

## Qué es la lámina de cobre y 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

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

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

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



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Tabla de contenido

### Capítulo 1 Introducción

- 1.1 Descripción general de la lámina de cobre y molibdeno
- 1.2 Composición y estructura de los materiales compuestos de molibdeno-cobre
- 1.3 Importancia de la lámina de cobre-molibdeno en la ciencia de los materiales

### Capítulo 2 Propiedades materiales de la lámina de cobre-molibdeno

- 2.1 Propiedades básicas del molibdeno y el cobre
- 2.2 Densidad de la lámina de cobre-molibdeno
- 2.3 Propiedades mecánicas de la lámina de cobre-molibdeno
  - 2.3.1 Dureza de la lámina de cobre-molibdeno
  - 2.3.2 Tenacidad de la lámina de cobre-molibdeno
  - 2.3.3 Ductilidad de la lámina de Mo-Cu
  - 2.3.4 Resistencia mecánica de la lámina de cobre-molibdeno
  - 2.3.5 Resistencia a la fatiga de la lámina de cobre-molibdeno
- 2.4 Propiedades químicas de las láminas de cobre-molibdeno
  - 2.4.1 Resistencia a la corrosión de la lámina de cobre-molibdeno
  - 2.4.2 Propiedades antioxidantes de las láminas de cobre-molibdeno
  - 2.4.3 Resistencia a ácidos y álcalis de la lámina de cobre-molibdeno
- 2.5 Propiedades térmicas de la lámina de cobre-molibdeno
  - 2.5.1 Conductividad térmica y difusividad térmica
  - 2.5.2 Comportamiento y estabilidad de la expansión térmica
  - 2.5.3 Resistencia a altas temperaturas
- 2.6 Propiedades eléctricas de las láminas de cobre-molibdeno
  - 2.6.1 Características de conductividad y resistencia
  - 2.6.2 Rendimiento del contacto eléctrico
  - 2.6.3 Estabilidad electroquímica
- 2.7 Comparación entre láminas de cobre y molibdeno y otros materiales
- 2.8 CTIA GROUP LTD Hoja de cobre y molibdeno MSDS

### Capítulo 3 Clasificación de las láminas de cobre y molibdeno

- 3.1 Clasificación por marca (típica) Lámina de cobre y molibdeno
  - 3.1.1 Mo85Cu15
  - 3.1.2 Mo80Cu20
  - 3.1.3 Mo70Cu30
  - 3.1.4 Mo60Cu40
  - 3.1.5 Mo50Cu50
- 3.2 Clasificación de láminas de cobre y molibdeno según el proceso de fabricación
  - 3.2.1 Lámina de cobre-molibdeno fabricada mediante pulvimetalurgia
  - 3.2.2 Lámina de molibdeno-cobre fabricada por infiltración de material fundido
- 3.3 Clasificación de láminas de cobre y molibdeno por aplicación

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3.1 Lámina de cobre y molibdeno general
- 3.3.2 Lámina de cobre-molibdeno de alta frecuencia
- 3.3.3 Lámina de cobre y molibdeno para uso aeroespacial
- 3.3.4 Dispositivo fotoeléctrico tipo lámina de cobre-molibdeno

#### **Capítulo 4 Tecnología de preparación de láminas de cobre y molibdeno**

- 4.1 Preparación de láminas de cobre-molibdeno mediante tecnología de pulvimetalurgia
  - 4.1.1 Flujo de proceso de la tecnología de pulvimetalurgia
  - 4.1.2 Ventajas y limitaciones de la tecnología de pulvimetalurgia
- 4.2 Preparación de láminas de molibdeno y cobre por método de infiltración
  - 4.2.1 Flujo del proceso de infiltración de material fundido
  - 4.2.2 Ventajas y limitaciones del método de infiltración
- 4.3 Aplicación de la tecnología de impresión 3D en la preparación de láminas de cobre-molibdeno

#### **Capítulo 5 Equipos principales de producción de láminas de cobre y molibdeno**

- 5.1 Equipos de producción de tecnología de pulvimetalurgia de láminas de cobre y molibdeno
  - 5.1.1 Equipo de preparación de polvo
    - 5.1.1.1 Molino de bolas
    - 5.1.1.2 Equipo de atomización
  - 5.1.2 Equipo de moldeo de polvo
    - 5.1.2.1 Prensa hidráulica (para conformación en frío de tochos de molibdeno y cobre )
    - 5.1.2.2 Prensa isostática
  - 5.1.3 Equipo de sinterización
    - 5.1.3.1 Horno de sinterización al vacío
    - 5.1.3.2 Horno de sinterización por prensado en caliente
  - 5.1.4 Equipo de posprocesamiento
    - 5.1.4.1 Horno de tratamiento térmico
    - 5.1.4.2 Rectificadora de precisión
- 5.2 Equipo de producción de infiltración de láminas de molibdeno-cobre
  - 5.2.1 Prensa hidráulica (para prensar polvo de molibdeno y darle forma)
  - 5.2.2 Horno de sinterización al vacío (para la sinterización del esqueleto de molibdeno y la infiltración de cobre)

#### **Capítulo 6 Métodos y equipos de prueba de rendimiento de láminas de cobre y molibdeno**

- 6.1 Prueba de densidad de láminas de cobre y molibdeno
  - 6.1.1 Principio y funcionamiento del método de drenaje de Arquímedes
- 6.2 Prueba de porosidad de láminas de cobre-molibdeno
  - 6.2.1 Observación y cálculo con microscopio metalográfico
- 6.3 Ensayo de tracción de lámina de cobre-molibdeno
  - 6.3.1 Uso de la máquina universal de ensayos de materiales
- 6.4 Ensayo de flexión de lámina de cobre-molibdeno
  - 6.4.1 Método de flexión de tres puntos

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

- 6.4.2 Método de flexión de cuatro puntos
- 6.5 Prueba de tenacidad al impacto de láminas de cobre y molibdeno
  - 6.5.1 Puntos clave para la operación de la prueba de impacto de péndulo
- 6.6 Prueba de conductividad térmica de láminas de cobre-molibdeno
  - 6.6.1 Principio y aplicación del método de destello láser
- 6.7 Prueba del coeficiente de expansión térmica de la lámina de cobre-molibdeno
  - 6.7.1 Uso del analizador termomecánico (TMA)
- 6.8 Prueba de resistividad de lámina de cobre-molibdeno
  - 6.8.1 Proceso de medición de cuatro sondas
- 6.9 Prueba de resistencia de contacto de láminas de cobre-molibdeno
  - 6.9.1 Especificaciones de funcionamiento del método de caída de tensión de CC

## **Capítulo 7 Campos de aplicación de las láminas de cobre y molibdeno**

- 7.1 Aplicación de la lámina de cobre y molibdeno en la industria electrónica
  - 7.1.1 Materiales de embalaje
  - 7.1.2 Sustratos de circuitos integrados
  - 7.1.3 Componentes de disipación de calor en dispositivos de microondas
  - 7.1.4 Componentes de soporte estructural en dispositivos de microondas
  - 7.1.5 Materiales del disipador de calor
  - 7.1.6 Módulo RF
  - 7.1.7 Sustrato de disipación de calor del LED
- 7.2 Aplicación de la lámina de cobre y molibdeno en el campo aeroespacial
  - 7.2.1 Componentes metálicos de aeronaves
  - 7.2.2 Materiales de protección térmica para naves espaciales
  - 7.2.3 Componentes de misiles y naves espaciales
  - 7.2.4 Radiador del sistema de radar
  - 7.2.5 Empaquetado electrónico militar
- 7.3 Aplicación de láminas de cobre-molibdeno en la gestión energética y térmica
  - 7.3.1 Dispositivos electrónicos de potencia
  - 7.3.2 Equipos de energía nuclear
  - 7.3.3 Sistemas de energía renovable
  - 7.3.4 Gestión térmica de la batería del vehículo eléctrico
- 7.4 Lámina de cobre-molibdeno en otras áreas de aplicación emergentes
  - 7.4.1 Equipo médico
  - 7.4.2 Estación base de comunicación 7G
  - 7.4.3 Sistema láser y óptico
  - 7.4.4 Fabricación aditiva y componentes personalizados

## **Capítulo 8 Estado del mercado y la industria de las láminas de cobre y molibdeno**

- 8.1 Descripción general del mercado global de láminas de cobre y molibdeno
- 8.2 Principales fabricantes de láminas de cobre y molibdeno - CTIA GROUP LTD
- 8.3 Demanda del mercado y tendencia de desarrollo de láminas de cobre y molibdeno

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

8.4 Desafíos y oportunidades que enfrenta el mercado de láminas de cobre y molibdeno

### Capítulo 9 Desarrollo futuro de la lámina de cobre y molibdeno

- 9.1 Potencial de la nueva tecnología de preparación de láminas de cobre y molibdeno
- 9.2 Direcciones de investigación para optimizar el rendimiento de las láminas de cobre-molibdeno
- 9.3 Expansión de las aplicaciones intersectoriales de las láminas de cobre-molibdeno

### Capítulo 10 Normas nacionales e internacionales para láminas de cobre y molibdeno

- 10.1 Norma nacional china para láminas de cobre y molibdeno
  - 10.2 Normas internacionales para láminas de cobre y molibdeno
- Estándares de láminas de cobre y molibdeno en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países del mundo.

#### apéndice:

- Glosario de láminas de cobre y molibdeno
- Referencias



Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 1 Introducción

### 1.1 Descripción general de la lámina de cobre y molibdeno

La lámina de cobre-molibdeno es un material compuesto de molibdeno y cobre, que se utiliza habitualmente en forma de láminas o placas delgadas en las industrias electrónica, aeroespacial, energética y de alta temperatura. Combina el alto punto de fusión, la resistencia a la corrosión y la excelente estabilidad térmica del molibdeno con la alta conductividad eléctrica y térmica del cobre para formar un material avanzado con excelentes propiedades mecánicas y termoeléctricas. La lámina de cobre-molibdeno se prepara principalmente mediante pulvimetalurgia, mezclando polvo de molibdeno y polvo de cobre en una proporción específica, prensando y sinterizando, o mediante infiltración de cobre líquido en la matriz de molibdeno para formar una estructura compuesta.

La lámina de cobre-molibdeno posee las siguientes características notables: su alta conductividad térmica la hace excelente en la gestión térmica y adecuada para disipadores de calor; su bajo coeficiente de expansión térmica garantiza su estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura; al ajustar la relación molibdeno-cobre, la conductividad térmica, la conductividad eléctrica y la resistencia mecánica se pueden personalizar para satisfacer diversos requisitos de aplicación; el alto punto de fusión del molibdeno (aproximadamente 2623 °C) y su resistencia a la corrosión le permiten servir durante mucho tiempo en entornos extremos. Las aplicaciones típicas incluyen sustratos de disipación de calor en encapsulados electrónicos, dispositivos semiconductores de potencia, dispositivos de microondas y componentes de gestión térmica aeroespacial. Desde mediados y finales del siglo XX, con el crecimiento de la demanda de dispositivos electrónicos de alto rendimiento y aplicaciones de alta temperatura, la investigación, el desarrollo y la tecnología de producción de láminas de cobre-molibdeno han mejorado significativamente.

