplicaciones objetivo, ya que cualquier pequeña desviación de la densidad puede conducir a tasas de pulverización catódica desiguales o propiedades de material inestables. En la medición real, la densidad de la lámina de molibdeno generalmente se verifica mediante el método de drenaje de Arquímedes o el densímetro de rayos X, y el error se controla dentro de $\pm 0,01$ g / cm³ para satisfacer las necesidades de aplicaciones de alta precisión.

2.1.2 Punto de fusión de la lámina de molibdeno

El punto de fusión de la lámina de molibdeno es una de sus propiedades físicas más destacadas, alrededor de 2620 °C (2893 K), solo superada por el tungsteno (3422 °C) y el renio (3180 °C) entre los metales comunes. Este punto de fusión extremadamente alto permite que las láminas de molibdeno funcionen bien en entornos de alta temperatura y se usan ampliamente en componentes resistentes al calor en hornos de vacío, reactores nucleares y motores aeroespaciales. El alto punto de fusión del molibdeno se debe a sus fuertes enlaces metálicos y a su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo, lo que le confiere una alta resistencia mecánica a altas temperaturas. Por ejemplo, a 1200 °C, la resistencia a la tracción de las láminas de molibdeno aún se puede mantener por encima de 700 MPa, que es mucho más alta que la de muchos otros materiales metálicos.

La estabilidad del punto de fusión también está estrechamente relacionada con la pureza de la lámina de molibdeno, que está más cerca del valor teórico de la lámina de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) debido a su muy bajo contenido de impurezas, mientras que las trazas de impurezas (como carbono, oxígeno o nitrógeno) pueden reducir ligeramente el punto de fusión o causar cambios en las propiedades locales. Durante el proceso de producción, las características del punto de fusión de las láminas de molibdeno se conservan mediante un estricto control de la purificación de la materia prima y el entorno de procesamiento. Por ejemplo, la molibdenita (MoS₂) debe sinterizarse a altas temperaturas en vacío o en atmósfera reductora después de la purificación para evitar que las inclusiones de óxido afecten las propiedades del material. Además, las láminas de molibdeno deben tener cuidado con su tendencia a la oxidación en aplicaciones de alta temperatura, y en atmósferas oxidantes por encima de 600 °C, el molibdeno formará rápidamente óxidos volátiles (por ejemplo, MoO₃), por lo que a menudo se usa al vacío o bajo la protección de gases inertes como el argón o el nitrógeno para aprovechar su alto punto de fusión. Esta propiedad de las láminas de molibdeno las hace ideales para el blindaje térmico, los objetivos de pulverización catódica y los sustratos de superaleaciones en hornos de alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.3 Punto de ebullición de la lámina de molibdeno

El punto de ebullición de la lámina de molibdeno es otra característica clave de sus propiedades físicas, que es de aproximadamente 4639 °C (4912 K), que es uno de los más altos en el campo de los materiales metálicos, solo superado por algunos metales de alto punto de fusión como el tungsteno (5555 °C) y el renio (5596 °C). Este punto de ebullición extremadamente alto permite que la lámina de molibdeno permanezca estructuralmente estable en condiciones de temperatura extremadamente alta, lo que la hace particularmente adecuada para su uso en aplicaciones que requieren operación a temperatura ultra alta, como pulverización de plasma, evaporación al vacío o equipos de fusión a alta temperatura. El alto punto de ebullición del molibdeno está estrechamente relacionado con sus fuertes enlaces metálicos y su baja presión de vapor (presión de vapor de solo unos 10^{-7} Pa a 3000 °C), lo que significa que incluso a temperaturas cercanas al punto de fusión, las láminas de molibdeno tienen pérdidas de volatilización extremadamente bajas y pueden mantener su forma física durante mucho tiempo. La estabilidad del punto de ebullición se ve afectada por la pureza de la lámina de molibdeno, que está más cerca del valor teórico debido al bajo contenido de impurezas en las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$), mientras que las trazas de impurezas (como el oxígeno o el carbono) pueden causar volatilización local o defectos superficiales. Durante el proceso de producción, las características del punto de ebullición de las láminas de molibdeno se optimizan mediante la selección de materias primas de alta pureza y el proceso de procesamiento en un entorno de vacío. Por ejemplo, durante la sinterización o el recocido al vacío (la temperatura generalmente se controla a 1800-2000 °C), la formación de óxidos o nitruros se puede reducir de manera efectiva y se puede garantizar la estabilidad del material a altas temperaturas. El alto punto de ebullición de las láminas de molibdeno les da ventajas únicas en la industria aeroespacial (por ejemplo, revestimientos de boquillas de cohetes) o en la industria de semiconductores (por ejemplo, botes de evaporación a alta temperatura), pero la exposición a altas temperaturas debe evitarse en atmósferas oxidantes para evitar la pérdida de material debido a la volatilización del óxido.

2.1.4 Conductividad de las láminas de molibdeno

La conductividad de la lámina de molibdeno es una base importante para su amplia aplicación en la industria electrónica, y su resistividad es de aproximadamente $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ (a 20 °C), la conductividad correspondiente es de $1.92 \times 10^7 S / m$, lo que muestra una buena conductividad. En comparación con el cobre (resistividad $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) o la plata ($1,59 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), la lámina de molibdeno es ligeramente menos conductora, pero su estabilidad de conductividad a altas temperaturas es mucho mayor que la de muchos materiales conductores comunes. Por ejemplo, a 1000 °C, la resistividad de las láminas de molibdeno aumenta solo a aproximadamente 2,5 veces, mientras que la resistividad del cobre puede aumentar más de 5 veces. Esta estabilidad conductora a alta temperatura hace que las láminas de molibdeno sean ideales para materiales de electrodos, objetivos de pulverización catódica y componentes de circuitos de alta temperatura. La conductividad de la lámina de molibdeno está estrechamente relacionada con su estructura cristalina y pureza, y la estructura cúbica centrada en el cuerpo del metal de molibdeno tiene una alta movilidad electrónica, mientras que la alta pureza ($\geq 99,95\%$) puede reducir la dispersión del límite de grano y la resistencia a las impurezas. Durante el proceso de producción, las propiedades conductoras de la lámina de molibdeno se optimizan aún más mediante el control del proceso

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de laminación y las condiciones de recocido. Por ejemplo, el recocido de alivio de tensión (1100-1300 °C) mejora la estructura del grano y reduce la resistencia al límite del grano, lo que resulta en una mayor conductividad. Además, los tratamientos superficiales, como el pulido o el decapado, reducen el efecto de la capa de óxido sobre la conductividad de la superficie, asegurando propiedades eléctricas estables de la lámina de molibdeno en un entorno vacío o inerte. La conductividad eléctrica de las láminas de molibdeno es particularmente importante en la fabricación de semiconductores, por ejemplo, como objetivo de pulverización catódica para depositar películas delgadas conductoras o como material de ánodo en tubos de rayos X.

2.1.5 Conductividad térmica de las láminas de molibdeno

La conductividad térmica de las láminas de molibdeno es una ventaja clave en las aplicaciones de disipación de calor y gestión térmica a alta temperatura, con una conductividad térmica de aproximadamente 138 W/m·K a 20 °C, que es cercana al aluminio (237 W/m·K) pero mucho mayor que el acero inoxidable (aproximadamente 16 W/m·K). Esta excelente conductividad térmica permite que las láminas de molibdeno transfieran calor rápidamente, lo que se usa ampliamente en el blindaje térmico en hornos de alta temperatura, sustratos de disipación de calor para dispositivos electrónicos y gestión térmica de componentes aeroespaciales. La conductividad térmica de la lámina de molibdeno está estrechamente relacionada con su estructura electrónica y regularidad cristalina, y la estructura cúbica centrada en el cuerpo del metal de molibdeno tiene una alta densidad de electrones libres, lo que favorece la rápida conducción del calor. La conductividad térmica disminuye ligeramente con el aumento de la temperatura, por ejemplo, a unos 100 W/m·K a 1000 °C, pero sigue siendo suficiente para la mayoría de las aplicaciones de alta temperatura. La conductividad térmica de las láminas de molibdeno también se ve afectada por su pureza y microestructura, ya que las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tienen una mejor conductividad térmica debido a la menor dispersión de los límites de grano y las impurezas, mientras que las aleaciones dopadas (por ejemplo, TZM) pueden reducir ligeramente la conductividad térmica (alrededor de 120-130 W / m·K) debido a la adición de elementos. Durante la producción, la conductividad térmica de las láminas de molibdeno se mejora optimizando el proceso de sinterización y laminación, como la reducción de la porosidad interna mediante la sinterización al vacío o el control del tamaño de grano mediante laminación en frío y recocido para minimizar la resistencia térmica. En aplicaciones prácticas, la conductividad térmica de las láminas de molibdeno lo convierte en un material disipador de calor en el empaque de semiconductores o como capa de protección térmica en hornos de alta temperatura, lo que puede reducir efectivamente los gradientes de temperatura y prolongar la vida útil del equipo.

2.1.6 Coeficiente de dilatación térmica de la lámina de molibdeno

El coeficiente de expansión térmica de las láminas de molibdeno es una propiedad física crítica en aplicaciones de alta temperatura, con un promedio de aproximadamente $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (en el rango de 20-1000 °C), muy por debajo del cobre ($16,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) y el aluminio ($23,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Sin embargo, es similar al coeficiente de expansión térmica de muchos materiales cerámicos (por ejemplo, alúmina, aprox. $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) y sustratos semiconductores (p. ej., silicio, aprox. $2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Este bajo coeficiente de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

expansión térmica permite que las láminas de molibdeno reduzcan eficazmente el estrés térmico en entornos de alta temperatura, lo que las hace ideales para aplicaciones que requieren coincidencia térmica, como envases electrónicos, deposición de películas delgadas y recubrimientos de barrera térmica. El bajo coeficiente de expansión térmica se debe a la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del metal de molibdeno, que tiene una fuerte fuerza de enlace interatómico, lo que limita la expansión de la red cristalina a altas temperaturas.

El rendimiento de expansión térmica de las láminas de molibdeno también se ve afectado por su pureza y tecnología de procesamiento, ya que las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tienen un coeficiente de expansión térmica más estable, mientras que las aleaciones dopadas (como TZM, que contiene titanio y circonio) pueden aumentar ligeramente el coeficiente de expansión térmica (alrededor de $5,0-5,3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Durante el proceso de producción, la uniformidad del coeficiente de expansión térmica se controla mediante procesos precisos de laminación y recocido, por ejemplo, mediante recocido al vacío ($1100-1300\text{ }^\circ\text{C}$) para optimizar la estructura del grano, reducir las concentraciones de tensión microscópica y garantizar un comportamiento de expansión térmica constante. El bajo coeficiente de expansión térmica de las láminas de molibdeno es particularmente crítico en la fabricación de semiconductores, por ejemplo, como material de sustrato para el empaquetado de chips, lo que puede reducir eficazmente las tensiones de desajuste térmico causadas por los cambios de temperatura, mejorando así la confiabilidad del dispositivo. Además, en hornos de alta temperatura o componentes aeroespaciales, las propiedades de baja expansión térmica de las láminas de molibdeno ayudan a mantener la estabilidad estructural y prolongar la vida útil.

2.2 Propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno

Las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno, incluida la alta resistencia, la ductilidad y la resistencia a la fluencia a altas temperaturas, son las principales ventajas de las láminas de molibdeno en aplicaciones exigentes. La estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del metal de molibdeno le da una excelente resistencia mecánica, pero también aporta un cierto grado de fragilidad a baja temperatura. A través de técnicas de procesamiento avanzadas, como el laminado en frío, el laminado en caliente y el recocido, se pueden optimizar las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno, lo que hace que funcionen bien tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas. A continuación se analizará en detalle la alta resistencia, ductilidad y resistencia a la fluencia de la lámina de molibdeno, y se revelará su aplicabilidad en la industria aeroespacial, nuclear y hornos de alta temperatura con datos profesionales.

2.2.1 Alta resistencia de la lámina de molibdeno

La alta resistencia de la lámina de molibdeno es una característica importante en entornos de alta carga y alta temperatura, y su resistencia a la tracción puede alcanzar los $800-1000\text{ MPa}$ a temperatura ambiente, que es mucho más alta que la de muchos metales comunes como el aluminio (alrededor de 200 MPa) o el acero inoxidable (aproximadamente 500 MPa). A altas temperaturas, como $1200\text{ }^\circ\text{C}$, la resistencia a la tracción de las láminas de molibdeno aún se puede mantener por encima de 700 MPa , mostrando una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

excelente estabilidad de resistencia. Esta alta resistencia se debe a los fuertes enlaces metálicos del molibdeno y al alto módulo de elasticidad (alrededor de 320 GPa), lo que le permite soportar tensiones mecánicas significativas. La resistencia de las láminas de molibdeno se ve afectada por su pureza y tecnología de procesamiento, las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tienen una mayor resistencia debido a menos impurezas en los límites de grano, mientras que las aleaciones dopadas (como TZM) mejoran aún más la resistencia a alta temperatura (hasta más de 1200 MPa) al agregar titanio, circonio y otros elementos. Durante el proceso de producción, la resistencia de la lámina de molibdeno se optimiza mediante el laminado de varias pasadas y el recocido de alivio de tensión. El proceso de laminación en frío mejora significativamente la resistencia al introducir dislocaciones y refinamiento del grano, mientras que el recocido (1100-1300 °C) equilibra la resistencia y la tenacidad y evita la fragilidad excesiva. La alta resistencia de las láminas de molibdeno las convierte en aplicaciones importantes en el sector aeroespacial (por ejemplo, la estructura de soporte de los álabes de las turbinas) o en la industria nuclear (por ejemplo, revestimientos de recipientes de reactores), donde puede soportar cargas mecánicas extremas y tensiones a alta temperatura.

2.2.2 Ductilidad de las láminas de molibdeno

La ductilidad de la lámina de molibdeno es un aspecto importante de sus propiedades mecánicas, aunque su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo muestra un cierto grado de fragilidad a temperatura ambiente, puede lograr una buena ductilidad en condiciones adecuadas. A temperatura ambiente, las láminas de molibdeno suelen tener un alargamiento a la rotura de entre el 5 y el 10%, que es inferior al de los metales altamente dúctiles como el cobre (alrededor del 50%), pero puede mejorarse significativamente mediante el procesamiento o el recocido a alta temperatura. Por ejemplo, a una temperatura de recristalización de 1000-1200 °C, el alargamiento a la rotura de la lámina de molibdeno se puede aumentar a más del 20%, lo que es adecuado para moldear formas complejas. La mejora de la ductilidad está estrechamente relacionada con la optimización de la estructura del grano, y la lámina de molibdeno laminada en frío es frágil debido a la alta densidad de fallas, pero la recristalización del grano se puede promover mediante recocido al vacío (1100-1300 °C), y la tensión interna y la densidad de dislocación se pueden reducir, mejorando así la ductilidad. La lámina de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tiene una mejor ductilidad debido a que hay menos impurezas, mientras que las aleaciones dopadas (como el TZM) tienen una ductilidad ligeramente reducida a altas temperaturas, pero siguen siendo mejores que el molibdeno puro a bajas temperaturas. Durante el proceso de producción, la ductilidad de las láminas de molibdeno se optimiza mediante pasos de laminación y procesos de recocido controlados con precisión, como el laminado con múltiples pasos con pequeñas deformaciones combinado con recocido a baja temperatura, lo que mejora la ductilidad y mantiene la resistencia. La ductilidad de las láminas de molibdeno las hace ampliamente utilizadas en la deposición de películas delgadas, el estampado y el mecanizado de precisión, como sustratos flexibles u objetivos en la industria de los semiconductores.

2.2.3 Resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno a altas temperaturas

La resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno a altas temperaturas es una ventaja clave bajo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cargas a largo plazo a altas temperaturas, especialmente en aplicaciones como la aeroespacial y las estufas de alta temperatura. La fluencia se refiere a la deformación lenta de los materiales a altas temperaturas y tensiones constantes, y las láminas de molibdeno tienen tasas de fluencia extremadamente bajas a altas temperaturas (1000-1500 °C), como 10^{-6} a 1200 °C y tensiones de 100 MPa / s, que es mucho mejor que el acero inoxidable (alrededor de 10^{-4} / s). Esta excelente resistencia a la fluencia se debe al alto punto de fusión y a los fuertes enlaces metálicos del metal molibdeno, así como a la estabilidad de su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo a altas temperaturas. Las aleaciones dopadas (por ejemplo, TZM) mejoran aún más la resistencia a la fluencia al agregar titanio, circonio y carbono para formar una fase precipitada, y su resistencia a la fluencia se puede aumentar en un 30-50% en comparación con el molibdeno puro. Durante la producción, la resistencia a la fluencia se mejora optimizando el tamaño del grano y los procesos de dopaje, como el control de la temperatura de sinterización (1800-2000 °C) y la velocidad de enfriamiento, lo que da como resultado una estructura de grano fina y uniforme que reduce el deslizamiento del límite del grano y la deformación por fluencia. Además, la resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno también está relacionada con su estado superficial y el entorno en el que se utilizan, y en vacío o atmósfera inerte, las láminas de molibdeno pueden evitar la formación de óxido y, por lo tanto, mantener la estabilidad a alta temperatura a largo plazo. La resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno a altas temperaturas las hace insustituibles en los componentes internos de los hornos de alta temperatura, las estructuras de soporte de los reactores nucleares y los componentes aeroespaciales de alta temperatura, lo que les permite mantener su forma y resistencia en condiciones extremas.

2.2.4 Dureza de las láminas de molibdeno

La dureza de la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD es una realización importante de sus propiedades mecánicas, lo que hace que tenga ventajas significativas en aplicaciones resistentes al desgaste y de alta carga. La dureza de las láminas de molibdeno generalmente se expresa en Vickers (HV) o Brinell (HB), y el rango de dureza Vickers de las láminas de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99.95\%$) a temperatura ambiente es de 220-250 HV, lo que equivale a una dureza Brinell de aproximadamente 230-260 HB, mucho más alta que el aluminio (aproximadamente 30 HV) y cercana a algunos aceros de baja aleación. Esta alta dureza se debe a la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del metal de molibdeno y su fuerte fuerza de unión al átomo, que puede resistir eficazmente los arañazos y la deformación de la superficie. La dureza de la lámina de molibdeno laminada en frío se puede aumentar a más de 280 HV debido al aumento de la densidad de dislocación, mientras que la dureza del recocido (1100-1300 °C) se reducirá ligeramente a 200-220 HV para equilibrar la tenacidad. Las aleaciones dopadas como TZM (que contienen titanio, circonio y carbono) pueden alcanzar una dureza de 300-350 HV a través del mecanismo de fortalecimiento por precipitación, que es especialmente adecuado para entornos de alta temperatura y alta carga. En el proceso de producción, la dureza se ajusta con precisión controlando la cantidad de deformación por laminación y el proceso de recocido, por ejemplo, laminado en frío de varias pasadas combinado con recocido a baja temperatura para optimizar el tamaño del grano, mantener una alta dureza y evitar la fragilidad. La alta dureza de las láminas de molibdeno las hace excelentes para pulverizar objetivos de pulverización catódica, sustratos recubiertos de herramientas de corte y moldes de alta temperatura, soportando el desgaste mecánico y las tensiones superficiales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2.5 Tenacidad de las láminas de molibdeno

La tenacidad de la lámina de molibdeno se refiere a su capacidad para absorber energía y resistir la fractura cuando se somete a fuerza, aunque su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo exhibe un cierto grado de fragilidad a temperatura ambiente, con la optimización adecuada del proceso, la lámina de molibdeno puede mostrar una tenacidad moderada. A temperatura ambiente, la tenacidad a la fractura (K_{IC}) de la lámina de molibdeno suele estar entre $10-15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, que es inferior a la de los metales de alta tenacidad como el cobre (alrededor de $50 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), pero a alta temperatura ($1000-1200^\circ\text{C}$), la tenacidad mejora significativamente y la tenacidad a la fractura puede alcanzar más de $20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Esto se debe a la mejora del deslizamiento del límite del grano y el movimiento de dislocación a altas temperaturas, lo que reduce la tendencia a la fractura frágil. La tenacidad de las láminas de molibdeno se ve afectada por la pureza y la microestructura, las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tienen límites de grano más limpios y mejor tenacidad debido a menos impurezas, mientras que las aleaciones dopadas como TZM pueden mantener el equilibrio de tenacidad y resistencia a altas temperaturas a través del fortalecimiento de la fase de precipitación. En la producción, la tenacidad se mejora de manera efectiva y la propagación de grietas se reduce mediante el control del tamaño de grano y la optimización del proceso de recocido, como el recocido al vacío ($1100-1300^\circ\text{C}$) para formar granos uniformes y finos. La dureza de las láminas de molibdeno les da una ventaja en componentes aeroespaciales como boquillas de alta temperatura y sustratos electrónicos, donde pueden soportar choques térmicos y vibraciones mecánicas sin ser propensas a romperse.

2.2.6 Resistencia a la fatiga de las láminas de molibdeno

La resistencia a la fatiga de la lámina de molibdeno refleja su capacidad para resistir el inicio y la propagación de grietas por fatiga bajo tensión cíclica, que es una característica clave en aplicaciones de carga dinámica. A temperatura ambiente, el límite de fatiga de la lámina de molibdeno (es decir, la tensión que no se rompe a 10^7 ciclos) es de aproximadamente $400-500 \text{ MPa}$, que es aproximadamente el 50% de su resistencia a la tracción. A altas temperaturas (1000°C), el límite de fatiga desciende ligeramente a $300-400 \text{ MPa}$, pero sigue siendo mejor que muchos materiales metálicos. La resistencia a la fatiga de la lámina de molibdeno está estrechamente relacionada con su estructura cristalina y la calidad de su superficie, y la estructura cúbica centrada en el cuerpo del metal de molibdeno tiene una mayor resistencia a la propagación de grietas por fatiga, mientras que la lámina de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tiene un mejor rendimiento a la fatiga debido a menos impurezas en los límites de grano. Las aleaciones dopadas, como el TZM, pueden aumentar aún más la vida a la fatiga mediante el fortalecimiento por precipitación. En el proceso de producción, la resistencia a la fatiga se mejora mediante la optimización de los procesos de laminación y tratamiento de superficies, como el pulido de superficies ($Ra \leq 0,4$ micras) para reducir el punto de inicio de las microfisuras superficiales y el recocido que alivia la tensión ($1100-1300^\circ\text{C}$) para reducir la tensión residual y prolongar la vida útil a la fatiga. La resistencia a la fatiga de las láminas de molibdeno las hace excelentes en entornos aeroespaciales (por ejemplo, soporte de palas de turbina) y vibraciones a alta temperatura (por ejemplo, componentes de reactores nucleares), y es capaz de soportar cargas cíclicas a largo plazo sin fallas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 Propiedades químicas de las láminas de molibdeno

Las propiedades químicas de las láminas de molibdeno, incluida la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación, determinan su idoneidad en entornos químicos hostiles. Debido a sus propiedades químicas estables y baja reactividad, el molibdeno metálico exhibe una excelente resistencia a la corrosión en ácidos no oxidantes, álcalis y una variedad de medios químicos, pero se debe prestar especial atención a la protección de su superficie en atmósferas oxidantes. La resistencia a la corrosión y oxidación de las láminas de molibdeno se discutirá en detalle a continuación, combinada con datos de expertos para revelar cómo se comportan en entornos químicos.

2.3.1 Resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno

La resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno es una ventaja importante en la industria química y en entornos extremos, especialmente en ácidos no oxidantes y entornos alcalinos. Las láminas de molibdeno tienen una excelente resistencia a la corrosión a los ácidos no oxidantes como el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico y el ácido fluorhídrico, por ejemplo, a una concentración del 10% de ácido clorhídrico (20 °C), la tasa de corrosión es inferior a 0,01 mm/año, que es mucho mejor que el acero inoxidable (aproximadamente 0,1 mm/año). En entornos alcalinos como las soluciones de hidróxido de sodio, las láminas de molibdeno también tienen un buen rendimiento, con tasas de corrosión inferiores a 0,005 mm/año. Esto se debe a la naturaleza químicamente inerte y al alto potencial de electrodo del metal molibdeno, lo que lo hace menos propenso a las reacciones electroquímicas con medios no oxidantes. Sin embargo, entre los ácidos oxidantes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado), las láminas de molibdeno tienen poca resistencia a la corrosión debido a la formación de molibdatos solubles. La resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno está estrechamente relacionada con su condición superficial y pureza, las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99.95\%$) tienen una baja tendencia a corroerse en los límites de grano debido a menos impurezas, mientras que pulir o decapar la superficie ($Ra \leq 0.4$ micras) puede reducir aún más el punto de corrosión. En la producción, la resistencia a la corrosión se mejora mediante procesos de purificación optimizados y tratamientos superficiales, como la eliminación de impurezas de oxígeno y nitrógeno mediante sinterización al vacío o la eliminación de óxidos superficiales mediante lavado cáustico. La resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno hace que sea ampliamente utilizado en revestimientos de reactores químicos, materiales de electrodos e ingeniería marina.

2.3.2 Resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno

La resistencia a la oxidación de la lámina de molibdeno es el factor limitante de sus propiedades químicas en un entorno de alta temperatura, porque el molibdeno metálico es propenso a formar óxidos volátiles en una atmósfera oxidante. A temperaturas inferiores a 600 °C, se puede formar una capa de óxido delgada y densa (por ejemplo, MoO_2) en la superficie de la lámina de molibdeno para proporcionar cierta protección, pero por encima de 600 °C, el molibdeno se oxida rápidamente para formar trióxido de molibdeno volátil (MoO_3). La tasa de evaporación puede alcanzar los 0,1 $g/cm^2 \cdot h$ a 800 °C, lo que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

provoca una rápida pérdida de material. Esta propiedad limita el uso de láminas de molibdeno en atmósferas oxidantes para aplicaciones de alta temperatura, a menudo bajo la protección de vacío o gases inertes como el argón o el nitrógeno para evitar pérdidas por oxidación. En un entorno de vacío, la resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno mejora significativamente y la superficie permanece estable incluso a 1500 °C. La resistencia a la oxidación se ve afectada por la pureza y el tratamiento superficial de la lámina de molibdeno, y la lámina de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) tiene una tasa de oxidación más baja debido a menos impurezas, mientras que la aleación dopada (como TZM) puede mejorar ligeramente la resistencia a la oxidación agregando titanio y circonio. En la producción, la resistencia a la oxidación se optimiza mediante recubrimientos superficiales (por ejemplo, recubrimientos de silicio o alúmina) o mediante procesos de recocido al vacío, por ejemplo, a 1200 °C para reducir la adsorción de oxígeno en la superficie. La resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno limita su uso directo en entornos de aire a alta temperatura, pero su estabilidad a alta temperatura lo hace ideal en hornos de vacío, fabricación de semiconductores y la industria nuclear.

2.4 CTIA GROUP LTD Hoja de molibdeno MSDS

Las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD como material metálico de alta pureza, su Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS) o Hoja de Datos de Seguridad (SDS) es un documento importante para garantizar su uso, almacenamiento y transporte seguros, y cumple con los requisitos del Sistema Armonizado Internacional de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos Peligrosos (SGA). Aunque las láminas de molibdeno en sí mismas se consideran no peligrosas en condiciones normales, su MSDS proporciona información detallada sobre las propiedades fisicoquímicas, los riesgos para la salud y el medio ambiente, las pautas de operación segura y las medidas de emergencia para garantizar la seguridad y el cumplimiento laboral. A continuación se detalla el contenido de MSDS de la lámina de molibdeno de CTIA GROUP LTD a partir de los aspectos de propiedades físicas y químicas, salud e impacto ambiental, operación y almacenamiento, medidas de protección y tratamiento de emergencia.

Las propiedades físicas y químicas de las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD son la parte central de MSDS, proporcionando a los usuarios información física y química básica de los materiales. Su composición química es molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), símbolo químico Mo, número atómico 42, densidad de aproximadamente 10,22 g/cm³ (20 °C), punto de fusión de aproximadamente 2620 °C, punto de ebullición de aproximadamente 4639 °C. Las láminas de molibdeno tienen un brillo metálico gris plateado y generalmente se encuentran en forma de escamas o láminas, con espesores que van desde 0,01 mm hasta 3 mm. Los tratamientos superficiales, como el pulido o el decapado, afectan a su aspecto y rugosidad (Ra 0,4-1,6 micras). Las láminas de molibdeno son químicamente estables a temperatura ambiente, insolubles en agua y tienen baja reactividad con ácidos no oxidantes (como el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico) y soluciones alcalinas, pero son propensas al trióxido de molibdeno volátil (MoO₃) en una atmósfera oxidante a alta temperatura (>600 °C). La MSDS establece claramente que el punto de inflamación y el punto de autoignición de las láminas de molibdeno no son aplicables porque son metales sólidos y no representan un riesgo de explosión o inflamabilidad en condiciones normales. Estas características proporcionan la base para un funcionamiento seguro, lo que garantiza que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

los usuarios sean conscientes de su comportamiento físico y de las posibles reacciones químicas.

Los impactos sobre la salud y el medio ambiente son componentes importantes de la MSDS, cuyo objetivo es evaluar los riesgos potenciales de las láminas de molibdeno para los seres humanos y el medio ambiente. Los comprimidos de molibdeno no presentan ningún peligro significativo para la salud humana en condiciones normales de uso, su toxicidad es extremadamente baja y generalmente no se dispone de datos sobre toxicidad oral aguda (DL50), ya que el molibdeno puro no se considera una sustancia tóxica. Sin embargo, se pueden producir polvo o vapores de molibdeno durante el procesamiento, como el corte, el esmerilado o la soldadura, la inhalación de altas concentraciones de polvo puede causar irritación respiratoria leve y la exposición a largo plazo puede causar molestias pulmonares. La MSDS recomienda evitar la inhalación de polvo y asegurarse de que el lugar de trabajo esté bien ventilado. El contacto de la piel y los ojos con las láminas de molibdeno suele ser inofensivo, pero los bordes afilados pueden causar arañazos mecánicos y deben manipularse de forma segura. Desde el punto de vista ambiental, las láminas de molibdeno en sí mismas no tienen un riesgo directo de contaminación para el agua, el suelo y el aire, pero el polvo de molibdeno o los desechos producidos por el procesamiento pueden tener un impacto en el medio ambiente local si no se tratan adecuadamente. MSDS enfatiza que los residuos de láminas de molibdeno deben clasificarse y reciclarse de acuerdo con las regulaciones locales y evitar la descarga directa al medio ambiente para cumplir con los requisitos de protección ambiental.

La manipulación y el almacenamiento seguros son una parte clave de la MSDS para garantizar el uso seguro de las láminas de molibdeno en el lugar de trabajo. Las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD deben almacenarse en un ambiente seco y bien ventilado, evitando altas temperaturas (>600 °C) y atmósferas oxidantes para evitar la oxidación de la superficie. El área de almacenamiento debe mantenerse alejada de oxidantes fuertes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado) o fuentes de ignición a alta temperatura, ya que el molibdeno puede reaccionar con el oxígeno a altas temperaturas para formar MoO_3 . MSDS recomienda el uso de equipo de protección personal (EPP) adecuado, como guantes protectores, gafas de seguridad y máscaras contra el polvo, especialmente al cortar, esmerilar o soldar, para evitar la inhalación de polvo o lesiones mecánicas. Al operar el equipo, se debe equipar un sistema de ventilación de extracción local para garantizar que las concentraciones de polvo estén por debajo de los límites de exposición ocupacional (por ejemplo, OSHA PEL o ACGIH TLV, el límite de exposición recomendado para el polvo de molibdeno es de aproximadamente 10 mg/m^3). En cuanto al transporte, las láminas de molibdeno no entran en la categoría de mercancías peligrosas según el Reglamento Internacional de Mercancías Peligrosas Marítimas (IMDG) o la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), pero deben estar debidamente embaladas para evitar daños físicos o contaminación. MSDS también recomienda que las instalaciones de almacenamiento se inspeccionen regularmente para asegurarse de que la humedad o las altas temperaturas no puedan afectar las propiedades del material.

Las medidas de emergencia son otro elemento central de MSDS, ya que proporcionan orientación para una respuesta rápida a situaciones inesperadas. En caso de inhalación de polvo del procesamiento de láminas de molibdeno, MSDS recomienda trasladar a las personas afectadas al aire libre y buscar atención médica si los síntomas persisten. Cuando la piel entra en contacto con la lámina de molibdeno y causa rasguños, la herida debe enjuagarse inmediatamente con agua y se debe llevar a cabo un

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tratamiento adecuado para la herida; Si el polvo de molibdeno entra en contacto con los ojos, enjuague con abundante agua durante al menos 15 minutos y consulte a un médico. En caso de incendio, la lámina de molibdeno en sí no es inflamable, pero si se trata de oxidación a alta temperatura, se debe usar polvo seco o agente extintor de dióxido de carbono, y se debe evitar el agente extintor a base de agua para evitar que la reacción se intensifique. Para derrames o eliminación de desechos, MSDS requiere el uso de equipos de aspiración o métodos de limpieza húmeda para recolectar polvo de molibdeno para evitar el polvo fugitivo, y enviar los desechos a una instalación de reciclaje autorizada para su eliminación, y prohíbe el descarte. La información de contacto de emergencia generalmente incluye el número de teléfono de emergencia y la dirección del fabricante en caso de un accidente.

La MSDS de los chips de molibdeno CTIA GROUP LTD también debe cumplir con los requisitos reglamentarios internacionales y regionales, como el estándar de comunicación de peligros de OSHA (29 CFR 1910.1200), el reglamento REACH de la UE (CE n.º 1907/2006) y el estándar GB/T 16483-2008 de China. El documento está formateado en 16 secciones de la norma GHS, que incluyen identificación de sustancias, clasificación de peligros, información de ingredientes, medidas de primeros auxilios, medidas de protección contra incendios, respuesta a emergencias por derrames, operación y almacenamiento, control de exposición, propiedades fisicoquímicas, estabilidad y reactividad, información toxicológica, información ecológica, información de eliminación, información de transporte, información regulatoria y otra información. La MSDS debe actualizarse cada tres años o revisarse a medida que se disponga de nueva información sobre peligros para garantizar la precisión y el cumplimiento. Los usuarios pueden obtener los últimos documentos MSDS a través del sitio web oficial de CTIA GROUP LTD o ponerse en contacto con su departamento de servicio al cliente para asegurarse de que la operación cumple con las normas de seguridad ocupacional y protección del medio ambiente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 3 Clasificación de las láminas de molibdeno

Las láminas de molibdeno se clasifican de diversas maneras, generalmente en función de su pureza, composición de aleación, tecnología de procesamiento o escenarios de aplicación para satisfacer las necesidades de diferentes sectores industriales. La pureza es una de las bases importantes para la clasificación de las láminas de molibdeno, porque la pureza afecta directamente sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, y luego determina su aplicabilidad en alta temperatura, electrónica, aeroespacial y otros campos. Con su alta calidad y estándares de clasificación diversificados, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD ha sido ampliamente utilizada en el mercado. A continuación, se centrará en la clasificación de las láminas de molibdeno por pureza y se analizarán en detalle las características, los procesos de preparación y los escenarios de aplicación de las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$ de pureza) y las láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99% - 99,9% de pureza).

3.1 Clasificación de las láminas de molibdeno por pureza

La clasificación por pureza es uno de los métodos de clasificación más comunes para las láminas de molibdeno, que generalmente se dividen en láminas de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$) y láminas de molibdeno de pureza ordinaria (pureza 99% - 99,9%) según el nivel de pureza del metal de molibdeno. La diferencia de pureza se debe principalmente al control de impurezas en el proceso de purificación de materias primas y el proceso de producción, lo que afecta los parámetros de rendimiento de las láminas de molibdeno, como la conductividad eléctrica, la conductividad térmica, la resistencia a la corrosión y la estabilidad a altas temperaturas. Las láminas de molibdeno de diferentes puridades difieren significativamente en términos de proceso de producción, costo y áreas de aplicación, con láminas de molibdeno de alta pureza que generalmente se usan en entornos exigentes y de alta precisión, mientras

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que las láminas de molibdeno de pureza ordinaria son más adecuadas para escenarios de uso general sensibles al costo.

3.1.1 Láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$ de pureza)

Las láminas de molibdeno de alta pureza se refieren a materiales de lámina delgada con un contenido metálico de molibdeno del 99,95% o más, que generalmente se extraen de la molibdenita (MoS_2) a través de un proceso de purificación de varias etapas, y utilizan tecnología avanzada de fundición al vacío o refinación por haz de electrones para eliminar impurezas como oxígeno, carbono y nitrógeno. El contenido de impurezas es muy bajo (impurezas totales < 500 ppm) y el contenido de elementos como el hierro, el níquel y el silicio generalmente se controla dentro de 10-50 ppm. Esta alta pureza imparte excelentes propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas a las láminas de molibdeno, como una resistividad tan baja como $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, la conductividad térmica es de aproximadamente $138 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ y la resistencia a la tracción puede alcanzar 800-1000 MPa a temperatura ambiente. La calidad de la superficie de la lámina de molibdeno de alta pureza también es mejor, y la rugosidad de la superficie puede ser tan baja como Ra 0,4 micras después del pulido o decapado, lo que la hace adecuada para aplicaciones de alta precisión. Durante el proceso de producción, las láminas de molibdeno de alta pureza deben sinterizarse ($1800\text{-}2000 \text{ }^\circ\text{C}$) y laminarse al vacío o con gas inerte de alta pureza (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación y la introducción de impurezas. El proceso de recocido ($1100\text{-}1300 \text{ }^\circ\text{C}$) optimiza aún más la estructura del grano y mejora la ductilidad y la tenacidad. Las aplicaciones típicas de las láminas de molibdeno de alta pureza incluyen objetivos de pulverización catódica para la industria de semiconductores para depositar películas delgadas de alta precisión; componentes de alta temperatura en el sector aeroespacial, como los revestimientos de las toberas de los cohetes; y los materiales de protección contra la radiación en la industria nuclear, que reducen las secciones transversales de captura de neutrones debido a su bajo contenido de impurezas. Además, las láminas de molibdeno de alta pureza también funcionan bien en ánodos de tubos de rayos X y blindaje térmico de hornos de vacío de alta temperatura, con un alto punto de fusión ($2620 \text{ }^\circ\text{C}$) y un bajo coeficiente de expansión térmica ($4,8 \times 10^{-6} / \text{ }^\circ\text{C}$) que garantizan la estabilidad en condiciones extremas. Sin embargo, el alto costo de preparación de las láminas de molibdeno de alta pureza y los complejos procesos de purificación y procesamiento hacen que se utilicen principalmente en aplicaciones de alta gama.

3.1.2 Láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99% - 99,9% de pureza)

Las láminas de molibdeno de pureza ordinaria se refieren a materiales en escamas con un contenido de molibdeno entre el 99% y el 99,9%, y su contenido de impurezas (1000-10,000 ppm) es mayor que el de las láminas de molibdeno de alta pureza, y las impurezas comunes incluyen hierro, níquel, carbono, oxígeno, etc., y el contenido puede estar en el rango de 100-500 ppm. El rendimiento de las láminas de molibdeno de pureza ordinaria es ligeramente inferior al de las láminas de molibdeno de alta pureza, por ejemplo, la resistividad es ligeramente superior (alrededor de $5.5\text{-}6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), la conductividad térmica es ligeramente inferior (alrededor de $130\text{-}135 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$) y la resistencia a la tracción es de 700-900 MPa a temperatura ambiente. Aún así, su rendimiento es suficiente para muchas necesidades industriales y sus costos de producción son bajos, lo que lo hace adecuado para la producción a gran

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

escala y aplicaciones sensibles a los costos. El proceso de preparación de láminas de molibdeno de pureza ordinaria está relativamente simplificado, y la tecnología de pulvimetalurgia convencional generalmente se usa para obtener óxido de molibdeno (MoO_3) mediante tostado de molibdenita, que luego se reduce con hidrógeno para hacer polvo de molibdeno, que luego se sinteriza y lamina. El proceso de sinterización se puede llevar a cabo bajo protección de hidrógeno (1600-1800 °C) para reducir el riesgo de oxidación, pero los requisitos de control de impurezas no son tan estrictos como los de las láminas de molibdeno de alta pureza. El tratamiento de la superficie es principalmente decapado o arenado, y la rugosidad de la superficie es generalmente entre Ra 0,8-1,6 micras, lo que satisface las necesidades de aplicaciones generales. Las láminas de molibdeno de pureza ordinaria se utilizan ampliamente en el blindaje térmico de hornos de alta temperatura, revestimiento resistente a la corrosión de equipos químicos y materiales de electrodos de baja precisión en la industria electrónica. Por ejemplo, en un horno de calentamiento resistivo, las láminas de molibdeno de pureza ordinaria se utilizan como elementos calefactores o estructuras de soporte para soportar altas temperaturas de 1000-1500 °C. En algunos componentes mecánicos, su resistencia y ductilidad moderadas también lo convierten en una opción económica. Aunque las láminas de molibdeno de pureza ordinaria son ligeramente inferiores a las láminas de molibdeno de alta pureza en términos de resistencia a la corrosión y estabilidad a altas temperaturas, tienen ventajas significativas y rentables en entornos no oxidantes o escenarios con requisitos de precisión media.

3.2 Clasificación de las láminas de molibdeno según el proceso de fabricación

El proceso de fabricación de la lámina de molibdeno tiene un impacto importante en sus propiedades, microestructura y escenarios de aplicación, por lo que la clasificación por proceso de fabricación es otra forma importante de clasificar la lámina de molibdeno. El proceso de fabricación incluye principalmente pulvimetalurgia y proceso de laminación, en el que el proceso de laminación se divide a su vez en dos formas: laminación en caliente y laminación en frío. Las láminas de molibdeno producidas por diferentes procesos tienen diferencias significativas en la estructura del grano, la calidad de la superficie, las propiedades mecánicas y el costo, etc., para satisfacer las diversas necesidades de la industria de alta temperatura para la electrónica de precisión. Al optimizar el proceso de fabricación, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD garantiza que el rendimiento del producto cumpla con los requisitos de escenarios de aplicación específicos. A continuación se analizarán en detalle las características del proceso, el rendimiento y los campos de aplicación de las láminas de molibdeno, las láminas de molibdeno laminadas en caliente y las láminas de molibdeno laminadas en frío fabricadas por pulvimetalurgia.

3.2.1 Láminas de molibdeno fabricadas por pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia es el proceso básico para la producción de láminas de molibdeno, que es adecuado para la preparación de materiales de láminas de molibdeno con alta pureza y formas complejas. El proceso incluye la extracción de óxido de molibdeno (MoO_3) a partir de molibdenita (MoS_2), que se reduce mediante hidrógeno para producir polvo de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), que posteriormente se prensa, sinteriza y procesa. El polvo de molibdeno generalmente se presiona en una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

palanquilla a alta presión (100-200 MPa) y se sinteriza bajo una atmósfera protectora de vacío o hidrógeno (temperatura 1800-2000 °C) para formar una palanquilla densa de molibdeno. Durante el proceso de sinterización, las partículas de polvo de molibdeno se combinan por difusión, y el tamaño de grano generalmente se controla entre 10 y 50 micras, y la densidad puede alcanzar más del 98%. Las láminas de molibdeno fabricadas por pulvimetalurgia tienen una microestructura uniforme y una alta pureza, y el contenido de impurezas (por ejemplo, oxígeno, carbono) se puede controlar dentro de 50 ppm, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de alta precisión. La densidad de la lámina de molibdeno resultante está cerca del valor teórico (10,22 g/cm³), la resistencia a la tracción es de aproximadamente 700-900 MPa a temperatura ambiente y la rugosidad de la superficie (Ra 0,8-1,6 micras) se puede optimizar mediante un pulido posterior. La ventaja del proceso de pulvimetalurgia es la capacidad de producir láminas de molibdeno ultrafinas (0,01-0,1 mm de grosor), así como piezas en bruto de forma personalizada, adecuadas para objetivos de pulverización catódica en la industria de semiconductores y blindaje térmico en hornos de alta temperatura. Sin embargo, el alto costo de este proceso y el largo tiempo de ciclo limitan su uso en aplicaciones a gran escala y de bajo costo. Las láminas de molibdeno fabricadas por pulvimetalurgia se utilizan ampliamente en las industrias electrónica, nuclear y aeroespacial, por ejemplo, como materiales anódicos para tubos de rayos X o como componentes de hornos de vacío de alta temperatura.

3.2.2 Hojas de molibdeno laminadas en caliente fabricadas por proceso de laminación

El proceso de laminación en caliente consiste en preparar láminas de molibdeno con un espesor de 0,5-3 mm laminando palanquillas de molibdeno a altas temperaturas (generalmente 1000-1400 °C). El proceso de laminación en caliente generalmente se lleva a cabo al vacío o bajo la protección de un gas inerte como el argón para evitar la oxidación del molibdeno a altas temperaturas. Las palanquillas de molibdeno se preparan primero por pulvimetalurgia y luego se laminan en múltiples pasadas en un tren de laminación de alta temperatura con una deformación controlada del 20-30% cada vez para adelgazar gradualmente y mejorar la estructura del grano. Las láminas de molibdeno laminadas en caliente tienen un tamaño de grano mayor (50-100 micras) y se recristalizan debido al procesamiento a alta temperatura, lo que les da una buena ductilidad (alargamiento a la rotura de aproximadamente 10-15%) y una baja tensión interna. La resistencia a la tracción de la lámina de molibdeno laminada en caliente es de aproximadamente 600-800 MPa a temperatura ambiente, que es ligeramente inferior a la de la lámina de molibdeno laminada en frío, pero su resistencia a altas temperaturas (aproximadamente 500 MPa a 1000 °C) es excelente y es adecuada para entornos de alta temperatura. En términos de calidad de la superficie, la rugosidad de la superficie de la lámina de molibdeno laminada en caliente es generalmente Ra 1.0-2.0 micras, que se puede optimizar mediante decapado o arenado. La ventaja del proceso de laminación en caliente es que tiene una alta eficiencia de producción, es adecuado para fabricar láminas de molibdeno más gruesas y el costo es menor que el de la pulvimetalurgia, pero la precisión del control de espesor ($\pm 0,05$ mm) es ligeramente inferior a la del proceso de laminación en frío. Las láminas de molibdeno laminadas en caliente se utilizan ampliamente en elementos calefactores para hornos de alta temperatura, piezas estructurales aeroespaciales (por ejemplo, soportes de álabes de turbinas) y revestimientos resistentes a la corrosión para equipos químicos, donde cumplen con los requisitos de precisión y durabilidad moderadas debido a su combinación de resistencia y estabilidad a altas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperaturas.

3.2.3 Láminas de molibdeno laminadas en frío fabricadas por laminación

El proceso de laminación en frío es el laminado adicional de palanquillas de molibdeno o láminas de molibdeno laminadas en caliente a temperatura ambiente o cerca de ella para producir láminas de molibdeno ultrafinas con un espesor típicamente de 0,01-1 mm. El proceso de laminación en frío se logra mediante un laminador de alta precisión, y la cantidad de deformación se controla en un 10-20% cada vez para evitar tensiones y grietas excesivas. El tamaño de grano de la lámina de molibdeno laminada en frío es pequeño (5-20 micras) y, debido al importante efecto de endurecimiento por trabajo, la densidad de dislocación aumenta, de modo que su resistencia a la tracción puede alcanzar los 900-1200 MPa a temperatura ambiente, que es mucho mayor que la de la lámina de molibdeno laminada en caliente. Sin embargo, las láminas de molibdeno laminadas en frío tienen una baja ductilidad (alargamiento a la rotura de aproximadamente 5-8%) y, a menudo, es necesario mejorar la tenacidad mediante el recocido de alivio de tensiones (800-1100 °C), y la resistencia se reduce ligeramente a 800-1000 MPa después del recocido, pero el alargamiento a la rotura se puede aumentar al 10-12%.

La calidad de la superficie de la lámina de molibdeno laminada en frío es excelente, la rugosidad de la superficie puede ser tan baja como Ra 0,4 micras después del pulido y la tolerancia del espesor se controla dentro de $\pm 0,005$ mm, lo que satisface las necesidades de las aplicaciones de alta precisión. La ventaja del proceso de laminación en frío es que puede producir láminas de molibdeno ultrafinas y de alta resistencia, que son adecuadas para objetivos de pulverización catódica de alta precisión, sustratos de embalaje de semiconductores y componentes electrónicos flexibles en la industria electrónica. Sin embargo, el proceso de laminación en frío es muy exigente, y la lubricación y la temperatura durante el proceso de procesamiento deben controlarse estrictamente para evitar defectos o grietas en la superficie. Las láminas de molibdeno laminadas en frío se utilizan ampliamente en la deposición de películas delgadas, microelectrónica y dispositivos médicos (como conjuntos de tubos de rayos X) debido a su alta resistencia, excelente calidad de superficie y precisión dimensional, lo que las convierte en el material elegido para la fabricación de alta gama.

3.3 Clasificación de las láminas de molibdeno según los campos de aplicación

Las propiedades diversificadas de las láminas de molibdeno las hacen ampliamente utilizadas en muchos campos industriales, y se pueden dividir en campos electrónicos, industrias metalúrgicas, campos químicos, campos aeroespaciales y otros campos según diferentes escenarios de aplicación. Las diferentes aplicaciones requieren diferentes niveles de pureza, espesor, calidad de la superficie y rendimiento para las láminas de molibdeno, lo que lleva a los fabricantes a optimizar sus procesos de producción para satisfacer necesidades específicas. Con sus características de alta calidad y personalización, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD se ha desempeñado bien en varios campos. A continuación se discutirán en detalle las características de la aplicación, los requisitos de rendimiento y los usos típicos de las láminas de molibdeno en la electrónica, la industria metalúrgica, la industria química, la aeroespacial y otros campos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.1 Láminas de molibdeno utilizadas en el campo electrónico

En el campo de la electrónica, las láminas de molibdeno son conocidas por su excelente conductividad eléctrica (resistividad aprox. $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), conductividad térmica (aprox. $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y bajo coeficiente de expansión térmica (aprox. $4,8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), especialmente en la fabricación de semiconductores y dispositivos microelectrónicos. Las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) son las preferidas en el campo de la electrónica debido a su bajo contenido de impurezas para reducir la resistencia del límite de grano y las emisiones de gases, lo que garantiza la confiabilidad del dispositivo.

Las láminas de molibdeno se usan comúnmente en objetivos de pulverización catódica para producir capas conductoras para transistores de película delgada (TFT), células solares y circuitos integrados, generalmente con un espesor de 0,01-0,1 mm y una rugosidad superficial tan baja como Ra 0,4 micras para garantizar la uniformidad de la película. Además, las láminas de molibdeno se utilizan como sustratos de disipación de calor en envases electrónicos y son compatibles con el silicio (coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $2,6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) tiene una buena coincidencia térmica con los materiales cerámicos, lo que puede reducir efectivamente el estrés térmico y prolongar la vida útil del chip. En los tubos de rayos X, las láminas de molibdeno se utilizan como ánodo o material de soporte para resistir el bombardeo de electrones de alta energía debido a su alto punto de fusión ($2620 ^\circ\text{C}$) y su buena conductividad eléctrica. En la producción, las láminas de molibdeno en el campo de la electrónica deben laminarse en frío y recocirse al vacío ($1100-1300 ^\circ\text{C}$) para garantizar una alta precisión y calidad de la superficie. Estas propiedades de las láminas de molibdeno las hacen indispensables en las industrias de semiconductores, pantallas y optoelectrónica.

3.3.2 Láminas de molibdeno utilizadas en la industria metalúrgica

En la industria metalúrgica, las láminas de molibdeno se utilizan principalmente en componentes de hornos de alta temperatura y equipos de fundición, con su alto punto de fusión ($2620 ^\circ\text{C}$) y excelente resistencia a altas temperaturas (resistencia a la tracción de aproximadamente 700 MPa a $1200 ^\circ\text{C}$). Las láminas de molibdeno de pureza ordinaria ($99\% - 99,9\%$) se usan comúnmente en la fabricación de escudos térmicos, elementos calefactores y revestimientos de crisoles debido a su bajo costo, y el rango de espesor suele ser de 0.5-3 mm. Debido a su buena ductilidad (alargamiento a la rotura de aproximadamente $10-15\%$) y baja tensión interna, la lámina de molibdeno laminada en caliente es adecuada para el procesamiento de componentes de formas complejas en hornos de alta temperatura. Bajo vacío o atmósfera inerte (como argón o nitrógeno), las láminas de molibdeno pueden soportar altas temperaturas superiores a $1500 ^\circ\text{C}$ sin deformación, y son ampliamente utilizadas en hornos de sinterización a alta temperatura, hornos de crecimiento monocristalino y equipos de fusión de vidrio. La resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno a altas temperaturas (tasas de fluencia tan bajas como $10^{-6} / \text{s}$ a $1200 ^\circ\text{C}$) garantiza la estabilidad bajo cargas a alta temperatura a largo plazo. En la producción, las láminas metalúrgicas de molibdeno utilizan principalmente procesos de pulvimetalurgia y laminación en caliente, y la superficie se puede decapar para mejorar la resistencia a la corrosión. El uso de láminas de molibdeno en la industria metalúrgica ha mejorado significativamente la durabilidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de los equipos y la eficiencia del proceso, por ejemplo, como componente clave en la fundición de tungsteno, molibdeno y otros metales refractarios.

3.3.3 Láminas de molibdeno utilizadas en la industria química

En la industria química, las láminas de molibdeno se utilizan ampliamente en revestimientos de reactores, materiales de electrodos y componentes resistentes a la corrosión debido a su excelente resistencia a la corrosión, especialmente en ácidos no oxidantes (como ácido clorhídrico, ácido sulfúrico) y entornos alcalinos, con una tasa de corrosión de menos de 0,01 mm / año en ácido clorhídrico al 10% (20 °C). Las láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99%-99.9%) se usan a menudo en equipos químicos debido a su alta rentabilidad, el grosor es generalmente de 0.2-2 mm y la superficie está principalmente decapada (Ra 0.8-1.6 micras) para garantizar la limpieza. Las láminas de molibdeno se utilizan como materiales de electrodos en la industria electroquímica, por ejemplo en la electrólisis del cloro o el hidrógeno, y son resistentes a los electrolitos corrosivos debido a su alta conductividad y estabilidad química. Sin embargo, las láminas de molibdeno son susceptibles a la formación de MoO₃ volátil en ácidos oxidantes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado) o en atmósferas oxidantes a alta temperatura, que deben aplicarse mediante recubrimientos superficiales (por ejemplo, siliciuros) o en una atmósfera inerte para mejorar la protección. En la producción, las láminas químicas de molibdeno se optimizan a través de la pulvimetalurgia y el proceso de laminación, y las impurezas de oxígeno y nitrógeno (<100 ppm) se controlan estrictamente para mejorar la resistencia a la corrosión. El uso de láminas de molibdeno en la industria química, como los revestimientos de reactores resistentes a la corrosión y los materiales de soporte de tuberías, aumenta significativamente la vida útil de los equipos en entornos químicos hostiles.