### 1.2 Composición y estructura de los materiales compuestos de molibdeno-cobre

Los materiales compuestos de molibdeno y cobre se fabrican a partir de molibdeno y cobre mediante un proceso específico, y sus propiedades se ven directamente afectadas por la proporción de composición y la microestructura. La composición del material suele expresarse en porcentaje de peso o volumen, como Mo70Cu30 (70 % de molibdeno y 30 % de cobre) o Mo85Cu15, entre otros grados comunes. El aumento del contenido de molibdeno mejora la resistencia del material, su resistencia a altas temperaturas y su baja expansión térmica, pero puede reducir ligeramente la conductividad térmica y eléctrica; mientras que el aumento del contenido de cobre mejora significativamente la conductividad térmica y eléctrica, pero debilita la resistencia mecánica y la resistencia a altas temperaturas. En ocasiones, se utilizan aditivos traza (como níquel o plata) para mejorar el rendimiento de la sinterización o la unión de la interfaz, pero su contenido se controla estrictamente para evitar la degradación del rendimiento.

En términos de microestructura, los materiales compuestos de molibdeno y cobre presentan una estructura bifásica: el molibdeno forma un esqueleto continuo o semicontinuo, que proporciona resistencia mecánica y resistencia a altas temperaturas, y el tamaño de partícula suele estar entre 1 y 10

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

micras; el cobre llena los poros del esqueleto de molibdeno para formar una red conductora térmica y eléctrica continua. La unión de la interfaz de las dos fases depende principalmente de la intercalación física y la difusión durante la sinterización. Una buena unión de la interfaz puede reducir eficazmente la resistencia térmica y la resistencia eléctrica. Los análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB) y difracción de rayos X (DRX) muestran que las partículas de molibdeno suelen estar envueltas uniformemente por la matriz de cobre, y la continuidad de la fase de cobre aumenta con el aumento del contenido de cobre.

El proceso de preparación tiene un impacto significativo en la estructura del material. El método de pulvimetalurgia permite controlar con precisión la proporción de la composición mediante la mezcla de polvos de molibdeno y cobre, el prensado y la sinterización, y es adecuado para la producción de láminas de cobre y molibdeno de alta densidad. El método de infiltración por fusión es adecuado para materiales con alto contenido de cobre, ya que infiltra cobre líquido en un esqueleto poroso de molibdeno, pero requiere un alto control del proceso. El método de sinterización por prensado en caliente se forma directamente a alta temperatura y presión, lo cual es adecuado para requisitos de alto rendimiento, pero tiene un alto costo. Los diferentes procesos generan diferencias en el tamaño de partícula, la distribución de fases y la resistencia de la unión interfacial, lo que afecta las propiedades del material.

### 1.3 Importancia de la lámina de cobre-molibdeno en la ciencia de los materiales

molibdeno tiene un valor fundamental en aplicaciones de ciencia e ingeniería de materiales. Su rendimiento en el campo de la gestión térmica es particularmente excepcional. A medida que los dispositivos electrónicos evolucionan hacia una alta densidad de potencia y miniaturización, la gestión térmica se ha convertido en un factor clave para limitar el rendimiento y la vida útil. Gracias a su excelente conductividad térmica y un coeficiente de expansión térmica similar al de los materiales cerámicos (como la alúmina y el nitruro de silicio), la lámina de cobre-molibdeno se ha convertido en un material ideal para encapsulados electrónicos, dispositivos semiconductores de potencia (como IGBT y MOSFET), dispositivos de microondas y disipadores de calor láser. Puede conducir el calor eficazmente y reducir el agrietamiento de la interfaz causado por la tensión térmica, mejorando así la fiabilidad y la vida útil del dispositivo.

En el campo de los dispositivos electrónicos de alto rendimiento, la conductividad eléctrica y térmica de las láminas de cobre-molibdeno las convierte en el material fundamental para equipos de comunicación 5G y módulos de potencia para vehículos de nueva energía. Su rendimiento ajustable satisface los diferentes requisitos de diseño de dispositivos y promueve el desarrollo de dispositivos electrónicos hacia un mayor rendimiento y la miniaturización. Además, su alto punto de fusión y resistencia a la corrosión les confieren importantes ventajas en entornos extremos, como los componentes de intercambio de calor de reactores de alta temperatura en la industria nuclear y los componentes de alta temperatura de motores a reacción aeroespaciales, lo que demuestra su fiabilidad y estabilidad en condiciones adversas.

de molibdeno-cobre también han impulsado el avance del diseño y la tecnología de preparación de materiales compuestos. La exploración de la optimización de interfaces, la regulación de la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microestructura y los nuevos procesos de preparación no solo han mejorado el rendimiento de las láminas de molibdeno-cobre, sino que también han proporcionado referencias teóricas y prácticas para el desarrollo de otros materiales compuestos metálicos (como tungsteno-cobre y aluminio-silicio), y han promovido la integración interdisciplinaria de conceptos de diseño de materiales multifuncionales. Además, el proceso de preparación de las láminas de molibdeno-cobre es maduro, las materias primas molibdeno y cobre son abundantes y reciclables, el costo es relativamente bajo y presenta una alta rentabilidad y sostenibilidad, lo que las hace aptas para la producción y aplicación a gran escala.

En resumen, las láminas de cobre-molibdeno desempeñan un papel fundamental en la gestión térmica, los dispositivos electrónicos de alto rendimiento y las aplicaciones en entornos extremos gracias a sus propiedades termoeléctricas, mecánicas y de ajuste únicas. Su investigación y aplicación no solo satisfacen las necesidades de la industria moderna de materiales de alto rendimiento, sino que también impulsan el desarrollo innovador de la ciencia de los materiales. Con el progreso tecnológico, la optimización del rendimiento y las áreas de aplicación de las láminas de cobre-molibdeno se ampliarán aún más, lo que contribuirá significativamente al progreso científico e industrial.

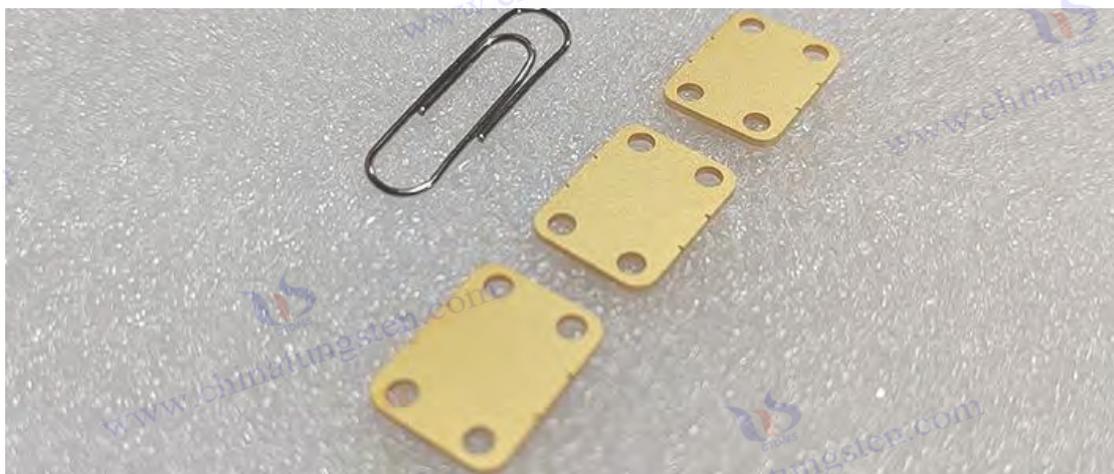


Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Copper Sheets Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

#### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

#### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3   |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5   |

#### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

#### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 2 Propiedades del material de la lámina de cobre y molibdeno

### 2.1 Propiedades básicas del molibdeno y el cobre

El molibdeno y el cobre son los componentes principales de los compuestos de molibdeno-cobre, y sus respectivas propiedades físicas y químicas determinan el rendimiento de los compuestos. El molibdeno es un metal de transición de alto punto de fusión de aproximadamente 2623 °C. Tiene excelente resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión. Su bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente  $4,8 \times 10^{-6} / \text{K}$  a 25 °C) puede mantener la estabilidad dimensional en entornos de alta temperatura. El molibdeno tiene alta resistencia, pero su conductividad eléctrica (aproximadamente 18% IACS) y conductividad térmica (aproximadamente 138 W/ m·K ) son relativamente bajas. El cobre es conocido por su alta conductividad eléctrica (cerca al 100% IACS) y alta conductividad térmica (aproximadamente 401 W/ m·K ). Su punto de fusión es de 1085°C, lo que lo convierte en un material ideal para la gestión térmica y la transmisión eléctrica, pero su coeficiente de expansión térmica es alto (alrededor de  $16,5 \times 10^{-6} / \text{K}$  a 25 °C), y su resistencia disminuye a altas temperaturas.

El molibdeno y el cobre no son completamente solubles entre sí a escala atómica, formando una estructura bifásica: el molibdeno forma el esqueleto, proporcionando soporte estructural y resistencia a altas temperaturas; el cobre rellena los poros para formar una red conductora térmica y eléctrica . Esta complementariedad permite que las láminas de molibdeno y cobre alcancen un equilibrio entre conductividad térmica, conductividad eléctrica y propiedades mecánicas, satisfaciendo las necesidades de la electrónica, la industria aeroespacial y otros sectores.

### 2.2 Densidad de la lámina de cobre-molibdeno

La lámina de cobre y molibdeno es una propiedad física clave que afecta el peso del material, la conductividad térmica y la aplicabilidad en cada escenario. La densidad depende de la relación molibdeno/ cobre, que se encuentra entre la densidad del molibdeno (10,28 g/cm<sup>3</sup>) y la del cobre (8,96 g/cm<sup>3</sup>). Las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de molibdeno tienen una mayor densidad y son adecuadas para aplicaciones que requieren alta resistencia y resistencia a altas temperaturas, como piezas de aviación de alta temperatura; las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de cobre tienen una menor densidad, lo que ayuda a reducir el peso del dispositivo y es adecuada para el diseño ligero de dispositivos electrónicos portátiles y la industria aeroespacial. El proceso de preparación tiene un impacto significativo en la densidad: mediante el método de pulvimetalurgia, se pueden obtener materiales con densidades cercanas a la teórica mediante moldeo a alta presión y sinterización a alta temperatura, alcanzando habitualmente más del 98 %; mientras que el método de infiltración por fusión puede resultar en una densidad ligeramente inferior debido a los poros residuales. La densidad también afecta la capacidad calorífica y la conductividad térmica.

Una baja densidad suele ir acompañada de una alta conductividad térmica, pero puede comprometer la estabilidad a alta temperatura. Por lo tanto, la densidad es un parámetro importante que debe considerarse en el diseño de láminas de cobre-molibdeno.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2.3 Propiedades mecánicas de la lámina de cobre-molibdeno

La lámina de cobre y molibdeno incluye dureza, tenacidad y resistencia, características que determinan su rendimiento en condiciones de tensión mecánica y deformación. La alta resistencia del molibdeno y la ductilidad del cobre determinan conjuntamente las propiedades mecánicas de la lámina de cobre y molibdeno, y estas propiedades específicas varían según la proporción de la composición y el proceso de preparación.

### 2.3.1 Dureza de la lámina de cobre-molibdeno

La dureza refleja la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para resistir la deformación local y el desgaste, y suele medirse mediante la dureza Vickers (HV). La alta dureza del molibdeno (aproximadamente 230-250 HV) proporciona una excelente resistencia al desgaste del material compuesto, mientras que la menor dureza del cobre (aproximadamente 50-70 HV) hace que el material con alto contenido de cobre sea más flexible.

Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen una dureza mayor, cercana a la del molibdeno, y son adecuadas para sustratos de disipación de calor en encapsulados electrónicos que requieren resistencia al desgaste; las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre tienen menor dureza, pero mejor ductilidad, y son adecuadas para aplicaciones que requieren cierto grado de flexibilidad. El método de sinterización por prensado en caliente aumenta la densidad y la dureza mediante altas temperaturas y presiones; si el método de pulvimetalurgia no se sinteriza lo suficiente, la dureza puede reducirse debido a la presencia de poros. La dureza de las láminas de cobre-molibdeno les permite soportar tensiones de mecanizado y ensamblaje y mantener la integridad de la superficie a altas temperaturas.