3.3.4 Láminas de molibdeno utilizadas en el sector aeroespacial

En el sector aeroespacial, las láminas de molibdeno se utilizan para componentes estructurales y resistentes al calor a alta temperatura debido a su alta resistencia (resistencia a la tracción 800-1000 MPa a temperatura ambiente), alto punto de fusión (2620 °C) y bajo coeficiente de expansión térmica ($4,8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$). Las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) o las láminas de molibdeno de aleación TZM (que contienen titanio y circonio) se deben a sus excelentes propiedades a altas temperaturas (resistencia a la tracción de hasta 800 MPa a 1500 °C) y resistencia a la fluencia (tasa de fluencia 10^{-6} /s), que se utilizan comúnmente para revestimientos de toberas de cohetes, soportes de palas de turbinas y blindaje térmico de vehículos de reentrada. La baja densidad de la lámina de molibdeno (10,22 g/cm³) tiene una ventaja de peso sobre el tungsteno (19,25 g/cm³), que es adecuado para los requisitos de ligereza aeroespacial. Las láminas de molibdeno laminadas en frío se utilizan ampliamente en componentes de precisión, como sistemas de control térmico por satélite, debido a su alta precisión (tolerancia de espesor $\pm 0,005$ mm) y calidad superficial (Ra $\leq 0,4$ micras). En la producción de láminas de molibdeno aeroespacial, se utilizan procesos de sinterización al vacío y laminación de varias pasadas para garantizar que los granos sean pequeños (5-20 micras) para mejorar la resistencia y la tenacidad. El uso de láminas de molibdeno en el sector aeroespacial mejora significativamente la fiabilidad de los componentes bajo temperaturas extremadamente altas y tensiones mecánicas, como en los motores de cohetes y los sistemas de propulsión a alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.5 Láminas de molibdeno utilizadas en otros campos

En otros campos, las láminas de molibdeno se utilizan en aplicaciones médicas, energéticas y de investigación científica debido a su versatilidad. En el campo de la medicina, las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) se utilizan en objetivos de ánodo para equipos de rayos X y TC, que pueden soportar el bombardeo de electrones de alta energía debido a su alto punto de fusión y conductividad, generalmente de 0,1-1 mm de espesor, y la superficie debe pulirse a Ra 0,4 micras para garantizar la uniformidad de la radiación. En el sector energético, las láminas de molibdeno se utilizan en los electrodos traseros de las células solares de película delgada y en el blindaje contra la radiación de los reactores nucleares debido a su baja sección transversal de captura de neutrones térmicos y su estabilidad a alta temperatura (estable a 1500 °C). En el campo de la investigación científica, las láminas de molibdeno se utilizan ampliamente en experimentos de ciencia y física de materiales como sustrato de muestra o material de electrodo para experimentos de alta temperatura, y su grosor puede ser tan bajo como 0,01 mm para satisfacer las necesidades de experimentos de alta precisión. Otras aplicaciones incluyen el procesamiento de joyas (como moldes de alta temperatura) y la industria de la iluminación (como materiales de soporte de filamentos). En la producción, estas láminas de molibdeno se producen mediante procesos de laminación en frío y recocido al vacío para optimizar la estructura del grano y la calidad de la superficie para satisfacer necesidades específicas. A pesar de la variedad de aplicaciones, estas láminas de molibdeno se utilizan a menudo en vacío o en atmósfera inerte para evitar la oxidación a alta temperatura y garantizar un rendimiento constante.

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C, stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μ m – Ra 3.2 μ m

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

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

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 4 Proceso de producción y preparación de láminas de molibdeno

4.1 Preparación de las materias primas antes de la producción de láminas de molibdeno

El proceso de producción y preparación de las láminas de molibdeno comienza con la adquisición y el procesamiento de materias primas de alta calidad, que son los eslabones clave para garantizar el rendimiento de las láminas de molibdeno, que afectan directamente su pureza, microestructura y resultados finales de aplicación. La materia prima de las láminas de molibdeno se deriva principalmente del mineral de molibdeno, del cual la molibdenita (MoS_2) es la principal fuente de molibdeno. El proceso de preparación de la materia prima incluye la extracción de mineral, el beneficio y la purificación inicial para proporcionar polvo de molibdeno de alta pureza para los procesos posteriores de pulvimetalurgia y laminación. Las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD garantizan una alta pureza y consistencia de las materias primas a través de un estricto proceso de preparación de materias primas, y cumplen con los exigentes requisitos de las industrias aeroespacial, electrónica y de alta temperatura. A continuación se discutirán en detalle los tipos y características del mineral de molibdeno, los métodos de extracción y beneficio, centrándose en las características y distribución de la molibdenita, así como el proceso y los puntos clave de la minería a cielo abierto.

4.1.1 Tipos y características del mineral de molibdeno

El mineral de molibdeno es la materia prima básica para la producción de láminas de molibdeno, principalmente en forma de sulfuros, y la molibdenita (MoS_2) es el mineral de molibdeno más común, que representa la parte principal de los recursos mundiales de molibdeno. Otros tipos de mineral de molibdeno incluyen molibdato (por ejemplo, molibdato de calcio CaMoO_4) y óxido de molibdenita (por

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ejemplo, MoO_3). Sin embargo, es menos utilizado debido a las pequeñas reservas o a la dificultad de explotación. La molibdenita se ha convertido en la principal materia prima para la producción de láminas de molibdeno debido a su alto contenido de molibdeno (alrededor del 60% de molibdeno) y su fácil separación. Las propiedades del mineral de molibdeno afectan directamente el proceso de purificación y el rendimiento de la lámina final de molibdeno, por ejemplo, las impurezas en el mineral (como cobre, hierro, silicio) afectarán la pureza del polvo de molibdeno, que debe eliminarse mediante beneficio y tratamiento químico. Además, las propiedades físicas del mineral de molibdeno, como la dureza y la estructura cristalina, también afectan la eficiencia de trituración y beneficio. El mineral de molibdeno a menudo se asocia con mineral de pórfido de cobre u otros minerales de sulfuro, que requieren un complejo proceso de clasificación para extraer concentrado de molibdeno de alta calidad.

4.1.1.1 Características y distribución de la molibdenita

La molibdenita (MoS_2) es un mineral de sulfuro estratificado con un brillo de gris plateado a ferroso con una dureza de 1-1,5 en la escala de Mohs y una densidad de aproximadamente 4,7-5,0 g/cm^3 . Su composición química es principalmente molibdeno (59,94%) y azufre (40,06%), y la estructura cristalina es un sistema cristalino hexagonal, y la fuerza de unión entre capas es débil, lo que le da buena lubricidad y fácil pelado. La molibdenita es a menudo en escamas o escamas en la naturaleza y es fácil de separar por flotación. Es térmicamente estable y comienza a oxidarse para formar MoO_3 cuando se calienta a 600 °C en el aire, pero puede soportar temperaturas más altas (alrededor de 1200 °C) en una atmósfera inerte. La estabilidad química de la molibdenita la hace resistente al ataque de ácidos y álcalis, pero es fácil reaccionar con oxidantes (como el ácido nítrico), por lo que es necesario prestar atención al control ambiental en el proceso de beneficio y purificación. La distribución de los recursos de molibdenita en el mundo está concentrada, y las principales áreas de producción incluyen China (que representa alrededor del 40% de las reservas mundiales, principalmente en Henan, Shaanxi, Jilin y otros lugares), Estados Unidos (Colorado, Montana), Chile, Canadá y Australia. El área de Luanchuan de Luoyang, China, es el área minera de molibdeno más grande del mundo, con leyes de mineral que generalmente oscilan entre 0.1% y 0.3% (contenido de molibdeno), y los minerales de alta ley pueden alcanzar más del 0.5%. La molibdenita a menudo se asocia con minerales de sulfuro como el cobre, el plomo, el zinc, etc., y el contenido de elementos asociados (como el hierro y el cobre) debe controlarse estrictamente mediante beneficio para garantizar la pureza del polvo de molibdeno ($\geq 99,95\%$) para su posterior purificación.

4.1.2 Métodos de extracción y beneficio del mineral de molibdeno

La extracción y el beneficio del mineral de molibdeno es el paso central de la preparación de la materia prima, con el objetivo de extraer concentrado de molibdeno de alta ley del mineral de baja ley y proporcionar materias primas de alta calidad para la posterior purificación metalúrgica. Los métodos de minería se dividen en minería a cielo abierto y minería subterránea de acuerdo con las condiciones geológicas del depósito, y la minería a cielo abierto es dominante debido a su bajo costo y alta eficiencia, y es adecuada para grandes depósitos poco profundos. El método de beneficio utiliza principalmente la tecnología de flotación, combinada con la separación por gravedad, la separación magnética y otros medios auxiliares, para separar la molibdenita en el mineral de molibdeno de los minerales asociados y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

obtener un concentrado con $\geq 50\%$ de contenido de molibdeno. En el proceso de beneficio, el tamaño de partícula de molienda (generalmente hasta una malla de -200, aproximadamente 74 micras), los reactivos de flotación (como xantato, agente espumante) y el valor de pH (8-10) deben controlarse estrictamente para mejorar la tasa de recuperación de molibdenita (generalmente 85-95%). El concentrado de molibdeno después del beneficio debe tostarse aún más para producir óxido de molibdeno (MoO_3), que sienta las bases para la posterior reducción de hidrógeno para preparar el polvo de molibdeno. La eficiencia de beneficio y la pureza del concentrado afectan directamente el rendimiento de las láminas de molibdeno, por ejemplo, los altos niveles de impurezas (hierro, cobre) pueden reducir la conductividad y la resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno.

4.1.2.1 Proceso de extracción a cielo abierto de mineral de molibdeno y puntos clave

La minería a cielo abierto es el modo principal de minería de molibdeno, que es adecuado para depósitos con enterramiento de cuerpos de mineral poco profundos y grandes reservas, como Luanchuan en China y la mina Klemax en los Estados Unidos. El proceso incluye exploración, desmonte, voladura, carga, transporte y almacenamiento. Durante la fase de exploración, se utilizan métodos de perforación geológica y geofísicos para determinar la ubicación del cuerpo mineral, la ley (generalmente 0,1%-0,3% de molibdeno) y las reservas, y para desarrollar un plan minero. La fase de extracción elimina la capa superior del suelo y la roca estéril que cubre el cuerpo mineral, y la relación de extracción (relación entre la roca estéril y el volumen de mineral) suele ser de 3:1 a 10:1 y debe optimizarse para reducir los costos. La voladura utiliza explosivos controlados con precisión (como el nitrato de amonio) para triturar el cuerpo mineral, el tamaño del orificio de voladura es generalmente de 100-250 mm y el tamaño de partícula del mineral se controla a 0,1-1 m después de la voladura para la trituración posterior. Se utilizan excavadoras grandes (10-30 metros cúbicos de capacidad de cucharón) y camiones volquete (50-200 toneladas de carga) para transportar el mineral a la concentradora. En la etapa de apilamiento, es necesario clasificar y apilar según el grado para evitar la mezcla de minerales de alta y baja ley.

Los puntos clave de la minería a cielo abierto incluyen: optimizar el diseño de la voladura para reducir la dilución del mineral (objetivo $< 10\%$) y mejorar la consistencia de la ley; el segundo es utilizar equipos de alta eficiencia, como palas eléctricas y camiones pesados, para mejorar la eficiencia de la producción (hasta 100.000 toneladas de mineral por día); El tercero es la protección del medio ambiente, controlando el polvo de voladura (supresión de polvo mediante pulverización) y la descarga de aguas residuales (tasa de reciclaje $> 80\%$), de acuerdo con la normativa de protección del medio ambiente. El mineral de molibdeno a cielo abierto ingresa al proceso de beneficio después de la trituración preliminar, proporcionando materias primas de alta calidad para la producción de láminas de molibdeno.

4.1.2.2 Métodos de extracción subterránea de mineral de molibdeno

La producción de láminas de molibdeno se basa en materias primas de mineral de molibdeno de alta calidad, mientras que la minería subterránea es la adquisición de mineral de molibdeno (MoS_2) en condiciones geológicas profundas o complejas. Es adecuado para depósitos donde el cuerpo mineral está enterrado profundamente o las condiciones de la superficie no son adecuadas para la minería a cielo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

abierto, como algunas minas de molibdeno en Jilin, China o Canadá. El proceso de minería subterránea incluye la construcción de minas, carreteras, minería a voladura, elevación de mineral y transporte de superficie. La construcción de la mina comienza con la apertura del yacimiento a través de pozos verticales o inclinados, dotados de sistemas de ventilación, drenaje y elevación para garantizar la seguridad de las operaciones. La construcción de túneles en carretera adopta el método de rozadora o voladura, y las carreteras horizontales o inclinadas se colocan a lo largo del cuerpo mineral, y el tamaño de la carretera suele ser de 3 a 5 metros de ancho y 3 a 4 metros de alto. En la etapa de minería, se adopta principalmente el método de sala y pilar o el método de llenado, y el método de sala y pilar soporta el techo reteniendo el pilar de mineral, y la tasa de recuperación es de aproximadamente 70-80%; El método de llenado llena la cabra con relaves o cemento, y la tasa de recuperación puede alcanzar más del 90%, pero el costo es alto. La voladura utiliza cargas de precisión, como explosivos de emulsión, para romper el mineral a un tamaño de partícula de 0,1-0,5 metros, que luego se eleva a la superficie mediante cargadores y vagonetas.

Los puntos clave de la minería subterránea incluyen: en primer lugar, la gestión de la seguridad, que requiere un control estricto de la ventilación (volumen de aire $\geq 3 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{persona}$) y el soporte (anclajes, malla de acero) para evitar el colapso; El segundo es optimizar la secuencia de extracción, dar prioridad a la extracción de yacimientos de alta ley (0,2-0,5% de contenido de molibdeno) y reducir la tasa de dilución (objetivo <15%); El tercero es la conservación de energía y la protección del medio ambiente, utilizando equipos de bajo consumo de energía (como cargadores eléctricos) y relleno de relaves para reducir el impacto ambiental. El mineral de molibdeno extraído bajo tierra ingresa al proceso de beneficio después de la trituración preliminar, proporcionando materias primas estables para la producción de láminas de molibdeno.

4.1.2.3 Principios y procesos del método de flotación para el mineral de molibdeno

La flotación es el método central de beneficio de molibdenita, que se usa ampliamente para extraer concentrado de molibdeno de alta ley de molibdenita de baja calidad, y su principio se basa en la diferencia entre la hidrofobicidad de la molibdenita y la hidrofiliidad de los minerales asociados. La molibdenita (MoS_2) es naturalmente hidrofóbica en la superficie y es fácilmente adsorbida por colectores (como el xantato o el mercaptano) y se adhiere a las burbujas, mientras que los minerales asociados (como el cuarzo, el feldespato) son altamente hidrófilos y permanecen en la suspensión. El proceso de flotación consta de cinco etapas: trituración, molienda, lodo, flotación y deshidratación. La trituración tritura el mineral en bruto (tamaño de grano de 0,1-1 m) a 10-50 mm, y la molienda muele aún más el mineral a una malla de -200 (aproximadamente 74 micras), de modo que el grado de disociación del monómero de molibdenita alcanza más del 80%. En la etapa de acondicionamiento de la lechada, se añadió un colector (por ejemplo, xantato de butilo, 0,1-0,3 kg/t), un agente espumante (por ejemplo, terpineol, 0,05-0,1 kg/t) y un inhibidor (por ejemplo, silicato de sodio, 0,5-1 kg/t) para ajustar el pH de la suspensión a 8-10 para optimizar el efecto de flotación. La flotación se lleva a cabo en una celda de flotación, donde se agitan las burbujas (aire o nitrógeno) para llevar molibdenita a la capa de espuma para producir un concentrado de molibdeno (50-60% de contenido de molibdeno) con una tasa de recuperación típicamente del 85-95%. Los relaves se recuperan aún más mediante flotación de múltiples

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

etapas para recuperar el molibdeno residual. La deshidratación reduce la humedad del concentrado a menos del 10% mediante un espesante y un filtro prensa. Las ventajas de la flotación son que es altamente eficiente y adaptable, y puede tratar minerales de baja ley (0,1-0,3% de contenido de molibdeno), pero necesita controlar estrictamente la cantidad de productos químicos y el tratamiento de aguas residuales (tasa de reciclaje > 80%) para reducir la contaminación ambiental. El concentrado de molibdeno obtenido por flotación proporciona materias primas de alta calidad para su posterior tostado y purificación.

4.1.2.4 Principios y procesos del método de separación por gravedad para el mineral de molibdeno

El método de separación por gravedad es un método auxiliar para el beneficio de molibdenita, que utiliza la diferencia de densidad entre la molibdenita (densidad 4,7-5,0 g/cm³) y los minerales asociados (como el cuarzo, densidad 2,65 g/cm³) para la separación, que es adecuada para la recuperación de molibdenita de grano grueso o minerales pesados asociados. El principio de separación por gravedad se basa en la sedimentación por gravedad o la fuerza centrífuga, y la molibdenita se asienta rápidamente en el equipo de separación por gravedad debido a su alta densidad, mientras que los minerales ligeros de ganga son lavados. El proceso de separación por gravedad incluye trituración, molienda, clasificación, separación por gravedad y deshidratación. El mineral en bruto se tritura primero a 50-100 mm y se muele a 0,5-2 mm para liberar partículas de molibdenita. La clasificación se realiza mediante un clasificador en espiral o hidrociclón para dividir el lodo en granos gruesos y finos, y los granos gruesos (>0,5 mm) ingresan al equipo de separación por gravedad. Las plantillas o agitadores se usan comúnmente para la separación por gravedad, y la máquina de jigging estratifica las partículas de mineral de acuerdo con la densidad a través del flujo de agua pulsante, y la molibdenita se hunde en la capa inferior para producir concentrado grueso (contenido de molibdeno 20-40%); El agitador utiliza el flujo de agua lateral y la vibración para lograr una tasa de recuperación del 70-85%. La lechada de grano fino (<0,5 mm) generalmente se transfiere al proceso de flotación. La deshidratación reduce la humedad del concentrado de separación por gravedad a menos del 10%. Las ventajas de la separación por gravedad son que el equipo es simple, el costo es bajo y es adecuado para procesar mineral de grano grueso de alta ley (contenido de molibdeno >0.3%), pero es menos eficiente para mineral de grano fino y, a menudo, se usa en combinación con la flotación. El concentrado de separación por gravedad necesita una mayor flotación y purificación para proporcionar materias primas de alta calidad para la producción de láminas de molibdeno.

4.1.2.5 Principios y procesos de separación magnética del mineral de molibdeno

La separación magnética es un medio auxiliar de beneficio del mineral de molibdeno, que se utiliza para eliminar las impurezas magnéticas (como la magnetita, Fe₃O₄) o los minerales magnéticos asociados en la molibdenita y mejorar la pureza del concentrado de molibdeno. El principio de separación magnética se basa en las diferencias magnéticas de los minerales, la molibdenita es un material no magnético (susceptibilidad magnética < 10⁻⁶ cm³/g), mientras que la magnetita tiene un fuerte magnetismo (susceptibilidad magnética 10²-10³ cm³/g), que se adsorbe fácilmente en el campo magnético. El proceso de separación magnética incluye trituración, molienda, separación magnética y deshidratación. El mineral en bruto se tritura a 50-100 mm y se muele a una malla de -200 (aproximadamente 74 micras)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para disociar las impurezas magnéticas de la molibdenita. La separación magnética adopta un separador magnético húmedo, la intensidad del campo magnético suele ser de 0,1-0,6 T, las impurezas magnéticas se adsorben en el tambor magnético y la molibdenita no magnética fluye con la suspensión para producir un preconcentrado (contenido de molibdeno 10-30%). Después de la separación magnética, la suspensión generalmente ingresa al proceso de flotación para una mayor purificación. La deshidratación reduce la humedad del concentrado a menos del 10% mediante concentradores y filtros prensa. La ventaja de la separación magnética es que puede eliminar eficazmente las impurezas ferromagnéticas (como el contenido de hierro del 1% a menos del 0,1%) y mejorar la calidad del concentrado de molibdeno, pero es ineficaz contra las impurezas no magnéticas (como el cuarzo) y debe usarse en combinación con otros métodos de beneficio. El equipo de separación magnética debe recibir un mantenimiento regular para garantizar que el campo magnético sea estable, y la tasa de reciclaje de aguas residuales debe alcanzar más del 80% para cumplir con los requisitos de protección ambiental. El concentrado de molibdeno pretratado por separación magnética proporciona una materia prima de baja impureza para la posterior purificación y producción de láminas de molibdeno.

4.1.3 Refinación y conversión de concentrado de molibdeno

El refinado y la conversión del concentrado de molibdeno es un paso clave en la conversión del concentrado de molibdeno (principalmente molibdenita, MoS_2) obtenido por beneficio en compuestos de molibdeno de alta pureza o polvo metálico de molibdeno, que proporciona materias primas de alta calidad para la posterior producción de láminas de molibdeno. El proceso de refinación elimina principalmente impurezas como el azufre y el hierro a través de un tostado oxidativo combinado con hidrometalurgia (como la lixiviación de amoníaco o la lixiviación ácida) para obtener óxido de molibdeno (MoO_3) o molibdato de amonio de alta pureza ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$), y finalmente el polvo de molibdeno se prepara por reducción. La elección del proceso de refinación afecta directamente la pureza del polvo de molibdeno (se requiere un $99,95\% \geq$ para satisfacer la demanda de láminas de molibdeno de alta pureza), la distribución del tamaño de partícula y el costo de producción. A través de la tecnología de refinación avanzada, las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD garantizan la alta pureza y consistencia de las materias primas y satisfacen las necesidades de aplicaciones de alta gama como la electrónica y la aeroespacial. A continuación se analiza en detalle el método de lixiviación de amoníaco por tostado oxidativo, el proceso de refinación por lixiviación ácida de tostado oxidativo y el proceso de preparación de polvo de molibdeno de concentrado de molibdeno.

4.1.3.1 Tostado oxidativo-proceso de refinado de lixiviación de amoníaco del concentrado de molibdeno

La lixiviación oxidativa de amoníaco es el proceso principal para refinar el concentrado de molibdeno, que es adecuado para la producción de compuestos de molibdeno de alta pureza y es ampliamente utilizado en la preparación de materias primas de láminas de molibdeno de alta pureza. El principio es que la molibdenita (MoS_2) se oxida a óxido de molibdeno (MoO_3) mediante tostado a alta temperatura y luego se disuelve con amoníaco para producir molibdato de amonio soluble, que luego se purifica por cristalización. El proceso consta de cinco etapas: tostado, lixiviación de amoníaco, filtración,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cristalización y secado. La etapa de tostado se lleva a cabo en un horno rotatorio o en un horno multicámara a una temperatura controlada a 550-650 °C, y se introduce aire para oxidar MoS_2 a MoO_3 . Al mismo tiempo, el azufre se convierte en SO_2 (que requiere un tratamiento de gases residuales para cumplir con los estándares ambientales, y la tasa de recuperación de SO_2 es >95%). Después del tostado, el concentrado de molibdeno (contenido de molibdeno 50-60%) se convierte en óxido de molibdeno crudo (contenido de molibdeno > 95%), y las impurezas como el hierro y el cobre se volatilizan u oxidan parcialmente. En la etapa de lixiviación de amoníaco, el óxido de molibdeno crudo se hace reaccionar con agua de amoníaco (concentración 10-15%) a 50-70 °C y pH 8-9 para generar una solución de molibdato de amonio, y las impurezas insolubles como el hierro y el silicio se filtran y separan. La solución de molibdato de amonio filtrada se cristaliza por evaporación para obtener cristales de molibdato de amonio de alta pureza (pureza $\geq 99,5\%$), que finalmente se secan a 120-150 °C. La ventaja del método de lixiviación de amoníaco es que la eficiencia de purificación es alta y el contenido de impurezas (como hierro y cobre) se puede reducir a menos de 50 ppm, lo que es adecuado para la producción de materias primas de láminas de molibdeno de alta pureza. Sin embargo, el uso de agua amoniacal requiere un control estricto del tratamiento de líquidos residuales (tasa de recuperación de amoníaco > 90%) para reducir la contaminación ambiental. El molibdato de amonio producido por este proceso proporciona materias primas de alta pureza para la posterior preparación del polvo de molibdeno.

4.1.3.2 Proceso de refinado de tostación oxidativa por lixiviación ácida del concentrado de molibdeno

La lixiviación oxidativa con ácido de tostado es otro proceso de refinación de concentrado de molibdeno comúnmente utilizado, que es adecuado para procesar concentrado de molibdeno que contiene impurezas complejas, especialmente cuando hay muchos metales asociados como el cobre y el plomo. El principio es oxidar la molibdenita a óxido de molibdeno (MoO_3) mediante tostado y luego disolver las impurezas con una solución ácida para retener el óxido de molibdeno de alta pureza. El proceso incluye tostado, decapado, filtración, lavado y secado. La etapa de tostado es similar al método de lixiviación de amoníaco, que se lleva a cabo en una atmósfera de aire de 550-650 °C, donde la molibdenita se oxida a MoO_3 y el azufre se convierte en SO_2 (se requiere un dispositivo de absorción de gases de escape de alta eficiencia y la tasa de eliminación de SO_2 es >95%). En la etapa de lixiviación ácida, el óxido de molibdeno crudo se hace reaccionar con ácido clorhídrico diluido (concentración 5-10%) o ácido sulfúrico a 60-80 °C para disolver impurezas como hierro, cobre y calcio, mientras que el MoO_3 se retiene porque es insoluble en ácido diluido. Después de filtrar y separar la solución de impurezas, los sólidos de óxido de molibdeno se lavan varias veces con agua desionizada para garantizar que el contenido de impurezas (por ejemplo, hierro, cobre) se reduzca a menos de 100 ppm. El óxido de molibdeno lavado se seca a 150-200 °C para obtener óxido de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,5\%$).

Las ventajas del método de lixiviación ácida son que puede eliminar eficazmente una variedad de impurezas metálicas y la adaptabilidad del proceso es fuerte, lo que es adecuado para el tratamiento de minerales complejos o de baja ley, pero el costo del tratamiento de líquidos residuales ácidos es alto (debe neutralizarse a pH 6-8 antes de la descarga). En comparación con el método de lixiviación de amoníaco, el método de lixiviación ácida es más simple de operar, pero la pureza es ligeramente menor

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y es adecuado para la producción de materia prima de láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99% - 99.9%). El óxido de molibdeno obtenido proporciona una base fiable para la posterior preparación del polvo de molibdeno.

4.1.3.3 Preparación de polvo de molibdeno a partir de extractos de concentrado de molibdeno

El extracto de concentrado de molibdeno (óxido de molibdeno o molibdato de amonio) se convierte en polvo de molibdeno de alta pureza mediante un proceso de reducción de hidrógeno, que proporciona la materia prima final para la producción de láminas de molibdeno. El principio es utilizar hidrógeno para reducir el MoO_3 o $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ a molibdeno metálico a altas temperaturas, al tiempo que se eliminan el oxígeno y las impurezas residuales. El proceso incluye reducción, cribado y control de calidad. La fase de reducción tiene lugar en un horno tubular o en un horno rotatorio y se lleva a cabo en dos etapas: la primera etapa reduce el MoO_3 o molibdato de amonio a MoO_2 a 400-600 °C en una corriente de gas hidrógeno (pureza $\geq 99,99\%$ y caudal de 1-2 m^3/h)., al mismo tiempo libera vapor de agua y amoníaco (es necesario tratamiento con gas de cola); El segundo paso se reduce aún más a polvo de molibdeno metálico a 900-1100 °C, el tamaño de partícula suele ser de 1-10 micras y la pureza puede alcanzar más del 99,95%.

Durante el proceso de reducción, la pureza del hidrógeno y la atmósfera en el horno deben controlarse estrictamente para evitar la oxidación (contenido de oxígeno < 50 ppm) debido a los residuos de oxígeno. Durante la etapa de cribado, se utiliza una criba vibratoria (malla 100-200) para eliminar partículas grandes o aglomerados para garantizar que el tamaño de partícula del polvo de molibdeno sea uniforme (aproximadamente 2-5 micras para D50). El control de calidad se realiza mediante la detección de impurezas (por ejemplo, hierro, cobre < 20 ppm) y difracción de rayos X para confirmar la estructura cristalina (cubo centrado en el cuerpo). Las propiedades del polvo de molibdeno afectan directamente la calidad de las láminas de molibdeno, por ejemplo, el tamaño de partícula fino y uniforme es propicio para la densidad de sinterización (>98%), y la alta pureza garantiza la conductividad y la resistencia a la corrosión. El polvo de molibdeno preparado se procesa posteriormente en láminas de molibdeno a través de pulvimetalurgia y laminación para satisfacer las necesidades de la industria aeroespacial, electrónica y otros campos.