### 2.3.2 Tenacidad de la lámina de cobre-molibdeno

La tenacidad se refiere a la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para absorber energía y resistir la fractura, y es un factor clave en su rendimiento bajo cargas dinámicas o entornos de impacto. El molibdeno puro presenta baja tenacidad y es frágil, mientras que el cobre presenta excelentes ductilidad y tenacidad. Los compuestos de molibdeno y cobre mejoran la tenacidad general y evitan la fractura frágil mediante la adición de cobre. Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) presentan buena tenacidad y son adecuadas para aplicaciones de gestión térmica que requieren resistencia al impacto; los materiales con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) presentan menor tenacidad, pero mayor resistencia, y son adecuados para requisitos de alta resistencia.

molibdeno preparada mediante infiltración de material fundido suele tener mejor tenacidad que el producto pulvimetalúrgico debido a la distribución uniforme de la fase de cobre. La calidad de la unión de la interfaz es crucial para la tenacidad. Una buena interfaz de cobre-molibdeno puede transferir eficazmente la tensión y reducir la propagación de grietas. La tenacidad de la lámina de cobre-molibdeno le permite soportar impactos y cargas cíclicas en entornos aeroespaciales o de alta vibración, lo que

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

prolonga su vida útil.

### 2.3.3 Ductilidad de la lámina de Mo-Cu

La ductilidad refleja la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para experimentar deformación plástica sin romperse al ser sometidas a tensión. Es una característica importante para adaptarse a formas complejas o a requisitos de deformación en procesos y aplicaciones. El molibdeno presenta baja ductilidad y es más frágil, mientras que el cobre posee una excelente ductilidad (el alargamiento puede alcanzar el 40-50%) y puede absorber una gran cantidad de energía de deformación durante el estiramiento o la flexión.

de molibdeno y cobre se ven afectados principalmente por el contenido de cobre. Las láminas de molibdeno y cobre con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen buena ductilidad y pueden soportar una gran deformación plástica. Son adecuadas para el encapsulado electrónico o los componentes de gestión térmica que requieren procesamiento de moldeo; las láminas de molibdeno y cobre con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen menor ductilidad y tienden a ser estructuras más rígidas, que son adecuadas para escenarios con requisitos de alta resistencia. El proceso de preparación también afecta la ductilidad. El método de infiltración de masa fundida puede mejorar la ductilidad a través de una fase de cobre distribuida uniformemente, mientras que el método de pulvimetalurgia puede reducir la ductilidad si hay poros o una unión de interfaz deficiente. La ductilidad de las láminas de molibdeno y cobre le da una ventaja de procesamiento cuando se fabrican sustratos de disipación de calor de formas complejas o componentes aeroespaciales, al tiempo que reduce el riesgo de fractura frágil bajo cargas cíclicas.

### 2.3.4 Resistencia mecánica de la lámina de cobre-molibdeno

La resistencia mecánica se refiere a la capacidad de las láminas de cobre y molibdeno para resistir daños externos, generalmente caracterizada por la resistencia a la tracción o el límite elástico, y es un rendimiento clave en aplicaciones estructurales. El molibdeno tiene una alta resistencia a la tracción (aproximadamente 600-800 MPa, dependiendo del estado de procesamiento), que proporciona un soporte mecánico sólido para materiales compuestos, mientras que el cobre tiene una resistencia a la tracción menor (aproximadamente 200-250 MPa), pero ayuda a mejorar la ductilidad del material. Las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen una alta resistencia mecánica, cercana al nivel de resistencia del molibdeno, y son adecuadas para componentes aeroespaciales de alta temperatura y alto estrés o sustratos de dispositivos electrónicos; las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen menor resistencia, pero son más flexibles y adecuadas para aplicaciones que requieren cierta deformación. El método de sinterización por prensado en caliente puede mejorar significativamente la resistencia mecánica al aumentar la densidad del material, mientras que el método de pulvimetalurgia puede causar una disminución de la resistencia debido a la porosidad si la sinterización es insuficiente. La resistencia mecánica de las láminas de cobre-molibdeno les permite soportar las tensiones de ensamblaje en encapsulados electrónicos, mantener la estabilidad estructural en entornos de alta temperatura y cumplir con altos requisitos de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fiabilidad.

### 2.3.5 Resistencia a la fatiga de la lámina de cobre-molibdeno

La resistencia a la fatiga refleja la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para resistir la iniciación y expansión de grietas bajo cargas cíclicas, y es una característica importante en entornos dinámicos o vibratorios. El molibdeno puro tiene poca resistencia a la fatiga y es propenso a microfisuras bajo tensión cíclica, mientras que la excelente ductilidad y tenacidad del cobre ayudan a absorber la tensión cíclica y a mejorar la vida útil por fatiga. La resistencia a la fatiga de los compuestos de molibdeno y cobre mejora con el aumento del contenido de cobre. Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) muestran una vida útil por fatiga más larga bajo cargas cíclicas y son adecuadas para entornos de alta vibración, como los componentes de gestión térmica de dispositivos aeroespaciales; las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen una resistencia a la fatiga ligeramente inferior, pero pueden soportar mayores amplitudes de tensión debido a su alta resistencia. El proceso de preparación tiene un impacto significativo en la resistencia a la fatiga. Las láminas de cobre-molibdeno preparadas mediante el método de infiltración de masa fundida pueden inhibir eficazmente la expansión de grietas debido a la distribución uniforme de la fase de cobre y a la buena unión de la interfaz; Los métodos de pulvimetalurgia pueden acelerar el fallo por fatiga si existen microporos o defectos en la interfaz. La resistencia a la fatiga de las láminas de cobre-molibdeno les permite soportar cargas cíclicas prolongadas en dispositivos semiconductores de potencia o componentes aeroespaciales de alta temperatura, lo que garantiza su fiabilidad a largo plazo.

### 2.4 Propiedades químicas de las láminas de cobre-molibdeno

molibdeno, incluyendo su resistencia a la corrosión, a la oxidación y a ácidos y álcalis, determinan su estabilidad y vida útil en entornos químicos agresivos. Las propiedades químicas del molibdeno y del cobre son significativamente diferentes. El molibdeno posee una excelente resistencia a la corrosión y a la oxidación, mientras que el cobre es propenso a la oxidación o corrosión en entornos específicos. Las propiedades químicas de los compuestos de molibdeno y cobre se optimizan gracias al efecto sinérgico de la estructura bifásica, y el rendimiento específico se ve afectado por la proporción de la composición, la microestructura y el proceso de preparación.

#### 2.4.1 Resistencia a la corrosión de la lámina de cobre-molibdeno

La resistencia a la corrosión refleja la capacidad de las láminas de cobre y molibdeno para resistir la erosión superficial y la degradación del rendimiento cuando entran en contacto con medios corrosivos (como humedad, niebla salina o gases químicos). El molibdeno tiene una excelente resistencia a la corrosión y puede permanecer estable en una variedad de entornos químicos, especialmente en ácidos no oxidantes y soluciones salinas; el cobre tiene una resistencia a la corrosión débil, especialmente en entornos húmedos o que contienen cloro, y es propenso a la corrosión electroquímica. La resistencia a la corrosión de los materiales compuestos de molibdeno y cobre está dominada principalmente por la fase de molibdeno. Las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

muestran una buena estabilidad en entornos corrosivos y son adecuadas para componentes de gestión térmica en dispositivos aeroespaciales o entornos marinos; las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen una resistencia a la corrosión ligeramente pobre y pueden experimentar corrosión de la fase de cobre en entornos de alta humedad o niebla salina. El proceso de preparación tiene cierta influencia en la resistencia a la corrosión. El método de sinterización por prensado en caliente puede reducir la penetración de medios corrosivos al aumentar la densidad y reducir los poros; el método de pulvimetalurgia puede acelerar la corrosión local si existen microporos. La resistencia a la corrosión de las láminas de cobre-molibdeno les permite mantener un rendimiento prolongado en encapsulados electrónicos y entornos de alta temperatura, prolongando así la vida útil del dispositivo.

#### 2.4.2 Propiedades antioxidantes de las láminas de cobre-molibdeno

El rendimiento antioxidante se refiere a la capacidad de las láminas de cobre y molibdeno para resistir las reacciones de oxidación y la oxidación superficial en entornos con alta temperatura o con alto contenido de oxígeno. El molibdeno reacciona fácilmente con el oxígeno para generar óxidos volátiles (como el MoO<sub>3</sub>) a altas temperaturas (por encima de unos 600 °C), pero su tasa de oxidación es lenta y la distribución de la fase de cobre en los compuestos de cobre y molibdeno puede aliviar parcialmente la tendencia a la oxidación del molibdeno. El cobre forma una densa capa protectora de óxido de cobre (Cu<sub>2</sub>O) a temperatura ambiente, que tiene cierta resistencia a la oxidación, pero es fácil oxidarse aún más para formar óxidos sueltos (CuO) a altas temperaturas (por encima de unos 300 °C), lo que reduce el rendimiento. Las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen buena resistencia a la oxidación a altas temperaturas y son adecuadas para componentes aeroespaciales de alta temperatura o sustratos de disipación de calor de semiconductores de potencia; las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen un rendimiento ligeramente inferior en entornos oxidativos de alta temperatura y deben evitar la exposición a largo plazo a entornos que contengan oxígeno a alta temperatura.

El tratamiento superficial (como el niquelado o el dorado) o la optimización del proceso de preparación (como la sinterización por prensado en caliente para aumentar la densidad) pueden mejorar significativamente la resistencia a la oxidación y reducir la generación de óxido. La resistencia a la oxidación de la lámina de cobre-molibdeno le permite mantener su estabilidad estructural y funcional en dispositivos electrónicos o entornos industriales sometidos a altas temperaturas.

#### 2.4.3 Resistencia a ácidos y álcalis de la lámina de cobre-molibdeno

La resistencia a ácidos y álcalis refleja la estabilidad química de las láminas de cobre-molibdeno en entornos ácidos o alcalinos, y es una característica importante en el procesamiento químico o en entornos industriales específicos. El molibdeno presenta una excelente resistencia a la corrosión en ácidos no oxidantes (como el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico), pero se corroe fácilmente en ácidos oxidantes fuertes (como el ácido nítrico); el cobre es sensible a la mayoría de los entornos ácidos, especialmente soluble en ácidos oxidantes, pero relativamente estable en entornos alcalinos débiles.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La resistencia a ácidos y álcalis de los materiales compuestos de molibdeno y cobre mejora gracias a su alto contenido de molibdeno. Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) presentan buena estabilidad en entornos ácidos no oxidantes y ligeramente alcalinos, y son adecuadas para componentes de gestión térmica en la industria química. Por otro lado, las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre ( como Mo60Cu40) presentan baja resistencia a la corrosión en entornos ácidos y deben evitarse el contacto con ácidos fuertes.

El proceso de preparación influye en la resistencia a ácidos y álcalis. El método de infiltración por fusión puede reducir el riesgo de corrosión local mediante la distribución uniforme de la fase de cobre. Si existen poros durante el proceso de pulvimetalurgia, estos pueden provocar la penetración de ácidos y álcalis y acelerar la corrosión. La resistencia a ácidos y álcalis de la lámina de cobre-molibdeno le permite mantener su rendimiento en la fabricación de dispositivos electrónicos o en entornos químicos, cumpliendo con los requisitos específicos de cada aplicación.

## 2.5 Propiedades térmicas de la lámina de cobre-molibdeno

molibdeno , que incluyen conductividad y difusividad térmicas, estabilidad y comportamiento frente a la expansión térmica, y resistencia a altas temperaturas, son sus principales ventajas en la gestión térmica, aplicaciones de alta temperatura y dispositivos electrónicos. Las propiedades térmicas del molibdeno y del cobre se complementan: el cobre proporciona alta conductividad térmica y el molibdeno contribuye a una baja expansión térmica y estabilidad a altas temperaturas, lo que convierte a las láminas de cobre y molibdeno en un material ideal para la gestión térmica en los sectores del encapsulado electrónico, la industria aeroespacial y la energía. Las propiedades térmicas se ven significativamente afectadas por la relación molibdeno-cobre, la microestructura y el proceso de preparación.

### 2.5.1 Conductividad térmica y difusividad térmica

La conductividad térmica y la difusividad térmica son parámetros clave para medir la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para conducir el calor, lo que afecta directamente su rendimiento en la disipación térmica y la gestión térmica. El cobre tiene una conductividad térmica extremadamente alta (aproximadamente  $401 \text{ W/ m}\cdot\text{K}$  ) y es un excelente conductor térmico, mientras que el molibdeno tiene una conductividad térmica menor.

La conductividad térmica de los materiales compuestos de molibdeno y cobre aumenta con el aumento del contenido de cobre. Las láminas de molibdeno y cobre con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen una alta conductividad térmica, cercana a  $200\text{-}250 \text{ W/ m}\cdot\text{K}$  , que es adecuada para sustratos de disipación de calor de dispositivos semiconductores de potencia y dispositivos de microondas; las láminas de molibdeno y cobre con alto contenido de molibdeno tienen baja conductividad térmica, alrededor de  $150\text{-}180 \text{ W/ m}\cdot\text{K}$  , pero siguen siendo mejores que muchos materiales tradicionales y son adecuadas para escenarios que requieren tanto resistencia como conductividad térmica. La difusividad térmica refleja la capacidad de un material para conducir el calor rápidamente, lo que está relacionado con la conductividad térmica y la densidad. Las láminas de molibdeno y cobre con alto contenido de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cobre tienen una alta difusividad térmica, lo que ayuda a disipar el calor rápidamente. El proceso de preparación tiene un impacto significativo en la conductividad térmica. El método de sinterización por prensado en caliente mejora la eficiencia de la conducción térmica al aumentar la densidad; El método de pulvimetalurgia puede reducir la conductividad térmica si existen poros. La excelente conductividad y difusividad térmica de las láminas de molibdeno-cobre les permite gestionar eficazmente el calor en dispositivos electrónicos de alta potencia y mejorar su rendimiento y vida útil.

### 2.5.2 Comportamiento y estabilidad de la expansión térmica

El comportamiento y la estabilidad de la expansión térmica reflejan el grado de cambio dimensional de las láminas de cobre-molibdeno con los cambios de temperatura y su estabilidad estructural, características clave para su aplicación en entornos de ciclos térmicos. El molibdeno tiene un coeficiente de expansión térmica bajo (aproximadamente  $4,8 \times 10^{-6} / \text{K}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), lo que le permite resistir eficazmente la deformación causada por la temperatura; el cobre tiene un coeficiente de expansión térmica más alto (aproximadamente  $16,5 \times 10^{-6} / \text{K}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), lo que facilita la generación de tensión térmica. El coeficiente de expansión térmica de los materiales compuestos de molibdeno y cobre se encuentra entre ambos y disminuye con el aumento del contenido de molibdeno. Las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen un coeficiente de expansión térmica cercano a  $5\text{-}7 \times 10^{-6} / \text{K}$ , que coincide con los materiales cerámicos (como la alúmina y el nitruro de silicio) y es adecuado para reducir el agrietamiento de la interfaz causado por la tensión térmica en el encapsulado electrónico; las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen un coeficiente de expansión térmica más alto de aproximadamente  $8\text{-}10 \times 10^{-6} / \text{K}$ , que es adecuado para aplicaciones de disipación de calor con requisitos menos estrictos de expansión térmica. La estabilidad de la expansión térmica también se ve afectada por la microestructura. La interfaz uniforme de molibdeno-cobre y la estructura densa pueden reducir la concentración de tensión térmica. El método de sinterización por prensado en caliente mejora la estabilidad de la expansión térmica al optimizar la unión de la interfaz, mientras que el método de pulvimetalurgia puede conducir a una concentración de tensión local si hay defectos. La baja expansión térmica y la alta estabilidad de la lámina de molibdeno-cobre le permiten mantener la integridad estructural en entornos de ciclos de alta temperatura y extender la vida útil del dispositivo.

### 2.5.3 Resistencia a altas temperaturas

La resistencia a altas temperaturas refleja la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para mantener la estabilidad física y química en entornos de alta temperatura, lo cual es una característica importante en la industria aeroespacial, nuclear y dispositivos electrónicos de alta temperatura. El alto punto de fusión del molibdeno (aproximadamente  $2623 \text{ }^\circ\text{C}$ ) confiere a los materiales compuestos una excelente resistencia a altas temperaturas, mientras que el bajo punto de fusión del cobre ( $1085 \text{ }^\circ\text{C}$ ) limita la aplicación de materiales con alto contenido de cobre a temperaturas extremadamente altas. Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) pueden mantener una estructura y un rendimiento estables a altas temperaturas de  $600\text{-}800 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo que las hace adecuadas para componentes de motores a reacción aeroespaciales o componentes de intercambio de calor de reactores

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nucleares; las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen una resistencia a altas temperaturas ligeramente inferior, y la temperatura de funcionamiento recomendada es inferior a 400 °C para evitar el ablandamiento u oxidación de la fase de cobre. El proceso de preparación tiene una influencia importante en la resistencia a altas temperaturas. El método de sinterización por prensado en caliente mejora la estabilidad a altas temperaturas al aumentar la densidad y la resistencia de la interfaz. Si la fase de cobre se distribuye de forma desigual durante el método de infiltración de la masa fundida, puede causar una degradación del rendimiento a altas temperaturas. El tratamiento superficial (como el niquelado) puede mejorar aún más la resistencia a altas temperaturas y reducir la oxidación a altas temperaturas. La resistencia a altas temperaturas de las láminas de cobre-molibdeno les permite funcionar durante mucho tiempo en entornos térmicos hostiles y cumplir con altos requisitos de fiabilidad.

## 2.6 Propiedades eléctricas de las láminas de cobre-molibdeno

molibdeno, incluyendo sus características de conductividad y resistencia, rendimiento de contacto eléctrico y estabilidad electroquímica, son clave para su aplicación en dispositivos electrónicos, módulos de potencia y componentes conductores. La alta conductividad del cobre, combinada con la estabilidad estructural del molibdeno, confiere a las láminas de cobre-molibdeno ventajas únicas en sus propiedades eléctricas, cumpliendo con los requisitos de conductividad y fiabilidad de los dispositivos electrónicos de alto rendimiento. Las propiedades eléctricas se ven afectadas por la relación molibdeno-cobre, la microestructura y el proceso de preparación.

### 2.6.1 Características de conductividad y resistencia

Las propiedades de conductividad y resistencia reflejan la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para conducir corriente y son su rendimiento principal en aplicaciones conductoras. El cobre tiene una conductividad extremadamente alta (cerca del 100% IACS, estándar internacional de cobre recocido) y es un excelente material conductor, mientras que el molibdeno tiene una conductividad más baja (alrededor del 18% IACS). La conductividad de los materiales compuestos de molibdeno y cobre aumenta con el aumento del contenido de cobre. Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen una alta conductividad, cerca del 30-40% IACS, que es adecuada para sustratos conductores de dispositivos semiconductores de potencia y dispositivos de microondas; las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) tienen baja conductividad, alrededor del 20-25% IACS, pero aún es suficiente para satisfacer las necesidades de muchas aplicaciones electrónicas.

La propiedad de resistencia está directamente relacionada con la conductividad. Las láminas de cobre-molibdeno con alto contenido de cobre presentan baja resistencia, lo que ayuda a reducir la pérdida de potencia y la generación de calor. El proceso de preparación tiene un impacto significativo en la conductividad. El método de sinterización por prensado en caliente puede mejorar la conductividad al aumentar la densidad y optimizar la interfaz de cobre-molibdeno; el método de pulvimetalurgia puede aumentar la resistencia si existen poros o defectos en la interfaz. La excelente conductividad y la baja

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resistencia de las láminas de cobre-molibdeno les permiten conducir la corriente eficientemente en dispositivos electrónicos de alta potencia, reducir la pérdida de energía y mejorar el rendimiento del dispositivo.

### 2.6.2 Rendimiento del contacto eléctrico

El rendimiento del contacto eléctrico se refiere a la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para mantener una baja resistencia de contacto y una conexión eléctrica estable en las interfaces de contacto (como conectores o electrodos). La baja resistencia de contacto y la alta conductividad del cobre lo convierten en un material de contacto ideal, mientras que la alta dureza y resistencia al desgaste del molibdeno contribuyen a mantener la estabilidad mecánica de la interfaz de contacto.

El rendimiento de los materiales compuestos de molibdeno-cobre mejora con el aumento del contenido de cobre. Las láminas de molibdeno-cobre con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) presentan baja resistencia de contacto y son adecuadas para componentes de conexión eléctrica en dispositivos electrónicos de alta corriente, como sustratos conductores de módulos de potencia. Las láminas de molibdeno-cobre con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) presentan una resistencia de contacto ligeramente superior, pero gracias a su alta dureza, resisten el desgaste por contacto y son adecuadas para aplicaciones que requieren un contacto estable a largo plazo. El tratamiento superficial (como el plateado o el dorado) puede reducir aún más la resistencia de contacto y mejorar la resistencia al desgaste. El proceso de preparación influye significativamente en el rendimiento del contacto eléctrico. El método de infiltración de material fundido puede optimizar la interfaz de contacto mediante una distribución uniforme de la fase de cobre; el método de pulvimetalurgia puede aumentar la resistencia de contacto si existen microporos. El rendimiento del contacto eléctrico de las láminas de molibdeno-cobre les permite mantener conexiones eléctricas fiables en encapsulados electrónicos y dispositivos de potencia, reduciendo el riesgo de fallos de contacto.

### 2.6.3 Estabilidad electroquímica

La estabilidad electroquímica refleja la capacidad de las láminas de cobre y molibdeno para resistir la corrosión electroquímica en entornos electroquímicos (como soluciones electrolíticas o entornos húmedos y salinos). El molibdeno tiene una excelente resistencia a la corrosión y funciona bien en electrolitos no oxidantes, pero puede corroerse en entornos fuertemente oxidantes; el cobre tiene una estabilidad electroquímica pobre y es propenso a la corrosión electroquímica en entornos húmedos o que contienen cloro. La estabilidad electroquímica de los compuestos de molibdeno y cobre está dominada principalmente por la fase de molibdeno. Las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de molibdeno (como Mo85Cu15) muestran buena estabilidad en entornos electroquímicos y son adecuadas para componentes conductores en entornos marinos o industrias químicas; las láminas de cobre y molibdeno con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40) tienen una estabilidad electroquímica débil y pueden sufrir corrosión de la fase de cobre en entornos de alta humedad o niebla salina. El proceso de preparación tiene un impacto en la estabilidad electroquímica. El método de sinterización por prensado en caliente puede reducir la penetración del electrolito y los riesgos de corrosión al aumentar la densidad

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y reducir los poros; el método de pulvimetalurgia puede acelerar la corrosión electroquímica local si existen microporos. Las capas protectoras superficiales (como el niquelado) pueden mejorar significativamente la estabilidad electroquímica. La estabilidad electroquímica de las láminas de cobre-molibdeno les permite mantener un rendimiento prolongado en aplicaciones de contacto eléctrico y conductivas, prolongando así la vida útil del dispositivo.