4.2 Proceso de moldeo de lámina de molibdeno

El proceso de moldeo de la lámina de molibdeno es un paso clave para transformarla de polvo de molibdeno de alta pureza o blanco de molibdeno en un material de lámina con espesor, tamaño y propiedades específicas, que determina directamente las propiedades mecánicas, la calidad de la superficie y la adaptabilidad de la aplicación de la lámina de molibdeno. El proceso de formación incluye principalmente pulvimetalurgia y proceso de laminación, en el que el proceso de laminación se divide a su vez en dos formas: laminación en caliente y laminación en frío. Estos procesos optimizan la estructura del grano, la resistencia y la ductilidad de las láminas de molibdeno mediante el control preciso de la temperatura, la deformación y las condiciones ambientales para satisfacer las necesidades de industrias como la electrónica, la aeroespacial y las industrias de alta temperatura. La lámina de molibdeno CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GROUP LTD se fabrica a través de tecnología de moldeo avanzada para garantizar la alta precisión y consistencia de los productos. A continuación se discutirán en detalle las características del proceso, las influencias de rendimiento y las ventajas de aplicación de la pulvimetalurgia para la preparación de láminas de molibdeno, la preparación de láminas de molibdeno mediante un proceso de laminación en caliente y la preparación de láminas de molibdeno mediante un proceso de laminación en frío.

4.2.1 Preparación de láminas de molibdeno por pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia es el proceso de formación básico para la producción de láminas de molibdeno, que es adecuado para la preparación de láminas de molibdeno de alta pureza y estructura homogénea, especialmente para la producción de láminas de molibdeno ultrafinas (espesor 0,01-0,1 mm) o componentes de forma compleja. El proceso incluye el prensado del polvo de molibdeno, la sinterización y el posterior procesamiento. El polvo de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99.95\%$, tamaño de partícula 1-10 micras) se presiona en espacios en blanco mediante prensado isostático en frío (presión 100-200 MPa), y la forma de los espacios en blanco se puede personalizar de acuerdo con los requisitos (como placas o varillas). La pieza en bruto prensada se sinteriza al vacío o en una atmósfera protectora de hidrógeno, la temperatura se controla a 1800-2000 °C y el tiempo de sinterización es de 2 a 6 horas, de modo que las partículas de polvo de molibdeno se combinan por difusión para formar un cuerpo verde denso, y la densidad es superior al 98%. Durante el proceso de sinterización, el tamaño de grano se controla entre 10 y 50 micras para equilibrar la resistencia y la tenacidad. La resistencia a la tracción de la palanquilla sinterizada es de aproximadamente 500-700 MPa y la densidad está cerca del valor teórico (10,22 g / cm³). Para una mayor preparación de las láminas, la palanquilla sinterizada se lamina o forja, y la superficie se decapa o pule con una rugosidad de Ra 0,8-1,6 micras. La ventaja de la pulvimetalurgia es que puede producir láminas de molibdeno con alta pureza y estructura uniforme, con un bajo contenido de impurezas (hierro, cobre < 20 ppm), que es adecuado para objetivos semiconductores y componentes de hornos de alta temperatura. Sin embargo, el proceso es complejo y costoso, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta precisión, como objetivos de pulverización catódica en la industria electrónica o blindaje contra la radiación en la industria nuclear.

4.2.2 Preparación de la lámina de molibdeno mediante proceso de laminación

El proceso de laminación es el método de conformado más utilizado en la producción de láminas de molibdeno, en el que la palanquilla de molibdeno sinterizado se adelgaza progresivamente hasta obtener el espesor deseado al tiempo que mejora sus propiedades mecánicas y la calidad de la superficie. El laminado se divide en dos métodos: laminado en caliente y laminado en frío, que son adecuados para láminas de molibdeno con diferentes requisitos de espesor y rendimiento. El proceso de laminación se lleva a cabo en vacío o en una atmósfera inerte (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación a altas temperaturas y para garantizar que no se forme MoO₃ volátil en la superficie de la lámina de molibdeno. Durante el proceso de laminación, la cantidad de deformación, la temperatura de laminación y el proceso de recocido afectan directamente el tamaño de grano, la resistencia y la ductilidad de las láminas de molibdeno. El laminado en caliente es adecuado para la producción de láminas de molibdeno más gruesas (0,5-3 mm), mientras que el laminado en frío se utiliza para láminas de molibdeno ultrafinas (0,01-0,1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm). La resistencia a la tracción de la lámina de molibdeno laminada puede alcanzar los 800-1200 MPa, y la rugosidad de la superficie puede ser tan baja como Ra 0,4 micras mediante pulido, lo que cumple con los requisitos de precisión de la electrónica, la industria aeroespacial y otros campos.

4.2.2.1 Preparación de láminas de molibdeno mediante proceso de laminación en caliente

El proceso de laminación en caliente prepara láminas de molibdeno con un espesor de 0,5-3 mm laminando la palanquilla de molibdeno a alta temperatura (1000-1400 °C) durante múltiples pasadas, lo que es adecuado para componentes de hornos de alta temperatura y piezas estructurales aeroespaciales. Las palanquillas de molibdeno (generalmente preparadas por pulvimetalurgia) se procesan en un tren de laminación en caliente al vacío o con protección de gas inerte con una deformación controlada del 20-30% por rollo para evitar el agrietamiento. Durante el proceso de laminación en caliente, los granos de molibdeno se someten a una recristalización dinámica y el tamaño del grano es mayor (50-100 micras), lo que le da a la lámina de molibdeno una buena ductilidad (alargamiento a la rotura 10-15%) y una baja tensión interna. La resistencia a la tracción de la lámina de molibdeno laminada en caliente es de aproximadamente 600-800 MPa a temperatura ambiente, y aún puede alcanzar los 500 MPa a alta temperatura (1200 °C), lo que es adecuado para entornos de alta temperatura. La rugosidad de la superficie es generalmente Ra 1.0-2.0 micras y se puede optimizar mediante decapado o arenado. Las ventajas del proceso de laminación en caliente son que tiene una alta eficiencia de producción, es adecuado para la producción en masa y tiene un costo menor que el método de pulvimetalurgia, pero la tolerancia de espesor ($\pm 0,05$ mm) es ligeramente inferior a la del laminado en frío. Las láminas de molibdeno laminadas en caliente se utilizan ampliamente en elementos calefactores para hornos de alta temperatura, revestimientos resistentes a la corrosión para equipos químicos y estructuras de soporte de alta temperatura para la industria aeroespacial, donde su resistencia a altas temperaturas y resistencia a la fluencia (tasa de fluencia 10^{-6} /s) garantizan la estabilidad a largo plazo.

4.2.2.2 Preparación de láminas de molibdeno mediante proceso de laminación en frío

El proceso de laminación en frío es el laminado adicional de láminas de molibdeno laminadas en caliente o piezas en bruto de molibdeno sinterizado a temperatura ambiente o cerca de ella para producir láminas de molibdeno ultrafinas con un espesor de 0,01-1 mm, adecuadas para aplicaciones electrónicas y microelectrónicas de alta precisión. El laminado en frío utiliza molinos de cuatro o varios rodillos de alta precisión, y la cantidad de deformación se controla en un 10-20% cada vez para evitar grietas causadas por el endurecimiento por trabajo. Las láminas de molibdeno laminadas en frío tienen un tamaño de grano pequeño (5-20 micras), una alta densidad de dislocación y una resistencia a la tracción de hasta 900-1200 MPa, pero baja ductilidad (alargamiento a la rotura 5-8%). Para mejorar la tenacidad, el recocido de alivio de tensiones (800-1100 °C) se lleva a cabo después del laminado en frío, de modo que el alargamiento a la rotura aumenta al 10-12% y la resistencia se reduce ligeramente a 800-1000 MPa. La calidad de la superficie de la lámina de molibdeno laminada en frío es excelente, la rugosidad después del pulido puede alcanzar Ra 0,4 micras y la tolerancia de espesor se controla a $\pm 0,005$ mm, lo que satisface las necesidades de objetivos semiconductores y sustratos flexibles. El proceso de laminación en frío tiene la ventaja de producir láminas de molibdeno ultrafinas y de alta resistencia para aplicaciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de alta precisión, pero con altos requisitos de equipo y un estricto control de lubricantes (generalmente lubricación a base de aceite) para evitar defectos superficiales. Las láminas de molibdeno laminadas en frío se utilizan ampliamente en la deposición de películas delgadas, empaques de semiconductores y dispositivos médicos como ánodos de tubos de rayos X, donde su alta resistencia y excelente calidad de superficie mejoran significativamente el rendimiento del dispositivo.

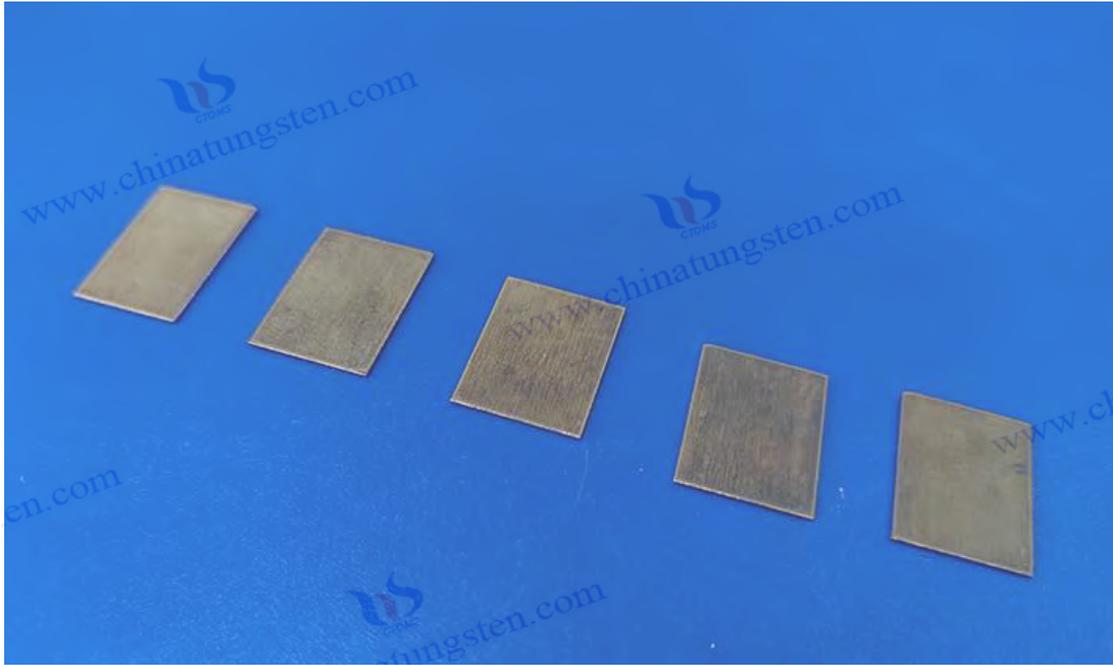


Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 5 Equipos de producción y ensayos de rendimiento de láminas de molibdeno

5.1 Equipo de minería para mineral de molibdeno

La extracción de mineral de molibdeno es el primer paso en la producción de láminas de molibdeno, y la selección del equipo afecta directamente la eficiencia y el costo de la obtención de materias primas. De acuerdo con las condiciones geológicas del depósito, el equipo de minería se divide en equipos de minería a cielo abierto y equipos de minería subterránea, que son adecuados para depósitos grandes poco profundos y depósitos complejos profundos. Las [láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD](#) confían en equipos de minería eficientes para garantizar el suministro estable y de alta calidad de materias primas de molibdenita (MoS_2). La siguiente es una discusión detallada de los tipos, funciones y puntos de aplicación de los equipos de minería a cielo abierto y subterráneos.

5.1.1 Equipos de minería a cielo abierto para mineral de molibdeno

Los equipos de minería a cielo abierto se utilizan para procesar depósitos de molibdenita enterrados a poca profundidad, como Luanchuan en Luoyang en China o Klemax en los Estados Unidos, e incluyen principalmente plataformas de perforación, equipos de voladura, excavadoras, camiones volquete y cargadores. Para la perforación previa a la voladura se utilizan equipos de perforación (por ejemplo, equipos de perforación rotativos o de fondo de pozo), normalmente con un diámetro de barra de 100-250 mm y una tasa de penetración de hasta 20-50 m/h, equipados con un sistema de posicionamiento GPS de alta precisión para optimizar el diseño de la voladura. El equipo de voladura utiliza explosivos de nitrato de amonio o emulsión, y la voladura se controla con precisión mediante detonadores electrónicos para triturar el mineral hasta un tamaño de partícula de 0,1-1 metro, reduciendo la tasa de dilución (objetivo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

< 10%). Las excavadoras (por ejemplo, palas eléctricas o excavadoras hidráulicas, de 10-30 m³ de capacidad) se encargan de la extracción de roca estéril y de la extracción de mineral con una capacidad de producción de 5.000-10.000 t/h. Los camiones volquete (50-200 toneladas, por ejemplo, Caterpillar 797F) se utilizan para transportar el mineral a los concentradores y están equipados con sistemas de navegación automática para mejorar la eficiencia del transporte. Los cargadores (por ejemplo, cargadores de ruedas, con una capacidad de cucharón de 5 a 15 metros cúbicos) se utilizan para el apilamiento y la transferencia de mineral y roca estéril. Los puntos clave incluyen: alta resistencia al desgaste para hacer frente a la dureza de la molibdenita (1-1,5 en la escala de Mohs), voladura y excavación para reducir las relaciones de decapado (3:1 a 10:1); Las medidas medioambientales, como la supresión del polvo por pulverización (concentración de polvo < 10 mg/m³) y el reciclaje de aguas residuales (> 80%) se aplican estrictamente. La sinergia eficiente de estas instalaciones garantiza que la minería a cielo abierto proporcione mineral de molibdeno de alta ley (0,1-0,5% de molibdeno).

5.1.2 Equipos de minería subterránea para mineral de molibdeno

El equipo de minería subterránea es adecuado para depósitos de molibdenita con condiciones geológicas profundas o complejas, como Jilin, China o partes de Canadá, que incluyen principalmente rozadoras, perforadoras de rocas, cargadores, camiones mineros y sistemas de elevación. Las tuneladoras (por ejemplo, tuneladoras de sección completa o excavadoras de anclaje) se utilizan para excavar túneles a una velocidad de aprox. 5-10 m/día y están equipadas con navegación láser para garantizar la precisión de la carretera (desviación < 5 cm). Para la voladura y la perforación se utilizan perforadoras de roca (por ejemplo, equipos de perforación hidráulica), con un diámetro de barreno de 50-100 mm y una eficiencia de perforación de 10-20 m/h, adecuados para la minería de espacio y pilar o de relleno y relleno. Los cargadores (por ejemplo, raspadores, capacidad del cucharón de 2-5 m³) se encargan de cargar el mineral triturado (tamaño de partícula de 0,1-0,5 m) y están equipados con cadenas para la nieve para adaptarse a las carreteras resbaladizas. Las vagonetas (10-30 toneladas) transportan el mineral al pozo de elevación a través de un sistema de orugas o sin orugas, que (por ejemplo, un cabrestante o cabrestante, 500-2000 kW) eleva el mineral a la superficie con una eficiencia de 1000-5000 toneladas/día. Los puntos clave incluyen: el equipo debe ser lo suficientemente compacto como para adaptarse a pasillos estrechos (3-5 m de ancho y 3-4 m de alto); Sistema de ventilación (volumen de aire $\geq 3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{persona}$) para garantizar la seguridad de la operación; Los controles automatizados, como los martillos operados a distancia, aumentan la eficiencia y reducen los riesgos laborales. Los equipos de minería subterránea requieren un mantenimiento regular para hacer frente al alto desgaste, lo que garantiza la recuperación del mineral (70-90%) y la consistencia de la ley, y proporciona una materia prima estable para la producción de láminas de molibdeno.

5.2 Equipos de procesamiento de mineral de molibdeno

El equipo de beneficio se utiliza para procesar mineral de molibdeno de baja ley (0.1-0.3% de contenido de molibdeno) en concentrado de molibdeno de alta ley (50-60% de contenido de molibdeno), que es el eslabón central en la preparación de materias primas para la producción de láminas de molibdeno. El equipo de procesamiento de minerales incluye equipos de trituración, equipos de molienda, equipos de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

clasificación y equipos de flotación, que separan la molibdenita de los minerales asociados (como el cuarzo y la magnetita) mediante métodos físicos y químicos. A continuación se presenta un análisis detallado de las funciones, el rendimiento y los puntos clave de funcionamiento de estos dispositivos.

5.2.1 Equipo de trituración de mineral de molibdeno

La planta de trituración se utiliza para triturar el mineral en bruto (0,1-1 m) hasta un tamaño de partícula adecuado (10-50 mm) para su beneficio, sentando las bases para la posterior molienda y flotación. El equipo principal incluye trituradora de mandíbula, trituradora de cono y trituradora de impacto. Las trituradoras de mandíbula (por ejemplo, serie PE, potencia 75-200 kW) se utilizan para la trituración primaria, con una capacidad de procesamiento de 100-1000 t/h, trituración de mineral a 50-150 mm, adecuada para molibdenita de alta dureza. Las trituradoras de cono (por ejemplo, la serie HP, 200-500 kW) se utilizan para la trituración secundaria con un tamaño de partícula de 10-50 mm y una relación de trituración de hasta 4:1 y están equipadas con un sistema de ajuste hidráulico para garantizar un tamaño de partícula uniforme. La trituradora de impacto se utiliza para la trituración fina, adecuada para minerales con un gran contenido de ganga, y produce un tamaño de partícula de 5-20 mm. Los puntos clave incluyen: el equipo debe estar equipado con revestimientos resistentes al desgaste (por ejemplo, acero con alto contenido de manganeso) para hacer frente a la naturaleza abrasiva del molibdeno; La criba vibratoria (orificio de criba de 10-50 mm) se utiliza en combinación con la trituradora para garantizar que el tamaño de partícula cumpla con los requisitos; El control de polvo (eliminación de pulverizaciones o bolsas, concentración de polvo $<10 \text{ mg/m}^3$) cumple con las normas medioambientales. El funcionamiento eficiente de la planta de trituración garantiza que el mineral esté completamente disociado y proporciona insumos de alta calidad para el beneficio.

5.2.2 Equipo de molienda para mineral de molibdeno

El equipo de molienda refina aún más el mineral triturado a una malla de -200 (aproximadamente 74 micras), de modo que el grado de disociación del monómero de molibdenita alcanza más del 80%, lo que cumple con los requisitos de flotación. El equipo principal es un molino de bolas y un molino de barras. Los molinos de bolas (por ejemplo, la serie MQG, 200-1000 kW) se muelen mediante bolas de acero (20-100 mm de diámetro) y colisiones de mineral, con una capacidad de 50-500 t/h y una finura de molienda de malla de 70-80%-200, equipados con un sistema de control automático para optimizar la velocidad de avance y la velocidad (20-30 rpm).

El molino de varillas se utiliza para la molienda gruesa o minerales que contienen arcilla, y las varillas de acero (2-3 m de longitud) se reducen para la molienda excesiva y producen un tamaño de grano de 0,5-2 mm. Los puntos clave incluyen: el medio de molienda debe cambiarse regularmente para mantener la eficiencia (consumo de bolas de 0,5-1 kg/t); La molienda húmeda (relación agua-mineral 1:1-2:1) reduce el polvo y mejora la disociación; La molienda en circuito cerrado se combina con clasificadores para garantizar una distribución uniforme del tamaño de partícula (D50 aprox. 50-100 micras). La alta eficiencia del equipo de molienda tiene un impacto directo en la tasa de recuperación de flotación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.3 Equipos de clasificación para mineral de molibdeno

Los clasificadores se utilizan para separar la lechada molida por tamaño de partícula y optimizar la eficiencia de la flotación, y los equipos comúnmente utilizados incluyen clasificadores en espiral e hidrociclones. Los clasificadores en espiral (p. ej., serie FG, potencia 5-15 kW) separan las cuchillas gruesas (>0,15 mm) de las finas (<0,15 mm) a través de las espirales, con una capacidad de 20-200 t/h y una eficiencia de clasificación del 70-85%.

Los hidrociclones (por ejemplo, serie FX, presión de entrada de 0,1-0,3 MPa) utilizan la fuerza centrífuga para clasificar lodos de grano fino (<0,1 mm) con una alta precisión de clasificación (error <5%) y una capacidad de 10-100 m³/h. Los puntos clave incluyen: el clasificador debe tener un ciclo de circuito cerrado con el molino, y la relación de retorno (100-300%) debe optimizarse para reducir la molienda excesiva; Revestimientos de equipos (por ejemplo, poliuretano) para mejorar la resistencia al desgaste; La tasa de reciclaje de aguas residuales > del 80% para reducir el consumo de agua. El equipo de clasificación garantiza que el tamaño de partícula de molibdenita sea adecuado para la flotación y mejora el grado de concentrado.

5.2.4 Equipo de flotación para mineral de molibdeno

El equipo de flotación utiliza la separación hidrofóbica de molibdenita para separar el concentrado de molibdeno, y el equipo principal es la máquina de flotación. Las celdas de flotación mecánica agitada (por ejemplo, series SF o XCF, potencia 15-100 kW) generan burbujas (aire o nitrógeno, caudal 1-2 m³/min) a través de un impulsor (velocidad 200-400 rpm), a las que la molibdenita se adhiere a las burbujas para formar una capa de espuma para producir concentrado de molibdeno (50-60% de contenido de molibdeno). La celda de flotación tiene un volumen de 4-20 m³, equipada con un sistema de dosificación automática (xantato 0,1-0,3 kg/t, terpineol 0,05-0,1 kg/t) y control de pH a 8-10. Los puntos clave incluyen: la celda de flotación requiere múltiples tanques en serie (6-12 tanques) para la separación aproximada, selección y barrido, con una tasa de recuperación del 85-95%; El tamaño de la burbuja (0,5-2 mm) y la concentración de la suspensión (20-30%) deben controlarse con precisión; Los relaves y las aguas residuales deben tratarse (tasa de reciclaje > del 80%) para cumplir con los estándares ambientales. El funcionamiento eficiente del equipo de flotación garantiza un concentrado de molibdeno de alta calidad y bajas impurezas, proporcionando materias primas de alta calidad para la producción de láminas de molibdeno.

5.3 Equipo de moldeo para láminas de molibdeno

El equipo de formación de láminas de molibdeno es la herramienta principal para procesarla a partir de polvo de molibdeno de alta pureza o blanco de molibdeno en material de lámina delgada, lo que afecta directamente la precisión del espesor, la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas de la lámina de molibdeno. El equipo de moldeo incluye principalmente equipos de pulvimetalurgia y equipos de laminación, de los cuales el equipo de pulvimetalurgia se utiliza para preparar palanquillas de molibdeno con alta pureza y estructura uniforme, que es el eslabón básico en la producción de láminas de molibdeno.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Confiando en equipos de moldeo avanzados, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD garantiza una alta precisión y consistencia de los productos, y satisface las necesidades de las industrias electrónica, aeroespacial y de alta temperatura. La siguiente es una discusión detallada de las funciones, el rendimiento y los puntos de operación de los equipos de prensado de polvo y los equipos de sinterización en equipos de pulvimetalurgia.

5.3.1 Equipo de pulvimetalurgia para láminas de molibdeno

El equipo de pulvimetalurgia se utiliza para procesar polvo de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, tamaño de partícula de 1 a 10 micras) en palanquillas de molibdeno densas, lo que proporciona la base para el laminado posterior o la formación directa de láminas de molibdeno. El proceso de pulvimetalurgia consta de dos pasos principales, prensado y sinterización de polvo, que involucran equipos como prensas isostáticas en frío, prensas hidráulicas y hornos de sinterización al vacío. Estas máquinas proporcionan la base para la producción de láminas de molibdeno de alto rendimiento mediante el control preciso de la presión, la temperatura y la atmósfera para garantizar una alta densidad ($>98\%$) y un bajo contenido de impurezas (hierro, cobre < 20 ppm).

5.3.1.1 Equipos de prensado de polvo para láminas de molibdeno

El equipo de prensado de polvo se utiliza para prensar polvo de molibdeno en un blanco con cierta forma y resistencia, y el equipo común incluye prensas isostáticas en frío (CIP) y prensas hidráulicas. Las prensas isostáticas en frío (por ejemplo, serie CIP-400, presión 100-400 MPa) aplican una presión uniforme al polvo de molibdeno a través de un medio líquido (por ejemplo, agua o aceite) y lo prensan en placas o varillas en bruto (tamaño 100-500 mm) con una densidad del 60-70%. Su ventaja es que la presión se distribuye uniformemente, evitando la concentración de tensión dentro de la palanquilla, y es adecuado para la producción de palanquilla de molibdeno de gran tamaño o forma compleja. Las prensas hidráulicas (por ejemplo, prensas hidráulicas de cuatro columnas, potencia 200-1000 kW) se utilizan para el prensado unidireccional, presión 50-200 MPa, adecuado para piezas en bruto pequeñas (espesor 10-50 mm), alta eficiencia de producción (1-3 piezas por minuto). Durante el proceso de prensado, el polvo de molibdeno debe tamizarse previamente (malla 100-200) y se agrega una pequeña cantidad de aglutinante (por ejemplo, alcohol polivinílico, 0,1-0,5%) para mejorar la resistencia de la pieza en bruto. Los puntos clave incluyen: los moldes deben estar hechos de acero o carburo de alta resistencia para soportar altas presiones; Los parámetros de prensado (por ejemplo, tiempo de mantenimiento de la presión de 10 a 30 segundos) deben optimizarse para garantizar la uniformidad de la pieza en bruto; El equipo está equipado con un sistema de supresión de polvo (concentración de polvo < 5 mg/m³) para proteger el entorno operativo. La palanquilla de molibdeno prensada proporciona una entrada de alta calidad para la sinterización, lo que garantiza un rendimiento constante de la lámina de molibdeno posterior.

5.3.1.2 Equipos de sinterización de láminas de molibdeno

El equipo de sinterización se utiliza para consolidar la palanquilla de molibdeno prensada en una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

palanquilla de alta densidad a alta temperatura, que es el paso central de la pulvimetalurgia. Los equipos comúnmente utilizados incluyen hornos de sinterización al vacío y hornos de sinterización de protección de hidrógeno. El horno de sinterización al vacío (como la serie VSF, potencia 100-500 kW) funciona a un grado de vacío de 10^{-3} - 10^{-5} Pa y una temperatura de 1800-2000 °C, y el tiempo de sinterización es de 2-6 horas, de modo que las partículas de polvo de molibdeno se combinan por difusión, el tamaño de grano se controla a 10-50 micras y la densidad alcanza el 98-99%. El entorno de vacío evita eficazmente la oxidación y el contenido de oxígeno se reduce a <50 ppm, lo que es adecuado para la producción de materias primas de láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$). El horno de sinterización de protección de hidrógeno (temperatura 1600-1900 °C, pureza del hidrógeno $\geq 99,99\%$, caudal 1-2 m³/h) elimina las trazas de óxidos a través de una atmósfera reductora, adecuada para láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99-99,9%). La resistencia a la tracción de la palanquilla de molibdeno sinterizado es de aproximadamente 500-700 MPa y la densidad está cerca del valor teórico (10,22 g / cm³). Los puntos clave incluyen: control preciso de la tasa de aumento (5-10 °C/min) para evitar el agrietamiento de la palanquilla; Monitoreo de la atmósfera del horno para garantizar que no haya fugas de oxígeno; La velocidad de enfriamiento (10-20°C/min) optimiza la estructura del grano. El alto rendimiento del equipo de sinterización garantiza la alta densidad y las bajas impurezas de la palanquilla de molibdeno, lo que proporciona una base de alta calidad para el procesamiento posterior del laminado y satisface las necesidades de los objetivos electrónicos y los componentes de alta temperatura.