## 2.7 Comparación entre láminas de cobre y molibdeno y otros materiales

molibdeno presenta ventajas únicas en la gestión térmica, la electrónica y las aplicaciones de alta temperatura. En comparación con otros materiales de uso común (como el cobre puro, el cobre tungsteno, el silicio de aluminio y los materiales cerámicos), su rendimiento es equilibrado en términos de conductividad térmica, expansión térmica, propiedades mecánicas y costo. El cobre puro tiene una conductividad térmica extremadamente alta (aproximadamente  $401 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) y conductividad eléctrica (100 % IACS), pero su coeficiente de expansión térmica es alto (aproximadamente  $16,5 \times 10^{-6}/\text{K}$  a  $25^\circ\text{C}$ ) y su resistencia a altas temperaturas es baja (aproximadamente 200-250 MPa), lo que no lo hace adecuado para entornos de alta temperatura o ciclos térmicos. Las láminas de cobre-molibdeno (como Mo60Cu40) presentan una conductividad térmica ligeramente inferior (aproximadamente  $200\text{-}250 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), pero un coeficiente de expansión térmica inferior (aproximadamente  $8\text{-}10 \times 10^{-6}/\text{K}$ ), una mejor estabilidad a altas temperaturas y son adecuadas para el encapsulado electrónico. La conductividad térmica de los compuestos de cobre-tungsteno es comparable a la del cobre-molibdeno (aproximadamente  $180\text{-}220 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), pero la densidad es mayor (aproximadamente  $15\text{-}17 \text{ g/cm}^3$  frente a los  $9\text{-}10 \text{ g/cm}^3$  del cobre-molibdeno), un coste superior y un procesamiento más complejo. Las láminas de cobre-molibdeno presentan una densidad inferior, mayores ventajas de coste y son adecuadas para aplicaciones ligeras. Los compuestos de aluminio y silicio (como el AlSiC) tienen una conductividad térmica ligeramente inferior (aproximadamente  $150\text{-}200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), pero su coeficiente de expansión térmica es cercano al del cobre-molibdeno y su peso es menor, lo que resulta adecuado para la industria aeroespacial. Sin embargo, su resistencia mecánica y su resistencia a altas temperaturas no son tan buenas como las láminas de cobre-molibdeno. Los materiales cerámicos (como el óxido de aluminio y el nitruro de silicio) tienen un coeficiente de expansión térmica bajo (aproximadamente  $4\text{-}7 \times 10^{-6}/\text{K}$ ), pero una conductividad térmica y eléctrica deficiente (el óxido de aluminio tiene una conductividad de aproximadamente  $20\text{-}30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), lo que no es adecuado para aplicaciones conductoras, mientras que las láminas de cobre-molibdeno tienen capacidades tanto de conductividad como de gestión térmica. El proceso de fabricación de láminas de molibdeno-cobre (como la pulvimetalurgia o la infiltración de masa fundida) es relativamente maduro, las materias primas molibdeno y cobre tienen abundantes reservas, una fuerte reciclabilidad y un costo menor que el tungsteno-cobre y algunos materiales cerámicos, lo que las hace ampliamente competitivas en los campos de la electrónica, la industria aeroespacial y la energía.

## 2.8 CTIA GROUP LTD Hoja de cobre y molibdeno MSDS

Lámina de Cobre Molibdeno CTIA GROUP LTD es un documento de orientación que proporciona información de seguridad para la producción, transporte, almacenamiento y uso del material, con el objetivo de garantizar que los trabajadores, el personal de emergencia y los usuarios comprendan sus

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

características, los peligros potenciales y los requisitos de operación segura.

La lámina de cobre-molibdeno es un material metálico compuesto de molibdeno (n.º CAS: 7439-98-7) y cobre (n.º CAS: 7440-50-8). El nombre del producto suele derivar de la proporción de la composición, como Mo85Cu15 (85 % molibdeno, 15 % cobre) o Mo60Cu40 (60 % molibdeno, 40 % cobre). Sus principales usos incluyen sustratos de disipación de calor para encapsulados electrónicos, componentes de gestión térmica aeroespacial y piezas conductoras de módulos de potencia. Se recomienda evitar el uso prolongado en ácidos oxidantes fuertes (como el ácido nítrico) o entornos con oxígeno a alta temperatura para prevenir la corrosión u oxidación de la fase de cobre.

En condiciones normales de uso, las láminas de cobre-molibdeno son placas sólidas y no se clasifican como sustancias químicas peligrosas. Sin embargo, el proceso de procesamiento (como corte, esmerilado y soldadura) puede generar polvo o fragmentos metálicos, lo que supone riesgos para la salud y la seguridad. La inhalación de polvo puede causar irritación respiratoria leve y el contacto prolongado puede causar molestias pulmonares; el contacto de la piel con fragmentos metálicos puede causar irritación mecánica o cortes. En cuanto al medio ambiente, las láminas de cobre-molibdeno son materiales inertes y no contaminan significativamente el agua ni el suelo, pero los residuos deben gestionarse de acuerdo con la normativa local. La clasificación del SGA indica que no es una sustancia química peligrosa, pero se deben tomar medidas de protección durante el procesamiento.

**Tratamiento de emergencia** Para el polvo o los residuos generados durante el procesamiento, el área afectada debe aislarse y limpiarse con un equipo a prueba de polvo (como una aspiradora) para evitar el polvo. Los materiales recolectados deben colocarse en contenedores sellados y manipularse de acuerdo con las regulaciones. El personal de limpieza debe usar máscaras antipolvo y guantes. Se recomienda cortar, esmerilar o soldar en un área bien ventilada durante la operación, usar equipo local de eliminación de polvo y los operadores deben usar gafas protectoras, guantes y máscaras antipolvo. Durante el almacenamiento, las láminas de cobre-molibdeno deben colocarse en un ambiente seco y fresco, evitar el contacto con ácidos oxidantes fuertes o entornos que contengan oxígeno a alta temperatura, y empacarse adecuadamente para prevenir la humedad o daños mecánicos.

El control de la exposición requiere que se instalen sistemas de escape locales en las áreas de procesamiento para mantener las concentraciones de polvo por debajo de los límites de exposición ocupacional (como ACGIH TLV: 10 mg/m<sup>3</sup> para polvo de molibdeno y 1 mg/m<sup>3</sup> para polvo de cobre). El equipo de protección personal incluye máscaras contra el polvo N95 o de grado superior, gafas protectoras y guantes resistentes al desgaste. La exposición a largo plazo requiere controles de salud regulares. Las propiedades físicas y químicas de las láminas de cobre y molibdeno varían según la proporción de la composición. Por ejemplo, la densidad de Mo85Cu15 es de aproximadamente 10,0 g/cm<sup>3</sup>, la conductividad térmica es de aproximadamente 160-180 W/m·K y el coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente 5-7×10<sup>-6</sup> /K; La densidad de Mo60Cu40 es de aproximadamente 9,6 g/cm<sup>3</sup>, la conductividad térmica es de aproximadamente 210-250 W/m·K y el coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente 10-11×10<sup>-6</sup>/K. El material es un metal sólido de color gris plateado, inodoro, insoluble en agua y químicamente estable.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En condiciones normales, las láminas de cobre-molibdeno son químicamente estables y no reaccionan con el agua, el aire ni con productos químicos comunes. Sin embargo, en entornos con alta temperatura y oxígeno, la fase de cobre puede generar óxido de cobre y la fase de molibdeno, óxidos volátiles. Se debe evitar el contacto con ácidos oxidantes fuertes para evitar la disolución de la fase de cobre, y el polvo de procesamiento debe mantenerse alejado de fuentes de fuego. En términos de toxicología, las láminas de cobre-molibdeno sólidas no presentan toxicidad significativa, y el polvo puede causar irritación respiratoria o cutánea leve. La inhalación prolongada de polvo en alta concentración puede causar molestias pulmonares. Desde el punto de vista ecológico, las láminas de cobre-molibdeno no causan bioacumulación ni contaminación ambiental, y los residuos deben reciclarse o eliminarse de acuerdo con la normativa vigente, como la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos de China.

Durante el transporte, las láminas de cobre-molibdeno no son mercancías peligrosas ni requieren requisitos especiales, pero deben embalsarse adecuadamente para evitar daños mecánicos, utilizando cajas de madera resistentes o contenedores de plástico con la MSDS adjunta. En cuanto a la normativa, los materiales cumplen con el "Reglamento sobre la Gestión de la Seguridad de Productos Químicos Peligrosos" de China y las normas internacionales del SGA, y deben cumplir con la normativa de seguridad y salud en el trabajo. Las exportaciones cumplen con los requisitos REACH y RoHS de la UE.

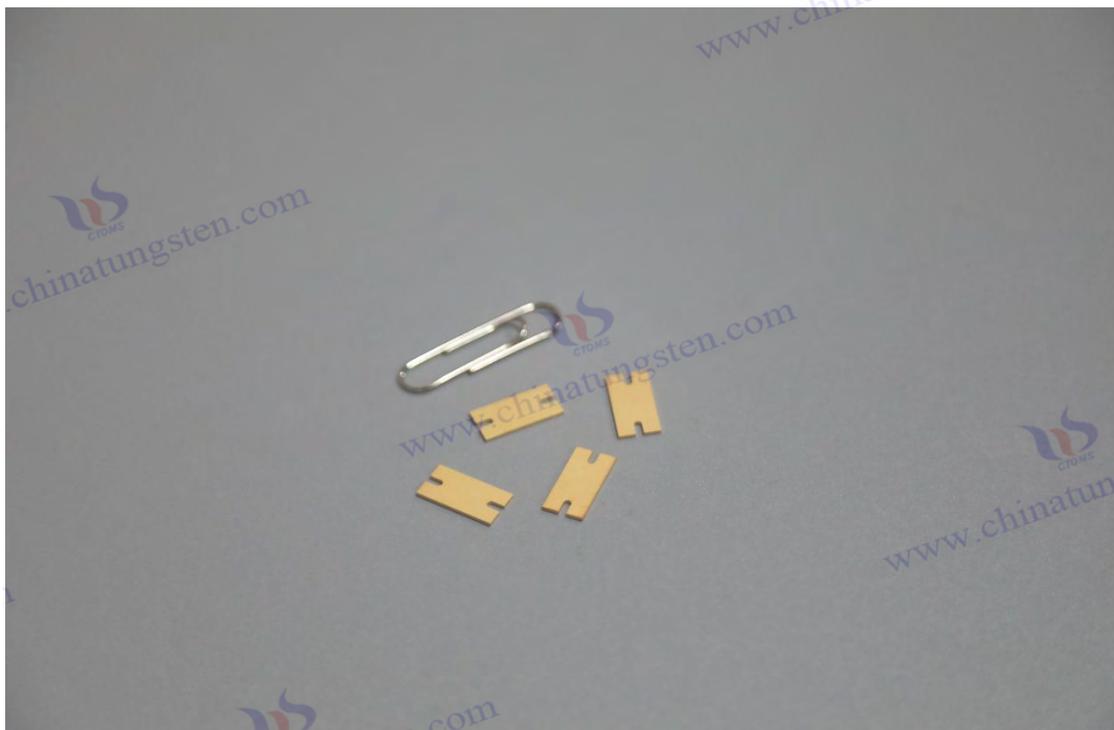


Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Capítulo 3 Clasificación de las láminas de cobre y molibdeno

### 3.1 Clasificación por marca (típica) Lámina de cobre y molibdeno

La clasificación de las láminas de cobre y molibdeno se basa principalmente en su proporción compositiva, es decir, el porcentaje en masa o volumen de molibdeno (Mo) y cobre (Cu). Los diferentes grados corresponden a características de rendimiento específicas para satisfacer las diversas necesidades de las aplicaciones electrónicas, aeroespaciales, de gestión térmica y conductivas. La denominación del grado suele indicar directamente el contenido de molibdeno y cobre; por ejemplo, Mo85Cu15 significa 85 % de molibdeno y 15 % de cobre. Ajustando la proporción molibdeno-cobre, se pueden optimizar la conductividad térmica, la conductividad eléctrica, el coeficiente de expansión térmica y las propiedades mecánicas.

#### 3.1.1 Mo85Cu15

El Mo85Cu15 es un grado con un alto contenido de molibdeno, con un 85 % de molibdeno y un 15 % de cobre. Se caracteriza principalmente por su alta resistencia, bajo coeficiente de expansión térmica y alta resistencia a altas temperaturas. Su densidad es de aproximadamente 10,0 g/cm<sup>3</sup>, cercana a la del molibdeno. Su conductividad térmica es de aproximadamente 1,6-180 W/ m·K, su conductividad eléctrica es de aproximadamente 20-25 % IACS y su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente  $5-7 \times 10^{-6}/K$ , lo que lo hace altamente compatible con los materiales cerámicos. El Mo85Cu15 tiene excelentes propiedades mecánicas, una dureza Vickers de aproximadamente 180-220 HV y una resistencia a la tracción de casi 600 MPa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones con alta tensión. Gracias a su alto contenido de molibdeno, posee una excelente resistencia a altas temperaturas y puede operar de forma estable en un entorno de 600 a 800 °C. Presenta una alta resistencia a la corrosión y a la oxidación, y es adecuado para componentes de alta temperatura en la industria aeroespacial (como componentes de gestión térmica de motores a reacción), intercambiadores de calor de la industria nuclear y sustratos de disipación de calor para dispositivos semiconductores de potencia. El Mo85Cu15 presenta baja ductilidad y tenacidad, y es ligeramente más difícil de procesar. Se suele producir mediante prensado en caliente y sinterización para garantizar una alta densidad. Es adecuado para entornos con requisitos estrictos de control de la expansión térmica y estabilidad a altas temperaturas.

#### 3.1.2 Mo80Cu20

Mo80Cu20 es un grado con una proporción relativamente equilibrada de molibdeno y cobre, con 80% de molibdeno y 20% de cobre, logrando un buen compromiso entre resistencia, conductividad térmica y rendimiento de expansión térmica. Su densidad es de aproximadamente 9,9 g/cm<sup>3</sup>, la conductividad térmica es de aproximadamente 170-200 W/ m·K, la conductividad eléctrica es de aproximadamente 25-30% IACS y el coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente  $6-8 \times 10^{-6}/K$ , que todavía coincide con los materiales cerámicos, pero ligeramente más alto que Mo85Cu15. Las propiedades mecánicas de Mo80Cu20 son ligeramente inferiores a las de Mo85Cu15, con una dureza Vickers de aproximadamente 160-200 HV y una resistencia a la tracción de aproximadamente 500-600 MPa. La

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ductilidad y la tenacidad se mejoran, lo que es adecuado para aplicaciones que requieren cierto rendimiento de procesamiento. Presenta buena resistencia a altas temperaturas y puede funcionar de forma estable en un entorno de 500-700 °C. Presenta una excelente resistencia a la corrosión y a la oxidación, y es adecuado para sustratos de disipación de calor, disipadores de calor para dispositivos de microondas y piezas estructurales aeroespaciales en encapsulados electrónicos. El Mo<sub>43</sub>Cu<sub>2</sub>O se produce mediante pulvimetalurgia o infiltración en fundido. Este método optimiza la distribución de la fase de cobre, mejora la conductividad térmica y eléctrica, y se utiliza ampliamente en entornos con requisitos rigurosos de gestión térmica y propiedades mecánicas.

### 3.1.3 Mo70Cu30

El Mo70Cu30 es un grado con un alto contenido de cobre, con un 70 % de molibdeno y un 30 % de cobre. Sus principales ventajas son su alta conductividad térmica y eléctrica, y es adecuado para aplicaciones de gestión térmica eficiente y conductoras. Su densidad es de aproximadamente 9,6 g/cm<sup>3</sup>, similar a la del cobre (8,96 g/cm<sup>3</sup>), su conductividad térmica es de aproximadamente 200-250 W/ m·K, su conductividad eléctrica es de aproximadamente 30-40 % IACS y su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente 8-10 × 10<sup>-6</sup>/K, superior al de los dos anteriores. Es adecuado para entornos con requisitos de expansión térmica menos estrictos. Las propiedades mecánicas del Mo70Cu30 son débiles, con una dureza Vickers de aproximadamente 120-160 HV y una resistencia a la tracción de aproximadamente 400-500 MPa. Sin embargo, su ductilidad y tenacidad se han mejorado significativamente, y es fácil de procesar y moldear, lo que lo hace adecuado para la fabricación de disipadores de calor o piezas conductoras con formas complejas. Su resistencia a altas temperaturas es ligeramente inferior, y la temperatura de funcionamiento recomendada es inferior a 400 °C para evitar el ablandamiento u oxidación de la fase de cobre. Su resistencia a la corrosión y a la oxidación son ligeramente inferiores a las del Mo85Cu15 y el Mo80Cu20. Es adecuado para componentes de gestión térmica de equipos de comunicación 5G, módulos de potencia y vehículos de nueva energía. El Mo70Cu30 se produce a menudo por infiltración de material fundido para garantizar una distribución uniforme de la fase de cobre y optimizar la conductividad térmica y el rendimiento del contacto eléctrico.

### 3.1.4 Mo60Cu40

molibdeno con un alto contenido de cobre, con 60% de molibdeno y 40% de cobre. Tiene una excelente conductividad térmica y eléctrica como sus características principales, y es adecuado para la gestión térmica eficiente y aplicaciones conductoras. Su densidad es de aproximadamente 9,3 g/cm<sup>3</sup>, cerca de la densidad del cobre (8,96 g/cm<sup>3</sup>), y su conductividad térmica es relativamente alta, alrededor de 200-250 W/ m·K, su conductividad eléctrica es de aproximadamente 30-40% IACS, y su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente 8-10×10<sup>-6</sup> /K, que es adecuado para escenas con requisitos de expansión térmica relativamente flexibles. Mo60Cu40 tiene propiedades mecánicas moderadas, con una dureza Vickers de aproximadamente 100-140 HV y una resistencia a la tracción de aproximadamente 350-450 MPa. En comparación con los grados con alto contenido de molibdeno, su ductilidad y tenacidad mejoran significativamente, y es fácil de procesar y conformar, adecuado para la fabricación de disipadores de calor, sustratos conductores o conectores con formas complejas. Su resistencia a altas temperaturas está

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

limitada por el contenido de cobre. La temperatura de operación recomendada es inferior a 400 °C para evitar el ablandamiento u oxidación de la fase de cobre. Su resistencia a la corrosión y la oxidación son ligeramente inferiores a las de los grados con alto contenido de molibdeno, pero es estable en entornos químicos no agresivos. El Mo60Cu40 se utiliza ampliamente en componentes de gestión térmica de equipos de comunicación 5G, módulos semiconductores de potencia y vehículos de nueva energía, especialmente en escenarios que requieren alta conductividad térmica y cierto rendimiento de procesamiento. La infiltración es su proceso de preparación común, que puede asegurar una distribución uniforme de la fase de cobre y optimizar aún más la conductividad térmica y el rendimiento del contacto eléctrico. La pulvimetalurgia también se puede utilizar para la producción, pero se debe garantizar una alta densidad para mantener el rendimiento.

### 3.1.5 Mo50Cu50

Grado de lámina de cobre y molibdeno con el mayor contenido de cobre, con molibdeno y cobre representando el 50% cada uno. Sus principales ventajas son una conductividad térmica y eléctrica extremadamente altas, que están cerca del rendimiento del cobre puro, al tiempo que conservan cierta resistencia mecánica y estabilidad térmica. Su densidad es de aproximadamente 9,1 g/cm<sup>3</sup>, que está muy cerca de la densidad del cobre. Su conductividad térmica es de aproximadamente 220-270 W/m·K, su conductividad eléctrica es de aproximadamente 35-45% IACS y su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente 10-12×10<sup>-6</sup> /K, que es adecuado para aplicaciones con bajos requisitos de control de expansión térmica. Las propiedades mecánicas de Mo50Cu50 tienden a ser flexibles, con una dureza Vickers de aproximadamente 80-120 HV y una resistencia a la tracción de aproximadamente 300-400 MPa. Su ductilidad y tenacidad son similares a las del cobre puro, lo que lo hace adecuado para técnicas de procesamiento complejas como el estampado o el doblado. Su resistencia a altas temperaturas es baja, y la temperatura de operación recomendada es inferior a 350 °C para evitar que la fase de cobre se ablande u oxide a altas temperaturas. Su resistencia a la corrosión y a la oxidación es aún menor en comparación con el Mo60Cu40, por lo que es necesario evitar su uso prolongado en ambientes húmedos o con cloro. El Mo50Cu50 se utiliza principalmente para sustratos de disipación de calor en dispositivos electrónicos de alta potencia, componentes conductores en dispositivos de microondas y módulos de potencia en vehículos de nueva energía. Es especialmente adecuado para escenarios que requieren una conducción térmica y una transmisión eléctrica eficientes. El método de infiltración por fusión es el proceso de preparación preferido, que puede optimizar la continuidad de la fase de cobre y mejorar la conductividad térmica y eléctrica; también se puede utilizar la pulvimetalurgia, pero los poros deben controlarse estrictamente para garantizar un rendimiento estable.

### Láminas de cobre y molibdeno por proceso de fabricación

La lámina de cobre-molibdeno tiene un impacto significativo en su rendimiento, microestructura y aplicaciones, principalmente en la pulvimetalurgia y la infiltración de material fundido. Diversos procesos afectan la conductividad térmica, la conductividad eléctrica, las propiedades mecánicas y la estabilidad química al controlar el modo de unión del molibdeno y el cobre, así como la densidad del

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

material. A continuación, se describen en detalle las características y aplicaciones de las láminas de cobre-molibdeno fabricadas mediante pulvimetalurgia e infiltración de material fundido.

### **Lámina de cobre fabricada mediante pulvimetalurgia**

Las láminas de cobre y molibdeno fabricadas mediante pulvimetalurgia se preparan mezclando polvo de molibdeno y polvo de cobre, prensando y sinterizando a alta temperatura. Son aptas para producir láminas de cobre y molibdeno con diversas proporciones de composición, como Mo85Cu15, Mo80Cu20 y Mo70Cu30. El proceso primero mezcla los polvos de molibdeno y cobre en una proporción específica, forma una pieza en bruto mediante prensado en frío o en caliente y luego sinteriza bajo la protección de un gas inerte de alta temperatura (como argón o nitrógeno) para fundir parcialmente la fase de cobre y rellenar los poros entre las partículas de molibdeno para formar una estructura compuesta densa. Las láminas de cobre y molibdeno fabricadas mediante pulvimetalurgia poseen una alta resistencia mecánica. La resistencia a la tracción del Mo85Cu15 puede alcanzar los 500-600 MPa, y la dureza Vickers es de aproximadamente 180-220 HV. Son adecuados para componentes aeroespaciales de alta resistencia y alta temperatura y sustratos de disipación de calor de empaquetado electrónico. Su conductividad térmica aumenta con el aumento del contenido de cobre, como Mo70Cu30 puede alcanzar 200-250 W/ m·K, y la conductividad eléctrica es de aproximadamente 30-40% IACS. La metalurgia de polvos puede controlar con precisión la proporción de ingredientes y es adecuada para la producción personalizada, pero si la temperatura o presión de sinterización es insuficiente, puede provocar la presencia de microporos, reduciendo ligeramente la conductividad térmica y la conductividad eléctrica. Las láminas de cobre y molibdeno producidas por metalurgia de polvos se utilizan ampliamente en dispositivos semiconductores de potencia, dispositivos de microondas y componentes de gestión térmica, especialmente en escenarios que requieren alta resistencia y dimensiones precisas, pero el coste de procesamiento es alto y es adecuado para aplicaciones de alto rendimiento.