5.3.2 Equipos de laminación de láminas de molibdeno

El equipo de laminación es la herramienta central en el proceso de formación de láminas de molibdeno, que se utiliza para procesar palanquillas de molibdeno sinterizado en láminas delgadas de espesor, tamaño y rendimiento específicos, y es ampliamente utilizado en las industrias electrónica, aeroespacial y de alta temperatura. El equipo de laminación se divide en laminador en caliente y laminador en frío, que se utilizan para producir láminas de molibdeno más gruesas (0,5-3 mm) y ultradelgadas (0,01-0,1 mm), respectivamente, y optimizan la estructura del grano, la resistencia y la calidad de la superficie de las láminas de molibdeno mediante el control preciso de la cantidad de deformación, la temperatura y la atmósfera. La lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD confía en equipos de laminación avanzados para garantizar la alta precisión y consistencia de los productos y satisfacer las necesidades de las aplicaciones de alta gama. La siguiente es una discusión detallada de las funciones, el rendimiento y los puntos clave de operación de los trenes de laminación en caliente y en frío para láminas de molibdeno.

5.3.2.1 Trenes de laminación en caliente de chapas de molibdeno

El tren de laminación en caliente se utiliza para el laminado de múltiples pasadas de palanquillas de molibdeno a altas temperaturas (1000-1400 °C) para producir láminas de molibdeno con un espesor de 0,5-3 mm, adecuadas para componentes de hornos de alta temperatura y piezas estructurales aeroespaciales. El equipo comúnmente utilizado es un tren de laminación en caliente de cuatro alturas o un tren de laminación en caliente reversible (por ejemplo, equipo del Grupo SMS, 500-2000 kW) equipado con un sistema de protección de vacío o gas inerte (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación del molibdeno a altas temperaturas para formar MoO₃. volátil El diámetro del rodillo de trabajo del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

laminador en caliente es de 300-600 mm, la velocidad de laminación es de 1-5 m / min y la deformación se controla al 20-30% cada vez para evitar grietas. La palanquilla de molibdeno (generalmente preparada por el método de pulvimetalurgia, espesor de 10-50 mm) se calienta a 1100-1300 °C en un horno de precalentamiento y luego ingresa al tren de laminación, donde se diluye gradualmente en múltiples pasadas (6-10 pasadas) con un tamaño de grano de 50-100 micras, lo que le da a la lámina de molibdeno buena ductilidad (alargamiento a la rotura 10-15%) y resistencia a altas temperaturas (aproximadamente 500 MPa a 1200 °C). La rugosidad de la superficie es generalmente Ra 1.0-2.0 micras y se puede optimizar mediante decapado. Los puntos clave incluyen: control preciso del espacio entre rodillos y la temperatura (desviación < 10 °C) para garantizar tolerancias de espesor ($\pm 0,05$ mm); Protege la pureza de la atmósfera ($\geq 99,99\%$) contra la oxidación; Equipado con un medidor de espesor en línea y un sistema de enfriamiento (velocidad de enfriamiento de 10-20 °C / min) para optimizar la estructura del grano. Las ventajas del tren de laminación en caliente son la alta eficiencia de producción (10-50 toneladas por día), adecuada para la producción de alto volumen y ampliamente utilizada en la fabricación de revestimientos de equipos químicos y elementos calefactores de hornos de alta temperatura.

5.3.2.2 Tren de laminación en frío para chapas de molibdeno

El tren de laminación en frío lamina además láminas de molibdeno laminadas en caliente o piezas de bruto de molibdeno sinterizado a temperatura ambiente o cerca de ella para producir láminas de molibdeno ultrafinas con un espesor de 0,01-1 mm, adecuadas para objetivos semiconductores y sustratos microelectrónicos. El equipo comúnmente utilizado es un tren de laminación en frío de cuatro o varios rodillos de alta precisión (por ejemplo, el molino Sendzimir, 200-1000 kW) equipado con rodillos de trabajo de alta resistencia (diámetro 100-300 mm, dureza HRC 60-65) y un sistema de control automático de la distancia entre rodillos (precisión $\pm 0,001$ mm). La deformación del laminado en frío se controla al 10-20% cada vez, y la velocidad de laminación es de 0,5-3 m / min para evitar grietas causadas por el endurecimiento por trabajo. Las láminas de molibdeno laminadas en frío tienen un tamaño de grano pequeño (5-20 micras) y una resistencia a la tracción de 900-1200 MPa, pero baja ductilidad (alargamiento a la rotura 5-8%) y tenacidad (elongación a la rotura 10-12%) a través del recocido de alivio de tensiones (800-1100 °C). La calidad de la superficie es excelente, la rugosidad después del pulido puede alcanzar Ra 0,4 micras y la tolerancia del espesor se controla a $\pm 0,005$ mm.

Los puntos clave incluyen: el uso de lubricantes a base de aceite (viscosidad 10-20 cSt) para reducir los defectos de la superficie; Equipado con detección de defectos en línea (por ejemplo, escaneo láser) para garantizar la calidad de la superficie; Los hornos de recocido deben estar protegidos al vacío o al hidrógeno (pureza $\geq 99,99\%$) para evitar la oxidación. El tren de laminación en frío tiene la ventaja de producir láminas de molibdeno ultrafinas y de alta precisión para aplicaciones exigentes en la industria electrónica, como la deposición de películas delgadas y conjuntos de tubos de rayos X, pero con altos costos de equipo y mantenimiento regular de las superficies de los rodillos y los sistemas de control.

5.4 Equipo de prueba de rendimiento para láminas de molibdeno

El equipo de prueba de rendimiento para láminas de molibdeno se utiliza para evaluar sus propiedades

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

físicas y químicas para garantizar que los productos cumplan con los estrictos requisitos de las industrias electrónica, aeroespacial y de alta temperatura. El equipo de prueba cubre parámetros clave como la densidad, el punto de fusión, la conductividad eléctrica y térmica, y proporciona datos confiables a través de instrumentación de alta precisión para verificar la pureza, la estructura y la funcionalidad de las láminas de molibdeno. La lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD ha pasado equipos de prueba avanzados para garantizar que los parámetros de rendimiento cumplan con la norma ASTM B386, como una densidad de 10,22 g/cm³ y una resistividad de aproximadamente $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ y una conductividad térmica de aproximadamente 138 W/m·K. La siguiente es una discusión detallada de los tipos, funciones y puntos de operación de los equipos de medición de densidad, equipos de prueba de punto de fusión, equipos de prueba de conductividad y equipos de prueba de conductividad térmica para láminas de molibdeno.

5.4.1 Equipo de medición de densidad para láminas de molibdeno

El equipo de medición de densidad se utiliza para determinar la densidad de las láminas de molibdeno (valor teórico 10,22 g / cm³) para evaluar su densidad y pureza, adecuado para el control de calidad y la certificación de materiales. El equipo de uso común incluye el dispositivo de drenaje de Arquímedes y un densitómetro de rayos X. Los dispositivos de drenaje de Arquímedes (por ejemplo, densímetro Mettler Toledo, precisión $\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$) calculan la densidad midiendo la masa de la lámina de molibdeno en el aire y en el líquido (normalmente agua desionizada) con un rango de prueba de 0,1-20 g/cm³ y son adecuados para láminas de molibdeno con un espesor de 0,01-3 mm. Durante el funcionamiento, es necesario limpiar la lámina de molibdeno (limpieza ultrasónica, se elimina la eliminación de aceite), se deben evitar las burbujas de aire cuando se sumergen en líquido y el error de medición debe controlarse a $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Los densitómetros de rayos X (por ejemplo, PANalytical X'Pert, con una precisión de $\pm 0,005 \text{ g/cm}^3$) analizan la densidad de los materiales por absorción de rayos X sin destruir la muestra, lo que los hace adecuados para la detección de alta precisión. Los puntos clave incluyen: calibrar el equipo para garantizar la precisión (utilizando muestras estándar como bloques de molibdeno puro); El entorno de prueba debe mantenerse a una temperatura constante ($20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) para eliminar el efecto de la expansión térmica; Se promedian múltiples mediciones para mejorar la confiabilidad. Los dispositivos de medición de densidad detectan defectos microscópicos (por ejemplo, porosidad <2%) en láminas de molibdeno para garantizar que sean adecuadas para objetivos semiconductores y componentes de alta temperatura.

5.4.2 Equipo de ensayo de punto de fusión para láminas de molibdeno

El equipo de prueba de punto de fusión se utiliza para verificar el punto de fusión de las láminas de molibdeno (aproximadamente 2620 °C) para confirmar su rendimiento y pureza a alta temperatura, adecuado para aplicaciones aeroespaciales y de hornos de alta temperatura. Los equipos comúnmente utilizados son la calorimetría de barrido diferencial de alta temperatura (DSC) y el equipo de fusión por flash láser. El DSC de alta temperatura (por ejemplo, Netzsch STA 449, rango de temperatura de 25-2800 °C, precisión $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) determina el punto de fusión calentando una muestra de lámina de molibdeno (masa de 5-10 mg) y registrando picos endotérmicos, equipado con crisol de tungsteno y protección de argón (pureza $\geq 99,99\%$) para evitar la oxidación. El equipo de fusión por flash láser (por ejemplo, LFA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

467, rango de temperatura 1000-3000 °C) calienta la superficie de la lámina de molibdeno mediante pulso láser, combinado con un termómetro infrarrojo para registrar la temperatura de fusión, y el tiempo de prueba es corto (<1 minuto), lo que es adecuado para una detección rápida. Los puntos clave incluyen: las muestras deben ser de alta pureza ($\geq 99,95\%$) para evitar impurezas y un punto de fusión más bajo; La atmósfera de prueba debe controlarse estrictamente (contenido de oxígeno < 10 ppm); El equipo debe calibrarse regularmente (utilizando patrones de tungsteno, punto de fusión 3422 °C). El equipo de prueba de punto de fusión garantiza la estabilidad de las láminas de molibdeno en entornos de alta temperatura (como hornos de vacío), y el error se controla dentro de ± 10 °C.

5.4.3 Equipo de ensayo de conductividad para láminas de molibdeno

El equipo de prueba de conductividad se utiliza para medir la resistividad de las láminas de molibdeno (aproximadamente $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), para evaluar sus propiedades eléctricas, adecuadas para aplicaciones de electrodos y objetivos en la industria electrónica. El equipo comúnmente utilizado es un probador de cuatro sondas y un medidor de conductividad. Un probador de cuatro sondas (por ejemplo, Keithley 2635B, precisión $\pm 0,01\%$) calcula la resistividad de la lámina de molibdeno aplicando una corriente constante (1-100 mA) y midiendo el voltaje a través de cuatro sondas equidistantes (separadas por 1-2 mm) con un rango de prueba de 10^{-9} - $10^{-6} \Omega \cdot m$, adecuado para láminas de molibdeno con un espesor de 0,01-3 mm. Los medidores de conductividad (por ejemplo, Sigmascope SMP350, frecuencia 10-100 kHz) miden la conductividad (en S/m) por el método de corrientes de Foucault sin contacto y son adecuados para la detección rápida de grandes áreas de láminas de molibdeno. Los puntos clave incluyen: la superficie de la lámina de molibdeno debe pulirse ($R_a \leq 0,4$ micras) para reducir la resistencia al contacto, y el entorno de prueba debe tener una temperatura y humedad constantes (20 ± 1 °C, humedad < 50%) para evitar interferencias; Se promedian múltiples mediciones (al menos 5 veces) para garantizar la precisión. El probador de cuatro sondas detecta la resistencia del límite de grano y los efectos de impurezas de las láminas de molibdeno, lo que garantiza su estabilidad de conductividad en la deposición de películas delgadas de semiconductores.

5.4.4 Equipo de ensayo de conductividad térmica para láminas de molibdeno

El equipo de prueba de conductividad térmica se utiliza para medir la conductividad térmica de las láminas de molibdeno (aproximadamente $138 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$) y evaluar su rendimiento de gestión térmica, y es adecuado para sustratos de disipación de calor y componentes de hornos de alta temperatura. Los equipos comúnmente utilizados son el medidor de conductividad térmica por flash láser y el equipo de flujo de calor de estado estacionario. La conductividad térmica del flash láser (por ejemplo, Netzsch LFA 467, precisión $\pm 3\%$) calienta un lado de la lámina de molibdeno (tamaño de muestra $10 \times 10 \times 0,5$ -3 mm) mediante pulso láser, el termómetro infrarrojo registra el aumento de temperatura en el otro lado, calcula la conductividad térmica, prueba el rango de temperatura 20-1500 °C y está equipado con protección de argón (pureza $\geq 99,99\%$) para evitar la oxidación. Los dispositivos de flujo de calor de estado estacionario (por ejemplo, Hot Disk TPS 2500S, con una precisión del $\pm 2\%$) miden el gradiente de temperatura bajo un flujo de calor constante mediante la incorporación de una sonda térmica en el disco de molibdeno y son adecuados para muestras grandes (20×20 mm). Los puntos clave incluyen una superficie de muestra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

plana ($Ra \leq 0,4 \mu m$) para garantizar el contacto térmico, pruebas en vacío o atmósfera inerte para evitar los efectos de la oxidación y calibración del equipo utilizando muestras estándar (por ejemplo, acero inoxidable, conductividad térmica de $16 W/m \cdot K$). Los equipos de prueba de conductividad térmica verifican la conductividad térmica de las láminas de molibdeno, asegurando su rendimiento en empaques electrónicos y blindaje térmico a alta temperatura con un error de $\pm 5 W/m \cdot K$.

5.5 Equipo de prueba de propiedades mecánicas de láminas de molibdeno

El equipo de prueba de propiedades mecánicas se utiliza para evaluar la resistencia, la dureza, la tenacidad y la resistencia a la fatiga de las láminas de molibdeno para garantizar que cumplan con los exigentes requisitos de las industrias aeroespacial, electrónica y de alta temperatura. Estos dispositivos miden parámetros clave como la resistencia a la tracción, la dureza y la tenacidad a la fractura de las láminas de molibdeno mediante la aplicación de cargas mecánicas o choques, proporcionando soporte de datos para el control de calidad y la certificación de materiales. La lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD cumple con el estándar ASTM B386 a través de equipos avanzados de prueba de propiedades mecánicas para garantizar que su resistencia a la tracción ($800-1200 MPa$), dureza ($220-250 HV$) y tenacidad (tenacidad a la fractura $10-15 MPa \cdot m^{1/2}$) cumplan con el estándar ASTM B386. La siguiente es una discusión detallada de las funciones, el rendimiento y los puntos de operación de las máquinas de prueba de materiales universales, probadores de dureza y máquinas de prueba de impacto en la prueba de las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno.

5.5.1 Máquina de prueba de materiales universal para probar las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno

La máquina de prueba de materiales universal (UTM) es el equipo central para probar las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno, que se utiliza para medir la resistencia a la tracción, el límite elástico, el alargamiento a la rotura y el módulo elástico, y es adecuada para láminas de molibdeno con un espesor de $0,01-3 mm$. Los equipos de uso común, como el Instron 5982 o la serie MTS Criterion (rango de carga de $1 a 100 kN$ con una precisión de $\pm 0,5\%$) evalúan el rendimiento de las láminas de molibdeno mediante ensayos de tracción, compresión o flexión. En una prueba de tracción, una muestra de lámina de molibdeno (tamaño estándar como ASTM E8, ancho $5-10 mm$) se fija entre los accesorios, se estira hasta fracturarse a una velocidad constante ($1-10 mm / min$) y se registra una curva de tensión-deformación para dar resistencia a la tracción ($800-1200 MPa$), límite elástico (alrededor de $600-900 MPa$) y elongación a la rotura ($5-15\%$). La prueba de tracción a alta temperatura ($1000-1500 ^\circ C$) debe equiparse con un horno de alta temperatura (protección de argón, pureza $\geq 99,99\%$) para simular las condiciones de trabajo reales y probar la resistencia a alta temperatura (alrededor de $500-700 MPa a 1200 ^\circ C$). Los puntos clave incluyen: pulido de la superficie de la muestra ($Ra \leq 0,4 micras$) para evitar concentraciones de tensión, precisión de alineación del accesorio ($< 0,1 mm$) para garantizar la consistencia de la prueba; El entorno de prueba debe ser de temperatura constante ($20 \pm 1 ^\circ C$) o atmósfera de alta temperatura estrictamente controlada (contenido de oxígeno $< 10 ppm$). Las máquinas de prueba de materiales universales evalúan con precisión las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno y garantizan su confiabilidad en estructuras aeroespaciales y componentes de hornos de alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5.2 El durómetro prueba las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno

El probador de dureza se utiliza para medir la dureza de las láminas de molibdeno, lo que refleja su resistencia a la deformación y al desgaste, y es una herramienta importante para evaluar sus propiedades mecánicas. Los equipos más utilizados son los durómetros Vickers (p. ej., Wilson VH3300, 0,1-10 kgf, precisión ± 1 HV) y los durómetros Brinell (p. ej., ZwickRoell ZHU250, 5-3000 kgf). La prueba de dureza Vickers aplica una carga de 1-5 kgf en la superficie de la lámina de molibdeno (pulida a $Ra \leq 0,4$ micras), presiona la muestra a través de un penetrador de diamante (ángulo de cono de 136°), mide la longitud diagonal de la indentación y calcula el valor de dureza (220-250 HV para láminas de molibdeno de alta pureza, 300-350 HV para aleación TZM). El ensayo de dureza Brinell utiliza un penetrador de bola de carburo (diámetro 2,5-10 mm) para láminas de molibdeno más gruesas (>1 mm) con un valor de dureza de aproximadamente 230-260 HB. La prueba debe realizarse en un ambiente de temperatura constante (20 ± 1 °C) y se deben promediar al menos 5 puntos para reducir el efecto de la falta de homogeneidad del grano. Los puntos clave incluyen: la superficie de la muestra debe estar limpia y libre de capas de óxido (decapado o limpieza ultrasónica); El penetrador y la carga deben seleccionarse de acuerdo con el espesor (carga baja para láminas delgadas $< 0,1$ mm); El equipo debe calibrarse regularmente (utilizando bloques de dureza estándar). Los resultados de la prueba del probador de dureza pueden verificar el efecto de endurecimiento por trabajo y la resistencia al desgaste de las láminas de molibdeno, y son adecuados para objetivos electrónicos y sustratos de recubrimiento de herramientas de corte.

5.5.3 Máquina de ensayo de impacto para comprobar las propiedades mecánicas de las láminas de molibdeno

Las máquinas de ensayo de impacto se utilizan para evaluar la tenacidad y la resistencia al impacto de las láminas de molibdeno, verificando su rendimiento bajo cargas dinámicas midiendo la tenacidad a la fractura (K_{IC}) o la energía de absorción de impactos. Los equipos más utilizados son los comprobadores de impacto Charlest (p. ej., serie HIT de ZwickRoell, rango de energía 5-300 J, precisión $\pm 0,1$ J) y los comprobadores de impacto de caída de peso (p. ej., Instron Dynatup, energía 50-1000 J). La prueba de impacto Charlest aplica un impacto instantáneo a una muestra estándar (por ejemplo, ASTM E23, tamaño $10 \times 10 \times 55$ mm con muesca en V) y registra la energía absorbida a la rotura (alrededor de 5-15 J para láminas de molibdeno) y refleja su tenacidad (tenacidad a la fractura $10-15$ MPa·m^{1/2}). La prueba de caída de peso es adecuada para láminas delgadas de molibdeno (0,01-1 mm de espesor), mide la resistencia al choque por impacto de caída libre (altura 0,5-2 m) y es adecuada para simular el entorno de vibración de los componentes aeroespaciales. La prueba de impacto a alta temperatura (1000 °C) debe estar equipada con un horno de protección de argón (pureza $\geq 99,99\%$) para evitar la oxidación. Los puntos clave incluyen: las muescas de la muestra deben mecanizarse con precisión (2 mm de profundidad, ángulo de 45°); La temperatura de prueba debe controlarse (20 ± 1 °C o alta temperatura ± 10 °C); Se promedian varias pruebas (al menos 3 veces) para garantizar la confiabilidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 6 Métodos de ensayo para el rendimiento de las láminas de molibdeno

Los métodos de prueba de rendimiento para las láminas de molibdeno se utilizan para evaluar con precisión sus propiedades físicas y químicas para garantizar que cumplan con los estrictos requisitos de las industrias electrónica, aeroespacial y de alta temperatura. Los métodos de prueba cubren parámetros clave como la densidad, el punto de fusión y la estabilidad térmica, y proporcionan datos confiables para verificar la pureza, la estructura y la funcionalidad de las láminas de molibdeno a través de procesos y equipos estandarizados.

Los chips de molibdeno de CTIA GROUP LTD se prueban utilizando estándares internacionales (por ejemplo, ASTM B386) para garantizar que los parámetros de rendimiento como la densidad ($10,22 \text{ g/cm}^3$), el punto de fusión (2620 °C) y la estabilidad a alta temperatura cumplan con las expectativas.

6.1 Método de ensayo para la densidad de la lámina de molibdeno

El método de prueba para la densidad de las láminas de molibdeno se utiliza para medir su densidad (valor teórico $10,22 \text{ g/cm}^3$) para evaluar la densidad y pureza del material, adecuado para el control de calidad y la certificación. Los métodos comúnmente utilizados son el método de drenaje de Arquímedes y el análisis de densidad de rayos X.

Basado en el principio de flotabilidad, el método de drenaje de Arquímedes mide la diferencia de masa de las láminas de molibdeno en el aire y el líquido, calcula la densidad y la precisión puede alcanzar $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, que es adecuado para láminas de molibdeno con un grosor de $0,01\text{-}3 \text{ mm}$. El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, limpieza ultrasónica de las láminas de molibdeno (5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

minutos, eliminación de aceite), secado (60 °C, 10 minutos); 2) pesaje, utilizando una balanza electrónica de alta precisión (por ejemplo, Mettler Toledo XS205, con una precisión de $\pm 0,1$ mg) para medir la masa en el aire (m_1); 3) Medición de inmersión, la lámina de molibdeno se suspende en agua desionizada (densidad $\rho_0 = 1$ g / cm³, 20 °C) para garantizar que no haya adherencia de burbujas y se registra la masa en el agua (m_2); 4) Calcule la densidad, la fórmula es $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \cdot \rho_0$, y repita la medición 3-5 veces para tomar el valor promedio.

La densitometría de rayos X utiliza un densímetro de rayos X (por ejemplo, PANalytical X'Pert) para calcular la densidad a partir de la intensidad de absorción de rayos X con una precisión de $\pm 0,005$ g/cm³ sin destruir la muestra, lo que lo hace adecuado para la detección de alta precisión. Los puntos clave incluyen: el entorno de prueba debe mantenerse a una temperatura constante (20 \pm 1 °C) para eliminar los efectos de la expansión térmica; La superficie de la muestra debe ser plana ($R_a \leq 0,4$ μ m) para reducir los errores, y el equipo de calibración utiliza muestras estándar (por ejemplo, bloques de molibdeno puro). Las pruebas de densidad detectan la porosidad (objetivo <2%) y los efectos de las impurezas para garantizar que la lámina de molibdeno sea adecuada para objetivos semiconductores y componentes de alta temperatura.

6.2 Método de prueba para el punto de fusión de la lámina de molibdeno

El método de prueba para el punto de fusión de las láminas de molibdeno se utiliza para verificar su punto de fusión (aproximadamente 2620 °C) para confirmar el rendimiento y la pureza a alta temperatura, y es adecuado para aplicaciones aeroespaciales y de hornos de alta temperatura. Los métodos más utilizados son la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y la fusión por flash láser.

El método DSC mide el pico endotérmico de la lámina de molibdeno durante el proceso de calentamiento mediante un calorímetro de barrido diferencial de alta temperatura (por ejemplo, Netzsch STA 449, rango de temperatura 25-2800 °C, precisión ± 5 °C). El proceso de prueba consistió en: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (5-10 mg, espesor 0,1-1 mm), pulido ($R_a \leq 0,4$ micras) y limpieza ultrasónica, 2) carga de la muestra, colocando la muestra en un crisol de tungsteno y colocándola en una atmósfera protectora de argón (pureza $\geq 99,99\%$, contenido de oxígeno <10 ppm); 3) Calentamiento, calentando a 2800 °C a una velocidad de 5-10 °C / min, registrando la temperatura máxima endotérmica como punto de fusión; 4) Análisis de datos, repetir la prueba 3 veces para tomar el promedio. El método de fusión por flash láser utiliza un dispositivo de fusión por flash láser (como LFA 467, rango de temperatura 1000-3000 °C) para calentar rápidamente la superficie de la lámina de molibdeno (área 5 \times 5 mm) mediante pulsos láser, y el termómetro infrarrojo registra la temperatura de fusión, y el tiempo de prueba es de < 1 minuto. Los puntos clave incluyen: las muestras deben ser de alta pureza ($\geq 99,95\%$) para evitar impurezas y un punto de fusión más bajo; La atmósfera de prueba debe controlarse estrictamente para evitar la oxidación; El dispositivo se calibra utilizando una muestra estándar (por ejemplo, tungsteno, punto de fusión 3422 °C). El error de prueba del punto de fusión se controla a ± 10 °C para garantizar la estabilidad de las láminas de molibdeno en hornos de vacío o componentes de alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Métodos de ensayo para la estabilidad térmica de las láminas de molibdeno

El método de prueba para la estabilidad térmica de las láminas de molibdeno se utiliza para evaluar su estabilidad estructural y de rendimiento en entornos de alta temperatura, especialmente en atmósferas oxidantes o de vacío, y es adecuado para hornos de alta temperatura y aplicaciones aeroespaciales. La prueba de estabilidad térmica se lleva a cabo principalmente mediante análisis termogravimétrico (TGA) y método de prueba de recocido a alta temperatura. El método TGA utiliza un analizador termogravimétrico (por ejemplo, TA Instruments Q500, rango de temperatura 25-1500 °C, precisión $\pm 0,1\%$) para medir el cambio de masa de la lámina de molibdeno a altas temperaturas, evaluando la tendencia a la oxidación y la pérdida por volatilidad. El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (10-20 mg, espesor 0,1-1 mm), limpieza y secado ultrasónico, 2) entorno de prueba, argón (pureza $\geq 99,99\%$) o atmósfera de aire, velocidad de calentamiento de 5-10 °C/min a 600-1500 °C; 3) registrar los datos y medir la tasa de pérdida de masa (el objetivo $< 0,1\%$ en argón a 1000 °C, y el MoO_3 puede generarse por encima de 600 °C en la atmósfera oxidante); 4) Analice la temperatura de inicio de la oxidación y la tasa de volatilización. El método de prueba de recocido a alta temperatura se realiza en un horno de recocido al vacío (por ejemplo, Carbolite Gero, temperatura 1000-2000 °C, grado de vacío 10^{-5}). Pa), las láminas de molibdeno se calentaron a 1200-1500 °C, se incubaron durante 1-4 horas y se verificó la topografía de la superficie (observación SEM) y los cambios de grano (difracción de rayos X). Los puntos clave incluyen: pulido de la superficie de la muestra ($R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$) para reducir el punto de oxidación y una atmósfera de prueba estrictamente controlada (contenido de oxígeno $< 10 \text{ ppm}$); Múltiples pruebas (3-5 veces) para verificar la estabilidad. Las pruebas de estabilidad térmica confirman la resistencia a la oxidación y la integridad estructural de las láminas de molibdeno a altas temperaturas, lo que garantiza su confiabilidad en el blindaje térmico de hornos de vacío o revestimientos de boquillas de cohetes.