### **Lámina de molibdeno-cobre fabricada por infiltración de material fundido**

La lámina de cobre y molibdeno fabricada por el método de infiltración en fundido se forma preparando primero un esqueleto poroso de molibdeno y luego infiltrando cobre fundido en los poros del esqueleto de molibdeno para formar un material compuesto. Es adecuado para producir grados con alto contenido de cobre, como Mo60Cu40 y Mo50Cu50. El proceso primero prensa y sinteriza polvo de molibdeno mediante tecnología de pulvimetalurgia para formar un esqueleto poroso de molibdeno, y luego filtra cobre fundido en los poros del esqueleto a alta temperatura, formando una estructura bifásica uniforme después del enfriamiento. La lámina de cobre y molibdeno fabricada por el método de infiltración en fundido tiene excelente conductividad térmica y conductividad eléctrica. La conductividad térmica de Mo60Cu40 puede alcanzar 200-250 W/ m·K, y la conductividad eléctrica es de aproximadamente 30-40% IACS. El Mo50Cu50 presenta valores cercanos a 220-270 W/ m·K y un 35-45 % IACS, lo que lo hace adecuado para una gestión térmica eficiente y aplicaciones conductoras, como equipos de comunicación 5G y módulos de potencia para vehículos de nueva energía. Sus propiedades mecánicas son ligeramente inferiores a las de los productos de pulvimetalurgia. La resistencia a la tracción del Mo60Cu40 es de aproximadamente 350-450 MPa y la dureza Vickers de aproximadamente 100-140 HV,

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

pero presenta una mejor ductilidad y tenacidad, lo que facilita el procesamiento de formas complejas. El método de infiltración de fusión optimiza la conductividad térmica y el rendimiento del contacto eléctrico mediante una distribución uniforme de la fase de cobre. Sin embargo, si la porosidad del esqueleto de molibdeno no se controla adecuadamente, puede provocar irregularidades locales en la fase de cobre y afectar la estabilidad del rendimiento. El costo de las láminas de cobre-molibdeno producidas mediante el método de infiltración de fusión es relativamente bajo, adecuado para la producción en masa y ampliamente utilizado en radiadores electrónicos y sustratos conductores.

### 3.3 Clasificación de láminas de cobre y molibdeno por campo de aplicación

Las láminas de cobre-molibdeno se pueden clasificar en láminas de uso general y láminas de uso especial (como la industria aeroespacial o el embalaje electrónico) según las diferentes necesidades de su campo de aplicación. La clasificación de cada campo de aplicación se basa en la compatibilidad de las propiedades del material con los escenarios de uso. Las láminas de cobre-molibdeno de uso general se utilizan ampliamente en diversas industrias gracias a su rendimiento equilibrado. A continuación, se describen en detalle las características y aplicaciones de las láminas de cobre-molibdeno de uso general.

#### 3.3.1 Lámina de cobre y molibdeno general

La lámina de cobre-molibdeno de uso general es un producto estandarizado que satisface las necesidades de diversas industrias, y que generalmente incluye grados como Mo80Cu20, Mo70Cu30 y Mo60Cu40. Presenta conductividad térmica, conductividad eléctrica, propiedades mecánicas y características de expansión térmica equilibradas, y es adecuada para los campos de la electrónica, las comunicaciones, la energía y la industria. Su rango de densidad es de 9,3-9,8 g/cm<sup>3</sup>, su conductividad térmica es de aproximadamente 170-250 W/ m·K, su conductividad eléctrica es de aproximadamente 25-40% IACS y su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente 6-10×10<sup>-6</sup>/K, lo que la hace compatible con materiales cerámicos y semiconductores (como la alúmina y el nitruro de silicio).

Las propiedades mecánicas de la lámina de cobre-molibdeno de uso general son moderadas, con una resistencia a la tracción de aproximadamente 350-600 MPa y una dureza Vickers de aproximadamente 100-200 HV. Su ductilidad y tenacidad son suficientes para soportar procesos convencionales como corte y estampado. Su resistencia a altas temperaturas puede soportar entornos de trabajo de 400-700 °C, y su resistencia a la corrosión y a la oxidación se mantienen estables en entornos no agresivos. La lámina de cobre molibdeno universal se produce mediante pulvimetalurgia o infiltración en fundido. El método de infiltración en fundido es más adecuado para grados con alto contenido de cobre para optimizar la conductividad térmica, y el método de pulvimetalurgia es adecuado para requisitos de alta resistencia. Las aplicaciones típicas incluyen sustratos de disipación de calor en encapsulados electrónicos, disipadores de calor en equipos de comunicación, piezas conductoras de módulos de potencia y componentes de gestión térmica de vehículos de nueva energía. La flexibilidad y la rentabilidad de la lámina de cobre molibdeno universal la convierten en el material predilecto para aplicaciones de gestión térmica y conductividad, satisfaciendo las necesidades de todo tipo de productos, desde electrónica de consumo hasta equipos industriales.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.3.2 Lámina de cobre-molibdeno de alta frecuencia

Las láminas de cobre y molibdeno de alta frecuencia están diseñadas para equipos electrónicos de alta frecuencia, centrándose en satisfacer las necesidades de equipos de microondas, radiofrecuencia y comunicación para alta conductividad, baja expansión térmica y excelente gestión térmica. Los grados con mayor contenido de cobre, como Mo60Cu40 o Mo50Cu50, generalmente se seleccionan para garantizar una transmisión eléctrica y conducción de calor eficientes. Su conductividad térmica es de aproximadamente 200-270 W/ m·K, y su conductividad eléctrica es de aproximadamente 30-45% IACS, lo que puede reducir efectivamente la pérdida de energía y la acumulación de calor en la transmisión de señales de alta frecuencia. Su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente  $8-12 \times 10^{-6}/K$ , lo que es adecuado para cerámica o materiales semiconductores (como nitruro de aluminio) en dispositivos de alta frecuencia.

alta frecuencia son moderadas, con una resistencia a la tracción de aproximadamente 300-450 MPa, una dureza Vickers de aproximadamente 80-140 HV, buena ductilidad y soporte para el procesamiento de formas complejas, como disipadores de calor de dispositivos de microondas o sustratos de antena. La resistencia a altas temperaturas está limitada por el contenido de cobre, y la temperatura de funcionamiento recomendada es inferior a 400 °C para evitar la oxidación de la fase de cobre. La resistencia a la corrosión y la estabilidad electroquímica son buenas en entornos convencionales y son adecuadas para estaciones base de comunicación 5G, sistemas de radar y equipos de comunicación por satélite. La infiltración es el principal proceso de preparación, que optimiza la conductividad eléctrica y la conducción térmica a través de una distribución uniforme de la fase de cobre. La pulvimetalurgia también se puede utilizar para la producción de componentes de alta precisión. El tratamiento de superficies (como el plateado) se utiliza a menudo para reducir aún más la resistencia de contacto y mejorar el rendimiento de alta frecuencia. Las láminas de cobre y molibdeno de alta frecuencia se utilizan ampliamente en amplificadores de potencia de RF, circuitos integrados de microondas y módulos de comunicación para garantizar la integridad de la señal y la estabilidad térmica.

### 3.3.3 Lámina de cobre y molibdeno para uso aeroespacial

La lámina de cobre-molibdeno de tipo aeroespacial está especialmente diseñada para entornos extremos en el sector aeroespacial, destacando su alta resistencia, baja expansión térmica y excelente resistencia a altas temperaturas. Generalmente, se seleccionan grados con mayor contenido de molibdeno, como Mo85Cu15 o Mo80Cu20, para soportar altas temperaturas y condiciones de alta tensión. Su densidad es de aproximadamente 9,8-10,0 g/cm<sup>3</sup>, su conductividad térmica es de aproximadamente 150-200 W/ m·K, su conductividad eléctrica es de aproximadamente 20-30 % IACS y su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente  $5-8 \times 10^{-6}/K$ , lo que la hace altamente compatible con los materiales cerámicos y reduce la tensión interfacial en los ciclos térmicos. La lámina de cobre-molibdeno de tipo aeroespacial posee excelentes propiedades mecánicas: resistencia a la tracción de aproximadamente 500-600 MPa, dureza Vickers de aproximadamente 160-220 HV, adecuada para soportar cargas mecánicas y vibraciones, excelente resistencia a altas temperaturas, funcionamiento estable en entornos de 600-800 °C, alta resistencia a la oxidación y a la corrosión, y es adecuada para el entorno químico agresivo de los

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dispositivos aeroespaciales. El prensado en caliente y la sinterización son los principales procesos de preparación, lo que garantiza una alta densidad y resistencia de la interfaz. La infiltración de material fundido también se puede utilizar para piezas específicas con el fin de equilibrar el costo y el rendimiento. Las láminas de cobre-molibdeno de tipo aeroespacial se utilizan ampliamente en componentes de gestión térmica de motores a reacción, disipadores de calor de satélites y módulos de potencia de naves espaciales. Mantienen el rendimiento en entornos de alta temperatura, alta vibración y vacío, garantizando la confiabilidad y una larga vida útil del equipo.

### 3.3.4 Dispositivo fotoeléctrico tipo lámina de cobre-molibdeno

La lámina de cobre-molibdeno para dispositivos optoelectrónicos está diseñada para dispositivos optoelectrónicos (como láseres, LED y módulos de comunicación óptica), centrándose en cumplir con los requisitos de alta conductividad térmica, baja expansión térmica y rendimiento de contacto eléctrico. Los grados Mo70Cu30 o Mo60Cu40 se seleccionan generalmente para equilibrar la conductividad térmica y la expansión térmica. Su conductividad térmica es de aproximadamente 200-250 W/ m·K y su conductividad eléctrica es de aproximadamente 30-40% IACS. Puede disipar el calor rápidamente y proteger los dispositivos optoelectrónicos del daño térmico. Su coeficiente de expansión térmica es de aproximadamente  $8-10 \times 10^{-6} /K$ , que combina bien con materiales optoelectrónicos (como arseniuro de galio y nitruro de silicio) para reducir el fallo del dispositivo causado por el estrés térmico. Las propiedades mecánicas de la lámina de cobre-molibdeno para dispositivos optoelectrónicos son moderadas, con una resistencia a la tracción de aproximadamente 350-500 MPa y una dureza Vickers de aproximadamente 100-160 HV. Su ductilidad facilita el procesamiento de precisión y es adecuada para la fabricación de pequeños sustratos o electrodos de disipación de calor. La resistencia a altas temperaturas es moderada, y la temperatura de funcionamiento recomendada es inferior a 400 °C. La resistencia a la corrosión y la estabilidad electroquímica satisfacen las necesidades de los dispositivos optoelectrónicos en entornos convencionales.



Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Copper Sheets Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

#### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

#### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3   |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5   |

#### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

#### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Capítulo 4 Tecnología de preparación de láminas de cobre y molibdeno

### 4.1 Preparación de láminas de cobre-molibdeno mediante tecnología de pulvimetalurgia

La tecnología de pulvimetalurgia es uno de los principales procesos para la preparación de láminas de cobre-molibdeno. Es adecuada para la producción de láminas de cobre-molibdeno con diversas proporciones de composición, como Mo85Cu15, Mo80Cu20 y Mo70Cu30. Mediante el control preciso del proceso de mezcla, prensado y sinterización de los polvos de molibdeno y cobre, se logran excelentes propiedades mecánicas, conductividad térmica y conductividad eléctrica. Esta tecnología procesa polvos metálicos en materiales compuestos densos para satisfacer las necesidades de los sectores de encapsulado electrónico, aeroespacial y gestión térmica.

#### 4.1.1 Flujo de proceso de la tecnología de pulvimetalurgia

molibdeno obtenidas mediante tecnología de pulvimetalurgia incluyen los pasos de preparación del polvo, mezcla, prensado, sinterización y posprocesamiento.

Primero, se seleccionan y tamizan polvo de molibdeno de alta pureza (generalmente  $\geq 99,95\%$ ) y polvo de cobre (generalmente  $\geq 99,9\%$ ) para asegurar un tamaño de partícula uniforme y mejorar el efecto de la mezcla. Los polvos se mezclan uniformemente en un mezclador mecánico según la proporción deseada (como Mo85Cu15 o Mo70Cu30), y se suele añadir una pequeña cantidad de lubricante (como ácido esteárico) para mejorar el rendimiento del prensado. El polvo mezclado se prensa en un molde mediante prensado en frío o prensado isostático, a una presión que suele ser de 100 a 300 MPa para formar un cuerpo verde con cierta resistencia. A continuación, el cuerpo verde se sinteriza en un horno de sinterización de alta temperatura (rango de temperatura de 1000-1400 °C) bajo la protección de un gas inerte (como argón o nitrógeno) o hidrógeno, y la fase de cobre se funde parcialmente y llena los poros entre las partículas de molibdeno para formar una estructura compuesta densa de molibdeno y cobre. El tiempo de sinterización suele ser de 2 a 6 horas, dependiendo de la composición y las condiciones del equipo. La lámina de cobre-molibdeno sinterizada puede ser posprocesada, como el prensado en caliente para aumentar aún más la densidad, o el procesamiento mecánico (como corte, perforación) para cumplir con los requisitos de tamaño. El producto final puede ser tratado superficialmente (como niquelado o dorado) según sea necesario para mejorar la resistencia a la oxidación y el rendimiento del contacto eléctrico.

Todo el proceso puede controlar con precisión la relación entre molibdeno y cobre, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alto rendimiento, como componentes aeroespaciales de alta temperatura y sustratos de disipación de calor electrónico.

#### 4.1.2 Ventajas y limitaciones de la tecnología de pulvimetalurgia

La tecnología de pulvimetalurgia ofrece ventajas significativas en la preparación de láminas de molibdeno y cobre, pero también presenta ciertas limitaciones. Entre sus ventajas, esta tecnología permite

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

controlar con precisión la proporción de molibdeno y cobre, y producir grados diversificados, como Mo85Cu15 y Mo80Cu20, para satisfacer diferentes requisitos de conductividad térmica y eléctrica (20-40 % IACS). El proceso es altamente flexible y las propiedades del material se pueden optimizar ajustando el tamaño de partícula, la presión de prensado y la temperatura de sinterización. Por ejemplo, la resistencia a la tracción del Mo85Cu15 puede alcanzar los 500-600 MPa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta resistencia.

La metalurgia de polvos también puede lograr una alta densidad (generalmente  $\geq 98$  % de densidad teórica), lo que garantiza excelentes propiedades mecánicas y eficiencia de conductividad térmica, y es adecuada para los campos de empaquetado electrónico y aeroespacial.

Además, esta tecnología es adecuada para la producción personalizada de lotes pequeños y permite fabricar piezas con formas complejas, como disipadores de calor para dispositivos microondas. En cuanto a las limitaciones, el coste de producción de la pulvimetalurgia es relativamente alto, ya que implica la preparación de polvos de alta pureza, moldes de precisión y equipos de sinterización de alta temperatura, con un alto consumo de energía y costes de mantenimiento. Si el proceso de sinterización no se controla adecuadamente, puede provocar microporos o una unión de interfaz deficientes, lo que reduce la conductividad térmica y eléctrica, especialmente en grados con alto contenido de cobre (como Mo60Cu40). La pulvimetalurgia tiene requisitos estrictos sobre la calidad del polvo, y las impurezas o el tamaño de partícula desigual pueden afectar a la consistencia del material. Además, el proceso de sinterización debe realizarse en una atmósfera inerte o reductora, lo que aumenta la complejidad del proceso. En comparación con otros métodos, la pulvimetalurgia es ampliamente aplicable en la producción de láminas de cobre y molibdeno de alto rendimiento, pero es necesario equilibrar el costo y el rendimiento, y es adecuada para escenarios de alta precisión y alta confiabilidad.

#### 4.2.1 Flujo del proceso de infiltración de material fundido

molibdeno en láminas de molibdeno incluye varios pasos importantes. El primero es la preparación de la lámina de molibdeno y la fuente de cobre. Generalmente, es necesario limpiar la lámina de molibdeno antes de usarla para eliminar los óxidos e impurezas de la superficie, lo que ayuda a asegurar una buena unión del cobre y el molibdeno durante el proceso de infiltración. La fuente de cobre suele ser polvo de cobre o polvo de aleación de cobre. El polvo de cobre seleccionado tiene un tamaño de partícula adecuado para que pueda penetrar mejor en los poros de la lámina de molibdeno después de la fusión. A continuación, la lámina de molibdeno limpia y la fuente de cobre se colocan en un horno de alta temperatura y se calientan. La temperatura se aumenta gradualmente hasta el punto de fusión del cobre (aproximadamente 1083 °C) para fundirlo completamente. El cobre líquido fundido penetra en los poros y microfisuras de la lámina de molibdeno mediante acción capilar, formando la base del material compuesto de molibdeno y cobre. Durante el proceso de infiltración de la masa fundida, el control de la temperatura y el tiempo es crucial, ya que una temperatura demasiado alta o un tiempo de infiltración demasiado prolongado pueden causar una penetración excesiva de cobre y afectar las propiedades físicas de la lámina de cobre-molibdeno. Por lo tanto, en este proceso, es fundamental controlar la temperatura de infiltración de la masa fundida entre 1100 °C y 1200 °C y garantizar la profundidad y uniformidad de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

penetración del cobre. Cuando el cobre líquido penetra completamente en los poros de la lámina de molibdeno, el sistema entra en la fase de enfriamiento. Durante este proceso, la combinación de cobre y molibdeno se estabiliza gradualmente para formar un material compuesto sólido. En este punto, controlar la velocidad de enfriamiento es fundamental, ya que un enfriamiento rápido puede causar tensiones internas en el material, afectando sus propiedades mecánicas. Tras enfriarse a temperatura ambiente, la forma y el tamaño de la lámina de molibdeno-cobre quedan prácticamente fijados. Finalmente, para garantizar la calidad superficial y la precisión dimensional de la lámina de molibdeno-cobre final, suele requerirse un posprocesamiento. Estos pasos incluyen la eliminación del exceso de cobre de la superficie, el esmerilado y pulido del material, etc., para mejorar la suavidad y la precisión dimensional de la lámina. Si es necesario, también se puede realizar un tratamiento térmico para mejorar aún más las propiedades mecánicas y la conductividad térmica de la lámina.

#### 4.2.2 Ventajas y limitaciones del método de infiltración

El método de infiltración por fusión presenta importantes ventajas. En primer lugar, la alta eficiencia del proceso permite combinar cobre y molibdeno en poco tiempo para formar un material compuesto estable. Dado que este método controla con precisión la profundidad de penetración y la distribución del cobre, se optimizan eficazmente las diversas propiedades del material compuesto, especialmente en términos de conductividad térmica, conductividad eléctrica y resistencia a altas temperaturas. Este método es altamente adaptable y permite ajustar el contenido de cobre según las diferentes necesidades industriales para producir láminas de cobre-molibdeno con diferentes propiedades. Además, es adecuado para la producción a gran escala y cumple con los requisitos de las aplicaciones industriales. Es especialmente adecuado para su uso en equipos electrónicos de alta frecuencia, la industria aeroespacial y componentes eléctricos de alta potencia.

Sin embargo, el método de infiltración también presenta algunas limitaciones. En primer lugar, el control de la temperatura durante el proceso de infiltración es crucial. Una temperatura demasiado alta o un tiempo de infiltración demasiado prolongado pueden provocar una penetración excesiva de cobre, e incluso destruir la estructura de la lámina de molibdeno, lo que afecta el rendimiento del material. En segundo lugar, si la profundidad de penetración del cobre no se controla adecuadamente, pueden producirse irregularidades, lo que resulta en un rendimiento inestable del material compuesto. Además, durante el proceso de infiltración, la volatilización y la penetración excesiva del cobre generarán desperdicio de material y aumentarán los costos de producción. Además, el proceso exige un equipo exigente, como un horno de alta temperatura y un sistema de control de temperatura preciso, lo que aumenta la inversión en equipos y dificulta la operación. Por lo tanto, si bien el método de infiltración ofrece una alta eficiencia de producción, tiene requisitos muy estrictos para el control del proceso y del equipo.

#### 4.3 Aplicación de la tecnología de impresión 3D en la preparación de láminas de cobre-molibdeno

La tecnología de impresión 3D ofrece nuevas posibilidades para la preparación de láminas de molibdeno-cobre, especialmente en formas complejas y producción personalizada. A diferencia de la fundición, la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sinterización y otros procesos tradicionales, la impresión 3D utiliza un método de apilamiento capa por capa para fundir con precisión el polvo de molibdeno-cobre y depositarlo capa por capa mediante tecnologías como la fusión por láser o por haz de electrones para crear formas geométricas complejas y estructuras finas. Este proceso permite controlar con precisión la composición y la estructura del material de cada capa según los requisitos de diseño, garantizando así un control preciso del rendimiento de los materiales compuestos de molibdeno-cobre.

En el proceso de impresión 3D, primero se mezclan los polvos de molibdeno y cobre, generalmente un polvo compuesto de molibdeno y cobre. Durante la impresión, el polvo se calienta a la temperatura de fusión mediante un láser o un haz de electrones, y la mezcla fundida de molibdeno y cobre se acumula capa a capa en la plataforma de impresión, formando gradualmente una estructura tridimensional. Gracias a la alta flexibilidad de la tecnología de impresión 3D, se pueden fabricar láminas de molibdeno y cobre con formas complejas y estructuras precisas, lo que resulta especialmente adecuado para la producción en lotes pequeños que requiere un alto grado de personalización.

Una de las principales ventajas de la tecnología de impresión 3D es que permite un control preciso de la distribución de los materiales, mejorando así su rendimiento general. En comparación con los métodos tradicionales, la impresión 3D destaca por el ahorro de materiales, la mejora de la eficiencia de producción y la reducción de residuos, siendo especialmente adecuada para aplicaciones con estructuras complejas y requisitos de alta precisión. Además, la tecnología de impresión 3D también permite ajustar la composición y la estructura del material en tiempo real durante el proceso de producción, lo que flexibiliza el diseño de láminas de cobre-molibdeno.

Sin embargo, la tecnología de impresión 3D también presenta algunas limitaciones. En primer lugar, si bien el proceso de impresión ofrece una alta flexibilidad, la velocidad de impresión es relativamente lenta, especialmente en la producción a gran escala, y puede no ser comparable con los procesos de fabricación tradicionales. En segundo lugar, los equipos utilizados para la impresión 3D son costosos y requieren una alta cualificación operativa. Dado que la impresión de