6.4 Método de prueba para la conductividad de la lámina de molibdeno

El método de prueba para la conductividad de la lámina de molibdeno se utiliza para medir su resistividad (aproximadamente $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) para evaluar las propiedades eléctricas y garantizar su idoneidad para electrodos y objetivos de pulverización catódica en la industria electrónica. Los métodos comúnmente utilizados son el método de cuatro sondas y el método de corrientes de Foucault. El método de cuatro sondas mide la resistividad de las láminas de molibdeno mediante un probador de cuatro sondas (por ejemplo, Keithley 2635B, precisión $\pm 0,01\%$), adecuado para muestras con un espesor de 0,01-3 mm. El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (tamaño $10 \times 10 \text{ mm}$), pulido a $R_a \leq 0,4 \text{ micras}$, limpieza ultrasónica para eliminar el aceite de la superficie, 2) configuración de la prueba, disposición equidistante de cuatro sondas (espaciado de 1-2 mm), aplicación de corriente constante (1-100 mA), medición de la caída de voltaje; 3) Calcular la resistividad usando la fórmula $\rho = (V/I) \cdot (A / L)$, donde V es el voltaje, I es la corriente, A es el área de la sección transversal de la muestra, L es el espaciado de la sonda y el valor promedio se toma repitiendo la medición 5 veces; 4) Calibración de los datos, teniendo en cuenta la influencia del espesor y la temperatura de la muestra ($20 \pm 1^\circ\text{C}$). El método de corrientes de Foucault utiliza un medidor de conductividad (por ejemplo, Sigmascope SMP350, frecuencia 10-100 kHz) para medir la conductividad en S/m por corrientes de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Foucault sin contacto, lo que lo hace adecuado para la detección rápida de grandes áreas de láminas de molibdeno. Los puntos clave incluyen: sin capa de óxido en la superficie de la muestra; El entorno de prueba debe tener temperatura y humedad constantes (humedad < 50%) para reducir la interferencia; El dispositivo está calibrado utilizando conductores estándar como cobre, resistividad $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$). El método de cuatro sondas tiene alta precisión y es adecuado para objetivos de alta precisión; El método de corrientes de Foucault es altamente eficiente y adecuado para pruebas por lotes. Las pruebas de conductividad garantizan la estabilidad eléctrica de la lámina de molibdeno en la deposición de películas delgadas de semiconductores.

6.5 Método de ensayo para la conductividad térmica de la lámina de molibdeno

El método de prueba para la conductividad térmica de las láminas de molibdeno se utiliza para medir su conductividad térmica (aproximadamente $138 \text{ W / m} \cdot \text{K}$) y evaluar el rendimiento de la gestión térmica, y es adecuado para sustratos de disipación de calor y componentes de hornos de alta temperatura. Los métodos comúnmente utilizados son el método de destello láser y el método de flujo de calor de estado estacionario. El método de flash láser mide la conductividad térmica mediante un medidor de conductividad térmica de flash láser (por ejemplo, Netzsch LFA 467, con una precisión del $\pm 3\%$) y es adecuado para láminas de molibdeno con un espesor de 0,5-3 mm. El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de la lámina de molibdeno ($10 \times 10 \text{ mm}$), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras, limpieza ultrasónica, 2) configuración de la prueba, colocación de la muestra en un entorno protegido con argón (pureza $\geq 99,99\%$, contenido de oxígeno $< 10 \text{ ppm}$), calentamiento por pulsos láser en un lado, termómetro infrarrojo que registra el aumento de temperatura en el otro lado; 3) Calcular la conductividad térmica utilizando la fórmula $k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p$, donde α es la difusividad térmica (medida por instrumento), ρ es la densidad y C_p es la capacidad calorífica específica (alrededor de $0,25 \text{ J/g} \cdot \text{K}$); 4) Repita la prueba de 3 a 5 veces para tomar el promedio. El método de flujo de calor en estado estacionario utiliza un medidor de flujo de calor (por ejemplo, Hot Disk TPS 2500S, con una precisión del $\pm 2\%$) para medir el gradiente de temperatura bajo un flujo de calor constante a través de una sonda térmica y es adecuado para muestras grandes ($20 \times 20 \text{ mm}$). Los puntos clave incluyen: espesor uniforme de la muestra para garantizar un flujo de calor constante; La temperatura de prueba se controla a $20-1500 \text{ }^\circ\text{C}$; Las calibraciones se realizaron utilizando muestras estándar (p. ej., acero inoxidable, $16 \text{ W/m} \cdot \text{K}$). El método de flash láser es adecuado para pruebas de alta temperatura y el método de estado estacionario es adecuado para muestras grandes a temperatura ambiente. La prueba de conductividad térmica garantiza la eficiencia de la conductividad térmica de la lámina de molibdeno en el paquete electrónico, y el error se controla a $\pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

6.6 Método de ensayo para el coeficiente de expansión térmica de la lámina de molibdeno

El método de prueba para el coeficiente de expansión térmica de las láminas de molibdeno se utiliza para medir su coeficiente de expansión lineal (aproximadamente $4,8 \times 10^{-6} / \text{ }^\circ\text{C}$, $20-1000 \text{ }^\circ\text{C}$) para evaluar el rendimiento de adaptación térmica y es adecuado para el empaquetado de semiconductores y componentes de alta temperatura. Los métodos más utilizados son el método del termodilatómetro y el método de análisis de cristales de rayos X. El método del dilatómetro utiliza un termodilatómetro (por

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ejemplo, Netzsch DIL 402 con una precisión de $\pm 0,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ El coeficiente de expansión térmica se calcula midiendo el cambio en la longitud de la lámina de molibdeno durante el calentamiento. El proceso de prueba consistió en: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (longitud 10-25 mm, espesor 0,1-1 mm), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras, 2) configuración de la prueba, exposición de la muestra a un entorno protegido con argón (pureza $\geq 99,99\%$), calentamiento a 1000°C a $2-5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, registro de cambios de longitud (resolución 0,1 micras), 3) cálculo del coeficiente de expansión térmica mediante la fórmula $\alpha = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T)$, donde ΔL es el cambio de longitud, L_0 es la longitud inicial y ΔT es el cambio de temperatura; 4) Repita la prueba 3 veces para tomar el promedio. El análisis de cristales de rayos X utiliza un difractómetro de rayos X (por ejemplo, Bruker D8, con una precisión de $\pm 0,05 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) para estimar el coeficiente de expansión térmica midiendo el cambio en la constante de red a altas temperaturas, y es adecuado para muestras pequeñas. Los puntos clave incluyen: las muestras deben estar libres de defectos superficiales; La temperatura de prueba debe controlarse con precisión ($\pm 1^{\circ}\text{C}$); Las calibraciones se realizan utilizando una muestra estándar (por ejemplo, alúmina, $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). La prueba del coeficiente de expansión térmica garantiza la compatibilidad térmica de la lámina de molibdeno con silicio o cerámica, y el error se controla a $\pm 0,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

6.7 Método de prueba para la resistencia de la lámina de molibdeno

El método de prueba para la resistencia de las láminas de molibdeno se utiliza para medir su resistencia a la tracción (800-1200 MPa) y límite elástico (600-900 MPa) para evaluar las propiedades mecánicas y es adecuado para piezas estructurales aeroespaciales y de alta temperatura. El método más común es el método de ensayo de tracción, que utiliza una máquina de ensayo de materiales universal (por ejemplo, Instron 5982, rango de carga 1-100 kN, precisión $\pm 0,5\%$). El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (norma ASTM E8, ancho 5-10 mm, espesor 0,01-3 mm), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras; 2) configuración de la prueba, la muestra se fija en accesorios, se estira hasta fracturarse a una velocidad de 1-10 mm / min, y se registra la curva de tensión-deformación; 3) Análisis de datos para calcular la resistencia a la tracción (tensión máxima), el límite elástico (0,2% de tensión compensada) y el alargamiento a la rotura (5-15%); 4) La prueba de alta temperatura ($1000-1500^{\circ}\text{C}$) requiere protección de argón (pureza $\geq 99,99\%$). Los puntos clave incluyen: precisión de alineación del accesorio ($< 0,1$ mm) para evitar cargas excéntricas; El entorno de prueba es de temperatura constante ($20 \pm 1^{\circ}\text{C}$) o control de alta temperatura ($\pm 10^{\circ}\text{C}$); Repita la prueba de 3 a 5 veces para promediar. El método de prueba de tracción evalúa la resistencia de las láminas de molibdeno a temperatura ambiente y altas temperaturas, lo que garantiza su confiabilidad en los revestimientos de las boquillas de los cohetes y los componentes de los hornos de alta temperatura.

6.8 Método de prueba para la dureza de la lámina de molibdeno

El método de prueba para la dureza de las láminas de molibdeno se utiliza para medir su dureza Vickers (220-250 HV, aleación TZM 300-350 HV) para evaluar la resistencia a la deformación y al desgaste, y es adecuado para objetivos electrónicos y sustratos de herramientas de corte. El método más común es la prueba de dureza Vickers, que utiliza un probador de dureza Vickers (por ejemplo, Wilson VH3300, carga 0.1-10 kgf, precisión ± 1 HV). El proceso de prueba consistió en: 1) preparación de la muestra,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

corte de láminas de molibdeno (10×10 mm, espesor 0,1-3 mm), pulido a $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$, limpieza ultrasónica, 2) configuración de la prueba, utilizando un indentador de diamante (ángulo de cono de 136°), aplicando una carga de 1-5 kgf (0,1-0,5 kgf para láminas $< 0,1 \text{ mm}$), sosteniendo durante 10-15 segundos; 3) Mida la indentación, mida la longitud diagonal de la indentación con un microscopio (aumento 400x) y calcule el valor de dureza ($HV = 1.8544 \cdot F/d^2$, F es la carga, d es la longitud media de la diagonal de indentación); 4) Repita la prueba 5-7 veces para tomar el promedio. Los puntos clave incluyen: la superficie de la muestra debe estar libre de una capa de óxido (decapado); La selección de la carga debe coincidir con el espesor para evitar el efecto del sustrato; Las calibraciones se realizan utilizando bloques de dureza estándar (por ejemplo, 200 HV). La prueba de dureza Vickers es altamente precisa y adecuada para evaluar el endurecimiento por trabajo y la resistencia al desgaste de las láminas de molibdeno, lo que garantiza su estabilidad en objetivos de pulverización catódica.

6.9 Métodos de ensayo para la tenacidad de las láminas de molibdeno

El método de prueba para la tenacidad de las láminas de molibdeno se utiliza para evaluar su resistencia a la fractura y su capacidad para absorber la energía del impacto, y para medir la tenacidad a la fractura (K_{IC} , alrededor de $10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), que es adecuada para aplicaciones de sustratos aeroespaciales y electrónicos. Los métodos comúnmente utilizados son el método de prueba de impacto charnaisiano y el método de prueba de resistencia a la fractura. El método de ensayo de impacto de Chardens utiliza un comprobador de impacto de Chardens (p. ej., ZwickRoell HIT, rango de energía 5-300 J, precisión $\pm 0,1 \text{ J}$). El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de la lámina de molibdeno (norma ASTM E23, $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$, profundidad de la muesca en V de 2 mm, ángulo de 45°), pulido a $Ra \leq 0,4 \text{ micras}$), 2) configuración de la prueba, la muestra se fija en la máquina de prueba para impactar la muesca con un péndulo y se registra la energía absorbida (aproximadamente 5-15 J); 3) Análisis de datos, calcule la resistencia al impacto, repita la prueba de 3 a 5 veces para tomar el promedio; 4) La prueba de alta temperatura (1000°C) requiere protección de argón (pureza $\geq 99.99\%$, contenido de oxígeno $< 10 \text{ ppm}$). El método de prueba de resistencia a la fractura utiliza una máquina de prueba de materiales universal (por ejemplo, Instron 5982, carga de 1-100 kN), utilizando una muestra de tracción con muescas de un solo lado (SENB) (ASTM E399, espesor de 0,5-3 mm), cargada a una velocidad de 0,5-2 mm / min, registrando la fuerza de propagación de la grieta y calculando la K_{IC} . Los puntos clave incluyen: precisión de entallado ($\pm 0,01 \text{ mm}$) para evitar concentraciones de tensión; El entorno de prueba es de temperatura constante ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) o control de alta temperatura ($\pm 10^\circ\text{C}$); Las calibraciones se realizan utilizando muestras estándar (por ejemplo, acero, K_{IC} aproximadamente $50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$). La prueba de tenacidad garantiza la resistencia a la fractura de la lámina de molibdeno bajo cargas dinámicas y es adecuada para boquillas de alta temperatura y sustratos semiconductores.

6.10 Método de ensayo para la ductilidad de las láminas de molibdeno

El método de prueba para la ductilidad de las láminas de molibdeno se utiliza para medir su elongación a la rotura (5-15%) y su capacidad de deformación plástica, y para evaluar sus propiedades de moldeo, y es adecuado para la deposición de películas delgadas y sustratos flexibles. El método más común es el método de prueba de tracción, que utiliza una máquina de prueba de materiales universal (por ejemplo,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

criterio MTS, carga 1-100 kN, precisión $\pm 0,5\%$). El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (norma ASTM E8, ancho 5-10 mm, espesor 0,01-3 mm), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras; 2) configuración de prueba, la muestra se fija en accesorios, se estira hasta fracturarse a una velocidad de 1-10 mm / min y se registra la curva de deformación; 3) Análisis de datos, calcule el alargamiento a la rotura ($\Delta L / L_0 \times 100\%$) y la tasa de reducción del área, y repita la prueba de 3 a 5 veces para tomar el valor promedio; 4) La prueba de ductilidad a alta temperatura (1000-1200 °C) requiere protección de vacío o argón (pureza $\geq 99.99\%$) para mejorar la ductilidad (hasta un 20%). Los puntos clave incluyen: precisión de alineación del accesorio ($< 0,1$ mm) para garantizar una fuerza uniforme; El entorno de prueba es de temperatura constante (20 ± 1 °C) o control de alta temperatura (± 10 °C); La superficie de la muestra está libre de defectos para evitar fracturas prematuras. Las pruebas de ductilidad verifican la capacidad de procesamiento de plástico de las láminas de molibdeno, asegurando su idoneidad para el estampado y el mecanizado de precisión.

6.11 Métodos de ensayo para determinar las propiedades de fatiga de las láminas de molibdeno

El método de prueba para las propiedades de fatiga de las láminas de molibdeno se utiliza para evaluar su durabilidad bajo cargas cíclicas, para medir el límite de fatiga (alrededor de 400-500 MPa, 10^7 ciclos), y es adecuado para entornos aeroespaciales y de vibración de alta temperatura. El método más común es el método de prueba de fatiga de ciclo alto, utilizando una máquina de prueba de fatiga (por ejemplo, MTS 810, carga 1-100 kN, frecuencia 10-100 Hz). El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (ASTM E466, ancho 5-10 mm, espesor 0,1-3 mm), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras; 2) configuración de la prueba, aplicación de tensión cíclica (relación de tensión $R = 0.1-0.5$), frecuencia 20-50 Hz, ciclos de registro hasta la ruptura o hasta 10^7 veces; 3) Se requiere análisis de datos, dibujo de la curva S-N, límite de fatiga determinado, protección de argón (pureza $\geq 99.99\%$) para la prueba de alta temperatura (1000 °C); 4) Repita la prueba 5 veces para tomar el promedio. Los puntos clave incluyen: la superficie de la muestra debe estar libre de arañazos (limpiada por ultrasonidos); La precisión del control de tensión (± 1 MPa) garantiza la consistencia; Para la calibración se utilizan materiales estándar (por ejemplo, acero inoxidable), con un límite de fatiga de aprox. 200 MPa. Las pruebas de fatiga garantizan la estabilidad a largo plazo de la lámina de molibdeno en el soporte de las palas de la turbina y los componentes del reactor nuclear.

6.12 Método de ensayo para la resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno

El método de prueba para la resistencia a la corrosión de las láminas de molibdeno se utiliza para evaluar su estabilidad en medios químicos (por ejemplo, ácidos no oxidantes, bases) y para medir la tasa de corrosión ($< 0,01$ mm/año en ácido clorhídrico al 10%) y es adecuado para revestimientos de equipos químicos. Los métodos comúnmente utilizados son el método de prueba de corrosión por inmersión y el método de prueba electroquímico. El método de prueba de corrosión por inmersión utiliza una cámara de prueba de corrosión (por ejemplo, Q-FOG CCT, 20-80 °C). El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (20×20 mm, espesor 0,1-3 mm), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras, limpieza ultrasónica, 2) configuración de la prueba, inmersión en medios corrosivos (como ácido clorhídrico al 10%, ácido sulfúrico o NaOH, pH 1-14) a 20-60 °C durante 168-720 horas; 3)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Análisis de datos, pesando la pérdida de masa de la muestra (precisión $\pm 0,1$ mg), calculando la velocidad de corrosión (mm/año) y repitiendo la prueba 3 veces. El método de prueba electroquímica utiliza una estación de trabajo electroquímica (por ejemplo, Gamry Interface 1010, con una precisión de $\pm 0,01$ mV) para medir el potencial de corrosión y la densidad de corriente mediante una curva de Tafel, y la muestra se coloca en una celda electrolítica (por ejemplo, NaCl al 3,5%). Los puntos clave incluyen: los medios deben cambiarse regularmente para mantener la concentración; No hay capa de óxido en la superficie de la muestra; Las calibraciones se realizan utilizando electrodos estándar (p. ej., Ag/AgCl). Las pruebas de resistencia a la corrosión garantizan la estabilidad de las láminas de molibdeno en reactores químicos y materiales de electrodos.

6.13 Métodos de ensayo para la resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno

El método de prueba para la resistencia a la oxidación de la lámina de molibdeno se utiliza para evaluar su estabilidad en un entorno de oxidación a alta temperatura, para medir la temperatura de inicio de la oxidación (aproximadamente 600 °C) y la tasa de pérdida de masa, y es adecuado para hornos de vacío y componentes aeroespaciales. Los métodos comúnmente utilizados son el análisis termogravimétrico (TGA) y las pruebas de oxidación a alta temperatura. El método TGA utiliza un analizador termogravimétrico (por ejemplo, TA Instruments Q500, 25-1500 °C, precisión $\pm 0,1\%$). El proceso de prueba incluye: 1) preparación de la muestra, corte de láminas de molibdeno (10-20 mg, espesor 0,1-1 mm), pulido a $Ra \leq 0,4$ micras; 2) configuración de prueba, aumento de temperatura a 600-1500 °C a 5-10 °C / min en aire o atmósfera de argón (pureza $\geq 99,99\%$), registrando cambios de calidad; 3) Análisis de datos, determine la temperatura de inicio de la oxidación (aumento de masa o punto de volatilización de MoO_3), repita la prueba 3 veces. El método de prueba de oxidación a alta temperatura se realiza en un horno de alta temperatura (por ejemplo, Carbolite Gero, temperatura 600-1500 °C), la lámina de molibdeno se expone al aire, se incuba durante 1-4 horas y el espesor de la capa superficial de óxido se observa mediante SEM (objetivo < 1 micra a 600 °C). Los puntos clave incluyen: la atmósfera de prueba debe controlarse con precisión (contenido de oxígeno < 10 ppm en argón); La superficie de la muestra está limpia y libre de defectos; La calibración utiliza muestras estándar (por ejemplo, tungsteno). Las pruebas de resistencia a la oxidación verifican la estabilidad de las láminas de molibdeno en entornos de alta temperatura y aseguran su idoneidad en vacío o atmósferas inertes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

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

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 7 Campos de aplicación de las láminas de molibdeno

7.1 Aplicación de la lámina de molibdeno en el ámbito de la información electrónica

La lámina de molibdeno tiene una excelente conductividad eléctrica (resistividad de aproximadamente $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), conductividad térmica (aproximadamente $138 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$), bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente $4.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) y alto punto de fusión ($2620 ^\circ\text{C}$) tienen una amplia gama de aplicaciones en el campo de la información electrónica, especialmente en la fabricación de semiconductores, materiales de electrodos y marcos de plomo. Las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) se han convertido en los materiales centrales para dispositivos de alta precisión en la industria electrónica debido a su bajo contenido de impurezas y excelente calidad superficial ($R_a \leq 0,4$ micras). A través del mecanizado de precisión y un estricto control de calidad, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD cumple con los altos estándares de las industrias de semiconductores, microelectrónica y optoelectrónica.

7.1.1 Aplicación de láminas de molibdeno en semiconductores

Los chips de molibdeno se utilizan principalmente como objetivos de pulverización catódica y sustratos de disipación de calor en la industria de los semiconductores, y se utilizan ampliamente en la fabricación de transistores de película delgada (TFT), circuitos integrados y células solares. Las láminas de molibdeno (espesor de $0,05\text{-}1 \text{ mm}$, pureza $\geq 99,95\%$) para objetivos de pulverización catódica se depositan mediante pulverización catódica de magnetrón para formar una capa conductora o capa de barrera, que se utiliza en los electrodos de las pantallas de cristal líquido (LCD), diodos emisores de luz orgánicos (OLED) y células fotovoltaicas. Su baja resistividad y alta uniformidad (tamaño de grano 5-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

20 μm) aseguran que la película sea eléctricamente estable y pueda depositarse a una velocidad de 10-50 nm/min.

El bajo coeficiente de expansión térmica de las láminas de molibdeno es similar al del silicio ($2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) y los sustratos cerámicos se adaptan térmicamente para reducir el estrés térmico y mejorar la vida útil del dispositivo. Como sustrato de disipación de calor (0,1-2 mm de espesor), las láminas de molibdeno se utilizan en semiconductores de potencia (por ejemplo, módulos IGBT) para la gestión térmica, con alta conductividad térmica para una disipación de calor eficiente y temperaturas de funcionamiento de hasta 150-200 °C. En la producción, las láminas de molibdeno se laminan en frío y se recocen al vacío (1100-1300 °C) para optimizar la calidad de la superficie ($R_a \leq 0,4$ micras) y la precisión dimensional (tolerancia $\pm 0,005$ mm). Las ventajas incluyen alta pureza, resistencia al límite de grano reducido y baja tasa de liberación de gas ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) garantiza la estabilidad del entorno de vacío y es ampliamente utilizado en la fabricación de chips y equipos de comunicación 5G.

7.1.2 Aplicación de lámina de molibdeno en materiales de electrodos

Las láminas de molibdeno se utilizan principalmente en hornos de vacío de alta temperatura, tubos de rayos X y equipos electroquímicos en materiales de electrodos, y funcionan bien debido a su alto punto de fusión y excelente conductividad eléctrica. Las láminas de molibdeno de alta pureza (espesor de 0,1-2 mm, pureza $\geq 99,95\%$) se utilizan como electrodos de calentamiento o electrodos de soporte en hornos de vacío, soportan altas temperaturas de 1500-2000 °C y la resistencia a la tracción (aprox. 500 MPa a 1200 °C) garantiza la estabilidad a largo plazo. En los tubos de rayos X, las láminas de molibdeno se utilizan como objetivos de ánodo o materiales de soporte (0,5-3 mm de espesor), su alta conductividad y resistencia al bombardeo de electrones admiten la generación de rayos X de alta energía, y la rugosidad de la superficie ($R_a \leq 0,4$ micras) garantiza la uniformidad de la radiación. En el campo de la electroquímica, las láminas de molibdeno se utilizan como electrodos para la electrólisis de cloro o hidrógeno gaseoso debido a su excelente resistencia a la corrosión en ácidos no oxidantes como el ácido clorhídrico al 10% con una tasa de corrosión de $< 0,01$ mm/año). En la producción, las láminas de molibdeno se laminan en frío y se pulen para optimizar la calidad de la superficie, y el recocido con hidrógeno (800-1100 °C) reduce las tensiones internas. Las ventajas de los electrodos de molibdeno incluyen baja resistividad y alta estabilidad química, pérdidas de electrodos reducidas y son adecuados para su uso en electrolizadores industriales y equipos de imágenes médicas.

7.1.3 Aplicación de lámina de molibdeno en el marco de plomo

Las láminas de molibdeno se utilizan como soporte y piezas conductoras para paquetes de semiconductores en marcos de plomo, y se usan ampliamente en paquetes de circuitos integrados (IC) y diodos emisores de luz (LED). Láminas de molibdeno (0,1-0,5 mm de espesor, pureza $\geq 99,95\%$) debido a su coeficiente de expansión térmica correspondiente ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) al silicio y la cerámica), que pueden reducir efectivamente el estrés térmico en el proceso de empaquetado y mejorar la confiabilidad del dispositivo. Su alta conductividad garantiza una conexión de baja resistencia del bastidor de plomo con una pérdida de transmisión de corriente del $< 1\%$. La resistencia mecánica (resistencia a la tracción 800-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1000 MPa) y la ductilidad (alargamiento a la rotura 5-10%) de las láminas de molibdeno soportan el estampado de formas complejas, y el pulido de la superficie ($Ra \leq 0,4$ micras) mejora el rendimiento de la soldadura. En la producción, las láminas de molibdeno se preparan mediante procesos de laminación en frío y corte de precisión con tolerancias dimensionales de $\pm 0,005$ mm, recocido al vacío (800-1100 °C) para optimizar la estructura del grano (5-20 micras). Las ventajas de los marcos de plomo de chip de molibdeno incluyen alta conductividad térmica (138 W / m·K), soporte para una disipación de calor eficiente, resistencia a altas temperaturas y adaptabilidad a la soldadura por reflujo (250-300 °C), que se utilizan ampliamente en dispositivos de potencia, microprocesadores y paquetes de chips LED.

7.2 Aplicación de láminas de molibdeno en horno de crecimiento de cristal de zafiro

Las láminas de molibdeno se utilizan ampliamente en los hornos de crecimiento de cristal de zafiro debido a su alto punto de fusión (2620 °C), excelente estabilidad térmica (resistencia de aproximadamente 500 MPa a 1500 °C), bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente $4,8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) y buena conductividad térmica (aproximadamente 138 W / m·K), utilizada principalmente en la fabricación de pantallas reflectantes, cubiertas y otros componentes clave. Los hornos de crecimiento de cristal de zafiro (Al_2O_3) (por ejemplo, de Chaister o de intercambio de calor) deben funcionar a altas temperaturas (2050-2100 °C) y en vacío o atmósfera inerte, lo que hace que las láminas de molibdeno sean ideales por sus propiedades a altas temperaturas y su resistencia a la fluencia (tasa de fluencia de 10^{-6} /s). A través de un proceso de mecanizado de alta pureza ($\geq 99,95\%$) y precisión, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD cumple con los altos requisitos de resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y gestión térmica del horno de crecimiento de zafiro. A continuación se presenta una descripción detallada de las aplicaciones específicas, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de las láminas de molibdeno en pantallas y cubiertas reflectantes.

7.2.1 Pantalla reflectante en el horno de crecimiento de cristal de zafiro para la producción de láminas de molibdeno

Las láminas de molibdeno se utilizan como pantallas reflectantes en los hornos de crecimiento de cristales de zafiro, principalmente para la gestión del campo térmico, y optimizan la distribución de la temperatura en el horno al reflejar el calor radiante para garantizar un crecimiento uniforme de los cristales. Las cribas reflectantes suelen estar hechas de láminas de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, espesor 0,1-2 mm), preparadas mediante laminado en frío y recocido al vacío (1100-1300 °C), y el tamaño de grano se controla a 5-20 micras para equilibrar la resistencia y la tenacidad. La superficie de la pantalla reflectante debe pulirse a $Ra \leq 0,4$ micras para mejorar la reflectividad de la radiación térmica (alrededor de 0,8-0,9) y reducir la pérdida de calor. El bajo coeficiente de expansión térmica de la lámina de molibdeno se adapta bien al crisol de zafiro (aproximadamente $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), lo que reduce el estrés térmico a altas temperaturas (< 50 MPa). La resistencia a la tracción de la lámina de molibdeno (aprox. 400-500 MPa) garantiza la estabilidad estructural y la resistencia a la oxidación en una atmósfera de vacío o argón (contenido de oxígeno < 10 ppm) sin generar MoO_3 volátil en una atmósfera de vacío o argón. En la producción, la pantalla reflectante se forma mediante estampado de precisión o corte por láser, y la tolerancia dimensional es de $\pm 0,01$ mm para garantizar la uniformidad del campo térmico. Sus ventajas

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

incluyen alta conductividad térmica, conducción de calor efectiva, excelente resistencia a altas temperaturas y vida útil prolongada (> 1000 horas), que se usa ampliamente en la producción de cristales de zafiro para sustratos LED y ventanas ópticas.

7.2.2 Láminas de molibdeno para la producción de cubiertas de hornos de crecimiento de cristal de zafiro

Las láminas de molibdeno se utilizan como placas de cubierta en los hornos de crecimiento de cristal de zafiro para sellar los crisoles o proteger el campo térmico dentro del horno de las fugas de calor y la contaminación por impurezas. Las placas de cubierta generalmente están hechas de láminas de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99.95\%$, espesor 0.5-3 mm), preparadas por proceso de laminado en caliente o laminado en frío, con resistencia a la tracción de 800-1000 MPa, ductilidad (alargamiento a la rotura 5-10%) para soportar el procesamiento de formas complejas. La superficie de la tapa debe estar decapada o pulida ($Ra \leq 0,4 \mu m$) para reducir la adsorción de gas y garantizar un vacío en el horno (10^{-5} Pa). A altas temperaturas de 2050-2100 °C, la estabilidad térmica (tasa de pérdida de masa < 0,1% en argón) y la resistencia a la fluencia (tasa de fluencia $10^{-6}/s$) de la lámina de molibdeno garantizan que la cubierta no se deforme durante mucho tiempo. En la producción, la placa de cubierta se mecaniza o estampa y moldea con CNC, con una precisión dimensional de $\pm 0,02$ mm, y los bordes deben desbarbarse para evitar la concentración de tensiones.

Las ventajas de la placa de cubierta de lámina de molibdeno incluyen alta conductividad térmica (138 W / m·K), estabilidad del campo térmico y baja tasa de liberación de gas ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) para mantener un ambiente limpio en el horno, adecuado para el método Chai o el horno de crecimiento del método de intercambio de calor. Mejora la pureza del cristal (impurezas < 10 ppm) y la eficiencia del crecimiento en la producción de cristal de zafiro, y es ampliamente utilizado en la fabricación de zafiro para pantallas de teléfonos inteligentes y sustratos láser.

7.3 Aplicación de láminas de molibdeno en hornos de vacío

Las láminas de molibdeno se utilizan ampliamente en hornos de vacío debido a su alto punto de fusión (2620 °C), excelente resistencia a altas temperaturas (alrededor de 500 MPa a 1500 °C), bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente $4,8 \times 10^{-6} / ^\circ C$) y buena conductividad térmica (aproximadamente 138 W / m·K), principalmente utilizados en la fabricación de pantallas reflectantes, calentadores y conectores. Los hornos de vacío (por ejemplo, hornos de sinterización de alta temperatura, hornos de tratamiento térmico) deben funcionar en vacío o atmósfera inerte (10^{-5} Pa, contenido de oxígeno < 10 ppm), generalmente a 1000-2000 °C, y la resistencia a la fluencia de las láminas de molibdeno (tasa de fluencia $10^{-6}/s$) y la baja tasa de liberación de gas ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) lo convierte en un material ideal.

A través de un proceso de mecanizado de alta pureza ($\geq 99.95\%$) y precisión, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD cumple con los altos requisitos del horno de vacío para resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y gestión térmica. La siguiente es una discusión detallada de las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aplicaciones específicas, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de las láminas de molibdeno en la pantalla reflectante, el calentamiento térmico y los conectores en el horno de vacío.

7.3.1 Pantallas reflectantes en hornos de vacío para la producción de láminas de molibdeno

Las láminas de molibdeno se utilizan como pantallas reflectantes en los hornos de vacío, principalmente para la gestión del campo térmico, para optimizar la distribución de la temperatura en el horno al reflejar el calor radiante y para garantizar la uniformidad de la sinterización del material o el tratamiento térmico. La pantalla reflectante está hecha de lámina de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, espesor 0,1-2 mm), preparada por laminación en frío y recocido al vacío (1100-1300 °C), y el tamaño de grano se controla a 5-20 micras para equilibrar la resistencia y la tenacidad. La superficie está pulida a $Ra \leq 0,4$ micras, lo que mejora la reflectividad de la radiación térmica (aproximadamente 0,8-0,9) y reduce la pérdida de calor. El bajo coeficiente de expansión térmica de la lámina de molibdeno se adapta a las piezas cerámicas o metálicas del horno, lo que reduce el estrés térmico a altas temperaturas (< 50 MPa). En un entorno de vacío de 1500-2000 °C, la resistencia a la tracción de la lámina de molibdeno (aproximadamente 400-500 MPa) garantiza la estabilidad estructural y la resistencia a la oxidación evita la formación de MoO_3 volátil. En la producción, la pantalla reflectante se corta o estampa y moldea con láser, y la tolerancia dimensional es de $\pm 0,01$ mm para garantizar la uniformidad del campo térmico. Sus ventajas incluyen alta conductividad térmica, conducción de calor efectiva, excelente resistencia a altas temperaturas y larga vida útil (> 1000 horas), que son ampliamente utilizados en hornos de sinterización de cerámica y hornos de tratamiento térmico de materiales semiconductores.

7.3.2 Calor en el horno de vacío para la producción de láminas de molibdeno

Las láminas de molibdeno se utilizan como calores de calentamiento en hornos de vacío para generar directamente calor resistivo como elementos calefactores para respaldar procesos de sinterización o tratamiento térmico a alta temperatura. El centro del cabello se prepara mediante un proceso de laminación en frío con lámina de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$ y espesor de 0.1-1 mm), con una resistencia a la tracción de 800-1000 MPa y una resistividad de aproximadamente $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ para garantizar una conversión eficiente de calor eléctrico. La superficie debe pulirse ($Ra \leq 0,4 \mu m$) o decaparse para reducir la adsorción de gas y mantener el vacío (10^{-5} Pa). A 1500-1800 °C, la estabilidad térmica (tasa de pérdida de masa $< 0,1\%$) y la resistencia a la fluencia (tasa de fluencia 10^{-6}) de las láminas de molibdeno/s) para garantizar que el calor no se deforme durante mucho tiempo.

En la producción, el calor del cabello se forma mediante estampado de precisión o corte de alambre, con un ancho de 5-50 mm, una longitud personalizada según el tipo de horno y una tolerancia dimensional de $\pm 0,02$ mm. Las ventajas de la generación de calor incluyen alta conductividad, soporte para un rápido aumento de temperatura (tasa 10-20 °C / min), resistencia a altas temperaturas, adaptabilidad al vacío o a la atmósfera de argón, y adecuado para la sinterización de aleaciones metálicas y hornos de crecimiento de material monocristalino. Su eficiente conversión de calor aumenta la tasa de utilización de energía en el horno ($> 90\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3.3 Conectores en hornos de vacío para la producción de láminas de molibdeno

Las láminas de molibdeno se utilizan como conectores en hornos de vacío para fijar o conectar pantallas reflectantes, calores u otros componentes para garantizar la estabilidad de la estructura del campo térmico. Los conectores están hechos de láminas de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, espesor 0,5-3 mm), preparadas por laminación en caliente o laminación en frío, con resistencia a la tracción de 800-1000 MPa, ductilidad (alargamiento a la rotura 5-10%) para soportar el estampado o la flexión. El decapado o pulido de superficies ($Ra \leq 0,4$ micras) reduce la tasa de liberación de gas y mantiene un ambiente limpio en el horno. A altas temperaturas de 1500-2000 °C, la resistencia a la fluencia y el bajo coeficiente de expansión térmica de las láminas de molibdeno garantizan que los conectores no se deformen ni aflojen. En la producción, los conectores se preparan mediante mecanizado CNC o corte láser con una tolerancia de $\pm 0,01$ mm, y los bordes se desbarban para evitar la concentración de tensiones. Sus ventajas incluyen soporte de alta resistencia para estructuras complejas, alta conductividad térmica (138 W/m·K) y uniformidad del campo térmico auxiliar, adecuado para marcos de soporte y fijaciones para hornos de vacío de alta temperatura. Las conexiones mejoran la confiabilidad estructural y la vida útil en hornos de tratamiento térmico de cerámica, metal y compuestos.

7.4 Aplicación de lámina de molibdeno en recubrimiento por plasma

Las láminas de molibdeno se utilizan en recubrimientos de plasma debido a su alta conductividad (resistividad aprox. $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), excelente estabilidad térmica (punto de fusión 2620 °C), bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) y alta pureza ($\geq 99,95\%$), especialmente como objetivo de pulverización catódica en el proceso de pulverización catódica del magnetrón. El recubrimiento de plasma es una tecnología que bombardea la superficie de un objetivo con plasma en un entorno de vacío para depositar películas delgadas, y se usa ampliamente en la fabricación de semiconductores, pantallas y células solares. A través del procesamiento de precisión y el estricto control de calidad, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD cumple con los estrictos requisitos del recubrimiento por plasma para una alta pureza, calidad superficial y precisión dimensional. A continuación se analizan en detalle las aplicaciones específicas, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de la lámina de molibdeno como objetivo de pulverización catódica.

7.4.1 Lámina de molibdeno como objetivo de pulverización catódica para el recubrimiento por plasma

Las láminas de molibdeno se utilizan como objetivos de pulverización catódica en los recubrimientos de plasma, y las películas de molibdeno se depositan por pulverización catódica del magnetrón para formar capas conductoras, capas de barrera o electrodos, que se utilizan ampliamente en transistores de película delgada (TFT), diodos emisores de luz orgánicos (OLED), células solares y fabricación de circuitos integrados. El objetivo de pulverización catódica está hecho de láminas de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, espesor 0,05-1 mm), preparadas por laminado en frío y recocido al vacío (1100-1300 °C), y el tamaño de grano se controla a 5-20 micras para garantizar la uniformidad de la película depositada. Pulido de superficies a $Ra \leq 0,4$ micras, reduciendo la inyección de partículas durante la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pulverización catódica y mejorando la calidad de la película (densidad de defectos $< 10/\text{cm}^2$). La baja resistividad y la alta conductividad térmica ($138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de las láminas de molibdeno soportan el bombardeo de plasma de alta eficiencia con tasas de deposición de $10\text{-}50 \text{ nm/min}$, y su bajo coeficiente de expansión térmica coincide con el de los sustratos de silicio ($2,6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) para reducir el estrés térmico ($< 50 \text{ MPa}$). En la producción, los objetivos de lámina de molibdeno se forman mediante corte láser o mecanizado CNC con tolerancias dimensionales de $\pm 0,005 \text{ mm}$, y las impurezas (hierro, cobre $< 20 \text{ ppm}$) y las tasas de liberación de gas ($< 10^{-8} \text{ mbar}\cdot\text{s}$) están estrictamente controladas (L/s) para mantener un entorno de vacío (10^{-6} Pa). Sus ventajas incluyen alta pureza, propiedades eléctricas estables de películas delgadas, excelente resistencia a la corrosión (bajo atmósfera de argón), vida útil prolongada ($> 1000 \text{ horas}$) y es ampliamente utilizado en la deposición de electrodos de LCD, pantallas OLED y células fotovoltaicas.

7.5 Aplicación de la lámina de molibdeno en la industria metalúrgica

La lámina de molibdeno es ampliamente utilizada en la industria metalúrgica debido a su alto punto de fusión ($2620 \text{ }^\circ\text{C}$), excelente resistencia a altas temperaturas (alrededor de 500 MPa a $1500 \text{ }^\circ\text{C}$) y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01 \text{ mm / año}$ en entornos no oxidantes), principalmente como aditivos para la fabricación de acero y componentes de hornos de alta temperatura. El molibdeno puede mejorar significativamente la resistencia, la tenacidad y la resistencia a la corrosión del acero, y es adecuado para la producción de aceros aleados de alto rendimiento. A través de la pulvimetalurgia y el proceso de laminación, la lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD proporciona materiales aditivos de alta calidad para satisfacer las necesidades de la industria metalúrgica para un equilibrio entre rendimiento y costo. A continuación se analiza en detalle la aplicación, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de las láminas de molibdeno como aditivos para la fabricación de acero.

7.5.1 Aplicación de láminas de molibdeno como aditivos en la fabricación de acero

Las láminas de molibdeno se utilizan como aditivos en la fabricación de acero para producir aceros de baja aleación (HSLA) de alta resistencia, aceros inoxidables y aceros para herramientas para mejorar la resistencia a la tracción (que se puede aumentar en un $20\text{-}30\%$), la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Las láminas de molibdeno ($0,5\text{-}3 \text{ mm}$ de espesor, $99\text{-}99,9\%$ de pureza) se preparan mediante laminación en caliente o en frío y suelen tener un tamaño de $10\text{-}50 \text{ mm}$ de ancho y $100\text{-}500 \text{ mm}$ de largo, lo que resulta conveniente para fundir y agregar en hornos de fabricación de acero como hornos de arco eléctrico o convertidores. La adición de láminas de molibdeno es generalmente del $0,1\text{-}1\%$ del peso del acero, y sus propiedades mecánicas (por ejemplo, resistencia a la tracción de $1000\text{-}1500 \text{ MPa}$) mejoran significativamente al aumentar la finura del grano y el fortalecimiento de la transformación de fase del acero (por ejemplo, la formación de martensítico). En entornos siderúrgicos de alta temperatura ($1500\text{-}1600 \text{ }^\circ\text{C}$), el bajo contenido de impurezas de las láminas de molibdeno (hierro, cobre $< 100 \text{ ppm}$) garantiza que no se introduzcan elementos nocivos, y el decapado de la superficie (Ra $0,8\text{-}1,6 \text{ micras}$) reduce las inclusiones de gas. En la producción, las láminas de molibdeno se cortan o trituran en trozos pequeños con una tolerancia dimensional de $\pm 0,05 \text{ mm}$ para facilitar una fusión uniforme. Sus ventajas incluyen un alto punto de fusión y estabilidad química para un proceso de adición

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

estable, alta conductividad térmica (138 W/m·K) para una fusión rápida, y es ampliamente utilizado en la producción de aceros de alta resistencia en las industrias automotriz, marina y de la construcción, como aceros para recipientes a presión y aceros aleados resistentes a la corrosión.

7.6 Aplicación de lámina de molibdeno en la estructura de un horno de alta temperatura

La lámina de molibdeno se usa ampliamente en piezas estructurales de hornos de alta temperatura debido a su alto punto de fusión (2620 °C), excelente resistencia a altas temperaturas (aproximadamente 500 MPa a 1500 °C), bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente 4.8×10^{-6} / °C) y buena conductividad térmica (aproximadamente 138 W / m · K), utilizada principalmente para escudos térmicos y elementos calefactores. Las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) o las láminas de molibdeno de aleación TZM son conocidas por su resistencia a la fluencia (tasa de fluencia 10^{-6} /s) y baja tasa de liberación de gas ($< 10^{-8}$ mbar·L/s) en hornos de alta temperatura (por ejemplo, hornos de sinterización, hornos de tratamiento térmico) en vacío o atmósferas inertes (argón, contenido de oxígeno < 10 ppm).

A través del mecanizado de precisión y un estricto control de calidad, las láminas de molibdeno CTIA GROUP LTD cumplen con los altos requisitos de los hornos de alta temperatura para resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y gestión térmica. La siguiente es una discusión detallada de las aplicaciones específicas, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de las láminas de molibdeno en escudos térmicos y elementos calefactores.

7.6.1 Aplicación de lámina de molibdeno en el escudo térmico

Las láminas de molibdeno se utilizan como escudos térmicos en hornos de alta temperatura para optimizar la distribución del campo térmico en el horno al reflejar y proteger el calor radiante, reducir las pérdidas de energía y mejorar la uniformidad de la temperatura. El escudo térmico está hecho de lámina de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, espesor 0,1-2 mm), preparada por laminación en frío y recocido al vacío (1100-1300 °C), y el tamaño de grano se controla a 5-20 micras para equilibrar la resistencia y la tenacidad. La superficie está pulida a $Ra \leq 0,4$ micras, lo que mejora la reflectividad de la radiación térmica (alrededor de 0,8-0,9) y reduce eficazmente la pérdida de calor. El bajo coeficiente de expansión térmica de la lámina de molibdeno se combina con las piezas cerámicas o de tungsteno en el horno, lo que reduce el estrés térmico a altas temperaturas (< 50 MPa).

La resistencia a la tracción (aprox. 400-500 MPa) y la resistencia a la oxidación de las láminas de molibdeno garantizan la estabilidad a largo plazo y evitan la formación de MoO_3 volátil en un entorno de vacío o argón a 1500-2000 °C. En la producción, el escudo térmico se corta con láser o se estampa en forma con una tolerancia dimensional de $\pm 0,01$ mm y se apila en varias capas (3-5 capas) para mejorar el efecto de aislamiento térmico. Sus ventajas incluyen alta conductividad térmica, soporte para campo térmico estable, excelente resistencia a altas temperaturas y larga vida útil (> 1000 horas), que son ampliamente utilizados en hornos de sinterización de cerámica, hornos de crecimiento monocristalino y hornos de tratamiento térmico a alta temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.6.2 Aplicación de lámina de molibdeno en el elemento calefactor

Las láminas de molibdeno se utilizan como elementos calefactores en hornos de alta temperatura, proporcionando un entorno estable de alta temperatura a través del calentamiento por resistencia para respaldar los procesos de sinterización, recocido y tratamiento térmico. El elemento calefactor está hecho de lámina de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$, espesor 0,1-1 mm), preparada por laminación en frío, con una resistencia a la tracción de 800-1000 MPa y una resistividad de aproximadamente $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ para garantizar una conversión eficiente de calor eléctrico. El pulido o decapado de superficies ($Ra \leq 0,4$ micras) reduce la adsorción de gas y mantiene el vacío (10^{-5} Pa). A 1500-1800 °C, la estabilidad térmica (tasa de pérdida de masa $< 0,1\%$) y la resistencia a la fluencia (tasa de fluencia 10^{-6}) de las láminas de molibdeno) para garantizar que no se deforme. En la producción, los elementos calefactores se forman por estampado de precisión o corte de alambre, con un ancho de 5-50 mm, una longitud personalizada según el tipo de horno y una tolerancia dimensional de $\pm 0,02$ mm. Sus ventajas incluyen alta conductividad eléctrica, rápido aumento de temperatura (10-20 °C / min), resistencia a altas temperaturas y resistencia al vacío o atmósferas inertes, lo que lo hace adecuado para hornos de sinterización de aleaciones metálicas y hornos de tratamiento térmico de materiales semiconductores. La tasa de utilización de energía del elemento calefactor de lámina de molibdeno es alta ($>90\%$), lo que mejora significativamente la eficiencia de calentamiento en el horno.

7.7 Aplicación de lámina de molibdeno en la anticorrosión de equipos químicos

Las láminas de molibdeno son ampliamente utilizadas en equipos químicos debido a su excelente resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01$ mm / año en ácido clorhídrico al 10%), alta resistencia (resistencia a la tracción 800-1000 MPa) y estabilidad química, principalmente utilizada en el revestimiento de reactores y componentes de tuberías. Las láminas de molibdeno de pureza ordinaria (99-99,9%) se utilizan ampliamente en ácidos no oxidantes (por ejemplo, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico) y entornos alcalinos debido a su rentabilidad, pero deben evitarse los ácidos oxidantes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado) para evitar la formación de MoO_3 . La lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD cumple con los requisitos de los equipos químicos para la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas a través del proceso de laminado en caliente o laminado en frío. La siguiente es una discusión detallada de la aplicación, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de las láminas de molibdeno en revestimientos de reactores y componentes de tuberías.

7.7.1 Aplicación de lámina de molibdeno en el revestimiento del reactor

La lámina de molibdeno se utiliza como material de revestimiento en reactores químicos para proteger el cuerpo de la caldera de medios corrosivos y prolongar la vida útil del equipo. El revestimiento interior está hecho de láminas de molibdeno de pureza ordinaria (pureza 99-99,9%, espesor 0,5-3 mm), preparadas mediante laminado en caliente o laminado en frío, decapado superficial (Ra 0,8-1,6 micras) para garantizar la limpieza y la resistencia a la corrosión. En un entorno de ácido clorhídrico (10-20%, 20-60 °C) o ácido sulfúrico, la tasa de corrosión de la lámina de molibdeno $<$ de 0,01 mm / año, y su resistencia a la tracción (700-900 MPa) admite los requisitos estructurales de los autoclaves (presión 1-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 MPa). En la producción, los revestimientos de molibdeno se estampan o sueldan con tolerancias dimensionales de $\pm 0,05$ mm y deben conectarse sin problemas para evitar fugas de medios. Sus ventajas incluyen una excelente resistencia a los ácidos no oxidantes, alta conductividad térmica (138 W/m·K) para ayudar en la gestión térmica del reactor, y son ampliamente utilizados en la producción de cloruro y reactores de síntesis de ácidos orgánicos. El revestimiento de lámina de molibdeno mejora significativamente la durabilidad del equipo (vida útil > 5 años) y la seguridad.

7.7.2 Aplicación de lámina de molibdeno en componentes de tuberías

Las láminas de molibdeno se utilizan como revestimientos o soportes en componentes de tuberías químicas para proteger las tuberías de líquidos o gases corrosivos, y son adecuadas para sistemas de tuberías que transportan medios ácidos o alcalinos. Las piezas de la tubería están hechas de láminas de molibdeno de pureza ordinaria (pureza 99-99.9%, espesor 0.2-2 mm), preparadas por laminación en frío, ductilidad (alargamiento a la rotura 5-10%) para soportar la formación de flexión, decapado superficial (Ra 0.8-1.6 micras) para garantizar la resistencia a la corrosión. En medios no oxidantes (por ejemplo, ácido clorhídrico al 20%, tasa de corrosión < 0,01 mm/año), la lámina de molibdeno es químicamente más estable que el acero inoxidable. En la producción, las láminas de molibdeno se estampan o enrollan en revestimientos tubulares con tolerancias dimensionales de $\pm 0,02$ mm, y las uniones soldadas se pulen para evitar manchas de corrosión. Sus ventajas incluyen alta resistencia (700-900 MPa) para soportar la estructura de la tubería, bajo coeficiente de expansión térmica para reducir la distorsión térmica y es adecuado para su uso en sistemas de tuberías en la producción de fertilizantes y las industrias petroquímicas. Los componentes de las tuberías de lámina de molibdeno mejoran la resistencia a la corrosión del sistema y la estabilidad operativa, y extienden los intervalos de mantenimiento (> 3 años).

7.8 Aplicación de láminas de molibdeno en componentes satélite

Las láminas de molibdeno se utilizan ampliamente en componentes de satélites debido a su alta resistencia (resistencia a la tracción 800-1200 MPa), bajo coeficiente de expansión térmica (alrededor de $4,8 \times 10^{-6}$ / °C), excelente conductividad térmica (aproximadamente 138 W / m·K) y resistencia a altas temperaturas (punto de fusión 2620 °C), especialmente en componentes de antenas y radiadores de sistemas de control térmico. Los satélites operan en entornos espaciales extremos (-150 °C a 150 °C, vacío 10^{-7} Pa), que requieren materiales de alta fiabilidad y bajas tasas de liberación de gas (< 10^{-8} mbar·L/s) y resistencia a la radiación. Las láminas de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) o las láminas de molibdeno de aleación TZM se laminan en frío y se recocen al vacío (1100-1300 °C) para satisfacer las necesidades de los satélites de ligereza, gestión térmica y propiedades mecánicas. Con su alta precisión y consistencia, las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD se utilizan ampliamente como componentes clave de satélites de comunicación, satélites de teledetección y sondas de espacio profundo. A continuación se detallan las aplicaciones específicas, los requisitos de rendimiento y las ventajas técnicas de los chips de molibdeno en componentes de antenas y radiadores para sistemas de control térmico.

7.8.1 Aplicación de lámina de molibdeno en componentes de antena

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las láminas de molibdeno se utilizan principalmente como estructuras de soporte o capas conductoras en los componentes de las antenas para soportar la estabilidad estructural y la eficiencia de la transmisión de señales de las antenas de comunicación por satélite (como las antenas parabólicas o las antenas de matriz en fase). Las láminas de molibdeno (espesor 0,1-1 mm, pureza $\geq 99,95\%$) se preparan mediante laminación en frío y se pulen la superficie a $Ra \leq 0,4$ micras, lo que garantiza una alta conductividad eléctrica (resistividad aprox. $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) y baja pérdida de señal ($< 0,1$ dB). Su bajo coeficiente de expansión térmica se adapta a los sustratos de las antenas, como los compuestos de fibra de carbono, aproximadamente $2-5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ para reducir la deformación (deformación $< 0,01\%$) causada por los ciclos térmicos. En un entorno de vacío espacial, la baja tasa de liberación de gas y la resistencia a la tracción (800-1000 MPa) de las láminas de molibdeno garantizan la estabilidad a largo plazo y la resistencia a la radiación y a los impactos de micrometeoritos. En la producción, las láminas de molibdeno se forman por corte láser o estampado CNC, con tolerancias dimensionales $\pm 0,005$ mm, y los bordes se desbarban para evitar la concentración de tensiones. Sus ventajas incluyen alta conductividad para soportar una transmisión eficiente de la señal, excelente resistencia a la fatiga (límite de fatiga de aproximadamente 400 MPa, 10^7 ciclos) para adaptarse al entorno de vibración, y es ampliamente utilizado en la guía de ondas y el marco de soporte de las antenas de comunicación por satélite para mejorar la precisión y confiabilidad de la transmisión de señales.

7.8.2 Aplicación de lámina de molibdeno en el radiador del sistema de control térmico

Las láminas de molibdeno se utilizan como disipadores de calor o superficies de radiación térmica en los radiadores del sistema de control térmico satelital para mantener la temperatura de funcionamiento ($-50^{\circ}C$ a $100^{\circ}C$) de los equipos electrónicos satelitales a través de una conducción de calor eficiente y una disipación de calor radiativa. Las láminas de molibdeno (espesor 0,05-0,5 mm, pureza $\geq 99,95\%$) se preparan mediante un proceso de laminado y pulido en frío, con una rugosidad superficial de $Ra \leq 0,4$ micras y un aumento de la emisividad térmica (alrededor de 0,8-0,9). Su alta conductividad térmica ($138 W/m \cdot K$) transfiere eficientemente el calor generado por la electrónica, y el bajo coeficiente de expansión térmica reduce el estrés térmico y garantiza la compatibilidad térmica con sustratos de aluminio o cerámica. La resistencia a la tracción (900-1200 MPa) y la resistencia a la fluencia (tasa de fluencia $10^{-6}/s$) de la lámina de molibdeno mantienen la estabilidad estructural bajo los ciclos de diferencia de temperatura del espacio, y la resistencia a la radiación evita la degradación del material. En la producción, las láminas de molibdeno se forman mediante estampado o doblado de precisión con una tolerancia dimensional de $\pm 0,005$ mm, y se pueden recubrir con un recubrimiento de alta emisividad (por ejemplo, alúmina) para mejorar la eficiencia de disipación de calor. Sus ventajas incluyen peso ligero (densidad de $10,22 g/cm^3$, mejor que el tungsteno $19,25 g/cm^3$), alta conductividad térmica para soportar una rápida disipación de calor, ampliamente utilizado en sistemas de control térmico para satélites de comunicación y sondas científicas, y garantizar el funcionamiento estable de equipos en entornos espaciales extremos.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 8 Problemas de seguridad y protección del medio ambiente en la producción de láminas de molibdeno

La producción de láminas de molibdeno implica una serie de procesos complejos, desde la extracción de mineral de molibdeno hasta el beneficio, la refinación, la pulvimetalurgia y el laminado, cada uno de los cuales puede presentar desafíos ambientales y de seguridad. Los problemas de seguridad incluyen riesgos de voladuras, explosiones de polvo y peligros de operación a alta temperatura, mientras que los problemas ambientales involucran gases de escape, aguas residuales, desechos sólidos y consumo de energía. Las láminas de molibdeno de CTIA GROUP LTD pueden reducir eficazmente los riesgos y el impacto ambiental mediante la adopción de tecnologías avanzadas de gestión de seguridad y protección del medio ambiente, como el sistema de eliminación de polvo de alta eficiencia (concentración de polvo $< 10 \text{ mg} / \text{m}^3$), reciclaje de aguas residuales ($> 80\%$) y dispositivo de tratamiento de gases de escape (tasa de eliminación de $\text{SO}_2 > 95\%$).

8.1 Cuestiones de seguridad en la producción de láminas de molibdeno

Los problemas de seguridad en la producción de láminas de molibdeno se deben principalmente a las operaciones de alto riesgo en la minería, el beneficio y el procesamiento, que pueden provocar lesiones, daños en el equipo o interrupciones de la producción. A continuación se analizan los principales problemas de seguridad y contramedidas de las tres etapas de minería, beneficio y moldeo.

1. Problemas de seguridad durante la fase de minería

- **Riesgo de las operaciones de voladura:** El uso de nitrato de amonio o explosivos de emulsión en la minería a cielo abierto y subterránea conlleva el riesgo de explosiones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

incontroladas o rocas voladoras. Una voladura inadecuada puede provocar el colapso del cuerpo mineral, especialmente en la minería subterránea (3-5 m de ancho y 3-4 m de alto).

- **Peligros del polvo:** La trituración y el transporte de molibdenita (MoS_2) producen grandes cantidades de polvo (tamaño de partícula < 10 micras), que puede causar enfermedades respiratorias o explosiones de polvo (concentración mínima de explosión de unos $30\text{-}50 \text{ g/m}^3$).
- **Contramidas:** Adopte tecnología de voladura de precisión (como detonador electrónico, error de control $< 0,1$ segundos) para reducir el riesgo de rocas voladoras y deslizamientos de tierra; Equipado con un sistema de supresión de polvo por pulverización de alta eficiencia (concentración de polvo $< 10 \text{ mg/m}^3$) y un filtro de bolsa; Uso obligatorio de equipos de protección (máscaras contra el polvo, gafas) e implementación de un sistema de ventilación (volumen de aire de minería subterránea $\geq 3 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{persona}$).

2. Cuestiones de seguridad en la fase de beneficio

- **Riesgos químicos:** El xantato (xantato de butilo, $0,1\text{-}0,3 \text{ kg/t}$) y los agentes espumantes (por ejemplo, terpineol) utilizados en el proceso de flotación son tóxicos y volátiles, y pueden causar envenenamiento o daños en la piel si se inhalan o entran en contacto.
- **Daños mecánicos:** Las trituradoras ($75\text{-}500 \text{ kW}$) y los molinos de bolas ($20\text{-}30 \text{ rpm}$) funcionan con riesgo de pellizco o impacto, especialmente durante el mantenimiento y la limpieza.
- **Contramidas:** El agente de flotación se almacena en un contenedor cerrado equipado con un sistema de ventilación y tratamiento de gases de escape (adsorción de carbón activado); Los operadores usan ropa de protección química y respiradores; El equipo está equipado con escudos de seguridad y dispositivos de parada de emergencia, y se brinda capacitación periódica para garantizar un funcionamiento estandarizado.

3. Problemas de seguridad en el proceso de moldeo

- **Riesgo de operación a alta temperatura:** La sinterización de pulvimetalurgia ($1800\text{-}2000 \text{ }^\circ\text{C}$) y el laminado en caliente ($1000\text{-}1400 \text{ }^\circ\text{C}$) involucran equipos de alta temperatura y existen riesgos de quemaduras o incendios. Las fugas en los hornos de vacío o de sinterización de hidrógeno (pureza del hidrógeno $\geq 99,99\%$) pueden provocar una explosión.
- **Riesgo de explosión de polvo:** El polvo de molibdeno (tamaño de partícula de 1 a 10 micras) es propenso a formar nubes de polvo de alta concentración durante el proceso de prensado, lo que puede causar una explosión en caso de chispas.
- **Contramidas:** El equipo de sinterización y laminación está equipado con un sistema automático de control de temperatura (precisión $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) y detección de fugas de gas (concentración de hidrógeno $< 4\%$); La planta de prensado de polvo utiliza un colector de polvo a prueba de explosiones (concentración de polvo $< 5 \text{ mg/m}^3$) y protección contra gas inerte; Los operadores están capacitados en trabajos en caliente y equipados con ropa protectora aislante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.2 Problemas ambientales en la producción de láminas de molibdeno

Los problemas ambientales en el proceso de producción de láminas de molibdeno involucran principalmente gases residuales, aguas residuales, desechos sólidos y consumo de energía, lo que puede causar contaminación del aire, el agua y el suelo. A continuación se analizan los principales problemas ambientales y las contramedidas de las tres etapas de extracción, beneficio y procesamiento.

1. Problemática ambiental en la etapa minera

- **Contaminación de roca estéril y relaves:** Las proporciones de desmonte de la minería a cielo abierto (3:1 a 10:1) producen grandes cantidades de roca estéril y relaves, lo que puede provocar la erosión del suelo y la fuga de metales pesados (cobre y hierro).
- **Polvo y emisiones de escape:** El chorreado y el transporte producen polvo (concentración de PM10 > 100 mg/m³) y gases de escape mecánicos (NO_x, CO), contaminando la atmósfera.
- **Contramedidas:** La roca estéril y los relaves se apilan por separado, y se utiliza la tecnología de relleno de relaves (tasa de relleno >50%) para reducir la ocupación de tierras; Equipado con supresión de polvo por pulverización y sistema de eliminación de polvo de bolsa (tasa de eliminación de polvo >95%); Utilice una unidad de purificación de gases de escape y combustible con bajo contenido de azufre (tasa de eliminación de NO_x >80%).

2. Problemática ambiental en la fase de beneficio

- **Contaminación de aguas residuales:** El proceso de flotación produce aguas residuales que contienen xantato y metales pesados (plomo, cobre), pH 8-10, que pueden contaminar el cuerpo de agua (DQO>100 mg/L) si se descargan directamente.
- **Tratamiento de relaves:** los relaves de beneficio (contenido de molibdeno <0.05%) contienen sulfuro, que puede oxidarse para formar lixiviados ácidos (pH<4) y contaminar el suelo y las aguas subterráneas después del apilamiento a largo plazo.
- **Contramedidas:** Las aguas residuales se tratan por floculación y neutralización (ajuste de pH a 6-8), y la tasa de reciclaje es > del 80%; Los relaves se almacenan secos o húmedos mediante apilamiento en seco o apilamiento en húmedo, y se cubren con membranas impermeables para evitar fugas; La recuperación de agentes beneficiosos (tasa de recuperación de xantato >90%) reduce las emisiones.

3. Problemas ambientales en las fases de refinación y procesamiento

- **Emisiones de escape:** El tostado oxidativo (550-650°C) produce SO₂ (concentración>1000 mg/m³) y MoO₃ volátil, contaminando la atmósfera. La reducción de hidrógeno (900-1100 °C) puede emitir amoníaco (descomposición del molibdato de amonio).
- **Consumo de energía:** Los procesos de pulvimetalurgia y laminación tienen un alto consumo de energía (por ejemplo, 100-500 kW de potencia del horno de sinterización) y altas emisiones de carbono (alrededor de 5-10 toneladas de CO₂ por tonelada de láminas de molibdeno).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Contramedidas:** Equipado con un dispositivo de desulfuración húmeda (tasa de eliminación de SO₂ >95%) y un sistema de adsorción de carbón activado para tratar el amoníaco; Optimización del proceso de sinterización y laminación (por ejemplo, reducción de la temperatura de sinterización a 1700 °C) y aumento de la eficiencia energética (reducción del 20% en el consumo de energía); Alimentado por fuentes de energía renovables (por ejemplo, fotovoltaica) para reducir su huella de carbono.

A través de la implementación de una estricta gestión de seguridad (por ejemplo, monitoreo automatizado y equipos de protección) y tecnologías ambientales (por ejemplo, tratamiento de gases residuales y aguas residuales y reciclaje de recursos), la producción de láminas de molibdeno puede reducir efectivamente los riesgos de seguridad y los impactos ambientales, asegurando que el proceso de producción cumpla con los estándares internacionales de seguridad (por ejemplo, ISO 45001) y las regulaciones ambientales (por ejemplo, la Ley de Protección Ambiental de China).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C, stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μ m – Ra 3.2 μ m

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) \rightarrow Inspection \rightarrow Hot Rolling \rightarrow Leveling & Annealing \rightarrow Alkali Cleaning \rightarrow Inspection \rightarrow Warm Rolling \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Cold Rolling \rightarrow Leveling \rightarrow Shearing \rightarrow Vacuum Annealing \rightarrow Inspection \rightarrow Packaging

5. Purchasing Information

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

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD

Capítulo 9 Normas nacionales y extranjeras para láminas de molibdeno

Como material de alto rendimiento, la lámina de molibdeno es ampliamente utilizada en la industria electrónica, aeroespacial, de hornos de alta temperatura y química, y sus requisitos de calidad y rendimiento están sujetos a estrictos estándares nacionales y extranjeros. La norma especifica parámetros clave como la composición química, las propiedades mecánicas, las tolerancias dimensionales y la calidad de la superficie de las láminas de molibdeno para garantizar la consistencia y fiabilidad del producto. La lámina de molibdeno CTIA GROUP LTD sigue estrictamente el estándar nacional chino (GB) y los estándares internacionales (como ASTM, ISO) para satisfacer la demanda del mercado global. Este capítulo analiza en detalle las normas nacionales chinas, las normas internacionales y las normas pertinentes de Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países para láminas de molibdeno, y analiza sus requisitos y escenarios de aplicación.

9.1 Estándar nacional chino para láminas de molibdeno

La Norma Nacional China (GB) tiene disposiciones claras sobre la composición química, las propiedades mecánicas, el tamaño y los requisitos de procesamiento de las láminas de molibdeno, que son emitidas principalmente por la Administración de Normalización de la República Popular China y son aplicables a la producción y aplicación de láminas de molibdeno en China. A continuación se enumeran los principales criterios relevantes:

1. GB/T 3462-2017

- **Ámbito de aplicación:** Cubre la lámina de molibdeno (espesor 0,01-3 mm), la placa de molibdeno y la barra de molibdeno, adecuada para componentes electrónicos,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aeroespaciales y de hornos de alta temperatura.

- **Composición química:** las láminas de molibdeno de alta pureza (Mo1) requieren un contenido de molibdeno del $\geq 99,95\%$ y un contenido de impurezas (como Fe, Ni, Cu) de < 50 ppm; El contenido de molibdeno de las láminas de molibdeno puro ordinario (Mo2) \geq del 99,9%.
- **Propiedades mecánicas:** resistencia a la tracción ≥ 700 MPa (laminado en frío), alargamiento a la rotura $\geq 5\%$, dureza Vickers 220-250 HV.
- **Tolerancias dimensionales:** tolerancias de espesor (0,01-0,1 mm \pm 0,005 mm, 0,1-3 mm \pm 0,02 mm), rugosidad superficial Ra \leq 0,8 micras.
- **Método de detección:** la composición química adopta ICP-MS, las propiedades mecánicas están de acuerdo con GB / T 228.1 (prueba de tracción) y la calidad de la superficie se verifica con microscopio.
- **Aplicación:** Adecuado para objetivos semiconductores, calor de hornos de vacío y revestimiento de equipos químicos.

2. GB/T 3876-1983

- **Ámbito de aplicación:** Detalle de la lámina fina de molibdeno (espesor 0,01-0,1 mm) para campos electrónicos y ópticos.
- **Composición química:** contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, contenido de oxígeno < 50 ppm.
- **Requisitos de rendimiento:** resistencia a la tracción ≥ 800 MPa, alargamiento a la rotura $\geq 3\%$, sin grietas ni capas de óxido en la superficie.
- **Tolerancias dimensionales:** tolerancias de anchura $\pm 0,05$ mm, tolerancias de longitud ± 1 mm, tolerancias de espesor $\pm 0,003$ mm.
- **Aplicación:** Para pulverización catódica de objetivos y marcos de plomo.

El estándar nacional chino enfatiza la alta pureza y la alta precisión, que es adecuada para las necesidades de la electrónica doméstica y las industrias de alta temperatura, y garantiza que el rendimiento de las láminas de molibdeno esté en línea con los estándares internacionales.

9.2 Normas internacionales para láminas de molibdeno

Las normas internacionales son desarrolladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), entre otras, y son ampliamente utilizadas en la producción y comercialización de láminas de molibdeno en todo el mundo. Las siguientes son las principales normas internacionales:

1. ASTM B386-03 (2011)

- **Ámbito de aplicación:** Cubre la lámina de molibdeno (espesor 0,01-3 mm), la placa de molibdeno y la barra de molibdeno, adecuada para la industria aeroespacial, electrónica y hornos de alta temperatura.
- **Composición química:** contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$ (Tipo 360/361), la aleación TZM (Tipo 364) contiene titanio 0,4-0,55%, circonio 0,06-0,12%. Las impurezas (por

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ejemplo, Fe, Ni) < 100 ppm.

- **Propiedades mecánicas:** resistencia a la tracción ≥ 620 MPa (recocido), ≥ 760 MPa (trabajado en frío), alargamiento a la rotura $\geq 2-10\%$ (dependiendo del espesor).
- **Tolerancias dimensionales:** $\pm 5\%$ a un espesor de 0,01-0,1 mm, $\pm 0,025$ mm a 0,1-3 mm, rugosidad superficial $Ra \leq 0,4$ micras (pulido).
- **Método de prueba:** la composición química adopta ICP-OES, las propiedades mecánicas están de acuerdo con ASTM E8 y la calidad de la superficie se verifica mediante inspección visual y microscópica.
- **Aplicación:** Adecuado para objetivos semiconductores, escudos térmicos de hornos de vacío y componentes de satélites.

2. ISO 5832-1:2016 Implantes metálicos – Parte 1: Molibdeno forjado

- **Ámbito de aplicación:** para láminas de molibdeno (como ánodos de tubos de rayos X) en el campo médico, el grosor es de 0,1-2 mm.
- **Composición química:** contenido de molibdeno $\geq 99,9\%$, contenido de carbono < 100 ppm, contenido de oxígeno < 50 ppm.
- **Requisitos de rendimiento:** resistencia a la tracción ≥ 700 MPa, dureza 220-240 HV, sin defectos en la superficie.
- **Aplicación:** Se utiliza en equipos de imágenes médicas y componentes electrónicos de alta precisión.

El estándar internacional se centra en la versatilidad y la aplicación transnacional de las láminas de molibdeno, haciendo hincapié en la alta pureza, las bajas impurezas y el estricto control de tamaño, que es adecuado para el mercado global de alta gama.

9.3 Estándares de láminas de molibdeno en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países del mundo

Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países han formulado estándares de láminas de molibdeno de acuerdo con sus necesidades industriales y características técnicas, que son altamente consistentes con los estándares internacionales, pero tienen requisitos detallados en campos específicos. Las principales normas nacionales son las siguientes:

1. Estados Unidos

- **Estándares:** ASTM B386-03 (2011) es el estándar principal, y MIL-M-16420 (estándar militar) también está disponible para aplicaciones aeroespaciales.
- **Características:** Énfasis en la alta pureza ($\geq 99,95\%$) y el rendimiento a alta temperatura (por ejemplo, resistencia a la tracción ≥ 400 MPa a 1500 °C), lo que requiere una baja tasa de liberación de gas ($< 10^{-8}$ mbar·L/s).
- **Aplicaciones:** Aeroespacial (sistemas de control térmico por satélite), objetivos de semiconductores y componentes de la industria nuclear.
- **Detección:** La composición química adopta GDMS (espectrometría de masas de descarga incandescente) y las propiedades mecánicas están de acuerdo con ASTM E8 / E399.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Europa

- **Norma:** La norma EN 10276-1 "Materiales para el trabajo en frío de molibdeno y aleaciones de molibdeno" es coherente con la norma ISO 5832-1.
- **Características:** Se requiere que la lámina de molibdeno tenga una alta calidad de superficie ($Ra \leq 0,4$ micras), tolerancias dimensionales estrictas (espesor $\pm 0,003$ mm) y adecuada para entornos de vacío.
- **Aplicación:** Se utiliza en escudos térmicos de hornos de crecimiento de zafiro y objetivos de recubrimiento de plasma.
- **Inspección:** La calidad de la superficie se prueba con un microscopio láser y la resistencia a la corrosión está de acuerdo con EN ISO 9227 (prueba de niebla salina).

3. Japón

- **Estándar:** JIS H 4641 "Placas, láminas y tiras de molibdeno y aleaciones de molibdeno" es similar a ASTM B386.
- **Características:** Concéntrese en la alta precisión de la lámina de molibdeno ultrafina (espesor de 0,01-0,1 mm), resistencia a la tracción ≥ 800 MPa, alargamiento a la rotura $\geq 5\%$, rugosidad superficial $Ra \leq 0,2$ micras.
- **Aplicaciones:** industria electrónica (por ejemplo, objetivos TFT-LCD) y dispositivos ópticos.
- **Inspección:** La precisión dimensional se mide mediante láser sin contacto y la conductividad está de acuerdo con JIS K 7194.

4. Corea

- **Norma:** KS D 9502 "Molibdeno y materiales de aleación de molibdeno", con referencia a las normas ASTM y JIS.
- **Características:** Se requiere conductividad térmica (≥ 130 W/m·K) y resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,01$ mm/año en ácido clorhídrico al 10%), adecuado para aplicaciones químicas y electrónicas.
- **Aplicaciones:** Marcos de plomo de empaque de semiconductores y revestimientos de equipos químicos.
- **Detección:** La conductividad térmica es el método de flash láser, composición química de acuerdo con KS D 2042.

Las normas europeas, americanas, japonesas y coreanas son coherentes con las normas internacionales en cuanto a composición química y propiedades mecánicas, pero se centran en diferentes escenarios de aplicación según las características industriales regionales (por ejemplo, Estados Unidos hace hincapié en la industria aeroespacial y Japón en la industria electrónica).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Apéndice: Glosario de láminas multilingües de molibdeno

La siguiente es una tabla comparativa de términos relacionados con el molibdeno en chino, inglés, japonés y coreano, que cubre términos comunes en los campos de producción, rendimiento y aplicación, lo cual es conveniente para el intercambio técnico transfronterizo y la aplicación estandarizada. La lámina de molibdeno de CTIA GROUP LTD debe unificarse en el mercado global para garantizar la documentación técnica y la consistencia comercial.

Chino	Inglés	Japonés	Coreano	interpretación
钼片	Lámina de molibdeno	モリブデン箔	몰리브덴 포일	Se refiere a un material delgado de molibdeno fabricado por pulvimetalurgia o proceso de laminación, con alto punto de fusión, alta resistencia y conductividad eléctrica y térmica, que es ampliamente utilizado en electrónica, aeroespacial y hornos de alta temperatura.
辉钼矿	Molibdenita	モリブデナイト	몰리브데나이트	La principal forma de mineral de molibdeno, que contiene 50-60% de molibdeno, es la materia prima inicial para la producción de láminas de molibdeno, que se convierten en compuestos o metales de molibdeno mediante beneficio y refinación.
地下开采	Minería subterránea	地下採掘	지하 채굴	El método de extracción de mineral de molibdeno a través de túneles y voladuras en depósitos profundos de mineral, utilizando equipos como rozadoras y perforadoras de roca, es adecuado para condiciones geológicas complejas.
浮选法	Método de flotación	浮選法	부유선광법	Usando la hidrofobicidad de la molibdenita, el mineral de molibdeno se separa de la ganga mediante una máquina de flotación y agentes para obtener concentrado de molibdeno de alta calidad.
氧化焙烧	Tostado oxidativo	酸化焙焼	산화 배스	La molibdenita (MoS_2) se oxida a óxido de molibdeno (MoO_3) en una atmósfera de aire de 550-650 °C para eliminar el azufre y proporcionar materias primas para la refinación posterior.
氨浸法	Lixiviación de amoníaco	アンモニア浸出法	암모니아 침출법	El óxido de molibdeno se disuelve con amoníaco para generar una solución de molibdato de amonio, y las impurezas como el hierro y el cobre se separan para preparar compuestos de molibdeno de alta pureza.
粉末冶金	Pulvimetalurgia	粉末冶金	분말 야금	El método de preparación de piezas en bruto de molibdeno o láminas de molibdeno mediante prensado y sinterización de polvo de molibdeno de alta pureza es adecuado para componentes de alta precisión y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

					formas complejas.
热轧工艺	Proceso de laminación en caliente	熱間圧延プロセス	열간 공정	압연	La palanquilla de molibdeno se lamina en múltiples pasadas a una alta temperatura de 1000-1400 °C para preparar láminas de molibdeno con un espesor de 0,5-3 mm, que es adecuada para componentes de hornos de alta temperatura.
冷轧工艺	Proceso de laminación en frío	冷間圧延プロセス	냉간 공정	압연	Las láminas de molibdeno (espesor 0,01-1 mm) se laminan a temperatura ambiente para una alta precisión y calidad de superficie, adecuadas para objetivos semiconductores.
密度	Densidad	密度	밀도		La relación masa-volumen de las láminas de molibdeno, reflejando la densidad y la pureza, se mide mediante el método de Arquímedes o densitómetro de rayos X.
熔点	Punto de fusión	融点	용융점		La temperatura a la que la lámina de molibdeno comienza a derretirse se prueba mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) para reflejar el rendimiento a alta temperatura.
导电性	Conductividad eléctrica	電気伝導率	전기전도율		La capacidad de la lámina de molibdeno para transmitir corriente, medida por el método de cuatro sondas, adecuada para electrodos y objetivos.
导热性	Conductividad térmica	熱伝導率	열전도율		La capacidad de las láminas de molibdeno para conducir el calor se mide mediante el método de destello láser y es adecuada para sustratos de disipación de calor.
热膨胀系数	Coefficiente de expansión térmica	熱膨張係数	열팽창 계수		La tasa de expansión dimensional de la lámina de molibdeno en función de la temperatura se prueba con un dilatómetro térmico y refleja la coincidencia térmica.
抗拉强度	Resistencia a la tracción	引張強度	인장 강도		La resistencia de las láminas de molibdeno a la fractura por tracción, medida por el método de prueba de tracción, es adecuada para piezas estructurales.
硬度	Dureza	硬度	경도		Resistencia a la deformación de la lámina de molibdeno (220-250 HV), probada por el probador de dureza Vickers y resistencia al desgaste reflectante.
韧性	Dureza	韌性	인성		La capacidad de la lámina de molibdeno para absorber la energía del impacto se mide mediante la prueba de impacto de Charpy.
耐腐蚀性	Resistencia a la corrosión	耐食性	내식성		Resistencia a la corrosión de láminas de molibdeno en medios químicos, evaluada por el método de prueba de inmersión.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

抗氧化性	Resistencia a la oxidación	耐酸化性	내산화성	La estabilidad de la lámina de molibdeno en un entorno de oxidación a alta temperatura se prueba mediante análisis termogravimétrico.
溅射靶材	Objetivo de pulverización catódica	スパッタリングターゲット	스퍼터링 타겟	Las láminas de molibdeno se utilizan en recubrimientos de plasma, donde las películas delgadas se depositan por pulverización catódica de magnetrón, y se utilizan en la fabricación de semiconductores y pantallas.
反射屏	Escudo reflectante	反射シールド	반사 쉴드	Las láminas de molibdeno reflejan la radiación de calor en hornos de alta temperatura u hornos de crecimiento de zafiro para optimizar la distribución del campo térmico, lo que requiere una alta reflectividad (0,8-0,9).
发热带	Tira calefactora	発熱帯	발열 띠	Como elemento calefactor en un horno de vacío, las láminas de molibdeno se calientan por resistencia para producir altas temperaturas (1500-1800 °C), que requieren una alta conductividad.
引线框架	Bastidor de plomo	リードフレーム	리드 프레임	Las láminas de molibdeno se utilizan en componentes de soporte conductores para paquetes de semiconductores que requieren un bajo coeficiente de expansión térmica y una superficie de alta calidad.
反应釜内衬	Revestimiento del reactor	反応釜ライニング	반응로 라이닝	Como material de la pared interna del reactor químico, la lámina de molibdeno resiste la corrosión de los ácidos no oxidantes y prolonga la vida útil del equipo.
热控系统	Sistema de control térmico	熱制御システム	열제어 시스템	Las láminas de molibdeno se utilizan en satélites para la disipación de calor y la gestión de la radiación térmica, lo que requiere una alta conductividad térmica y resistencia a la radiación.

ilustrar

- Selección de términos:** La terminología abarca la producción de láminas de molibdeno (minería, beneficio, refinación, conformado), pruebas de rendimiento (densidad, punto de fusión, conductividad, etc.) y áreas de aplicación (electrónica, hornos de crecimiento de zafiro, hornos de vacío), sobre la base de los capítulos 4 a 9.
- Explicación en chino:** Cada término se explica de manera concisa, destacando su definición técnica y antecedentes de aplicación, y proporcionando parámetros específicos (como espesor, valores de rendimiento) en combinación con el contenido del capítulo (como el proceso de producción, el método de prueba y el escenario de aplicación).
- Traducción multilingüe:** La terminología del inglés, japonés y coreano se basa en los estándares de la industria y la literatura técnica para garantizar la precisión y versatilidad de los intercambios técnicos internacionales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. **Propósito:** Este glosario se puede utilizar para documentación técnica, comercio transfronterizo e investigación académica para respaldar la aplicación estandarizada de chips de molibdeno CTIA GROUP LTD en el mercado global.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Literatura Inglesa:

1. ASTM Internacional. Especificación estándar ASTM B386-03 (2011) para placas, láminas, tiras y láminas de molibdeno y aleaciones de molibdeno. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2011.
2. ISO 5832-1:2016 Implantes para cirugía – Materiales metálicos – Parte 1: Molibdeno forjado. Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2016.
3. Shields, J. A. Aplicaciones del metal molibdeno y sus aleaciones[M]. Londres: Asociación Internacional del Molibdeno (IMOA), 2013.
4. Knyazev, A. V., & Krushenko, G. G. Producción de láminas de molibdeno por pulvimetalurgia y laminación. Revista de Tecnología de Procesamiento de Materiales, 2018, 255: 123-130.
5. Smith, R. J., & Johnson, T. E. Propiedades térmicas y eléctricas de las películas delgadas de molibdeno. Ciencia e Ingeniería de Materiales: A, 2019, 742: 456-462.
6. Lee, C. H., & Park, S. J. Molibdeno en blancos de pulverización catódica para la deposición de película delgada [J]. Películas sólidas delgadas, 2020, 698: 137856.
7. Zhang, L., & Wang, Y. Desafíos ambientales en la minería y el procesamiento de molibdeno. Revista de Producción Más Limpia, 2021, 312: 127645.
8. Kim, H. S., & Lee, J. H. Lámina de molibdeno en sistemas de control térmico por satélite [J]. Ciencia y Tecnología Aeroespacial, 2022, 120: 107234.
9. Tanaka, T., & Watanabe, K. Pruebas mecánicas de láminas de molibdeno para aplicaciones de alta temperatura [J]. Revista de aleaciones y compuestos, 2017, 696: 234-240.
10. Park, J. W., & Choi, S. Y. Resistencia a la corrosión del molibdeno en equipos de procesamiento químico [J]. Ciencia de la corrosión, 2019, 149: 89-97.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT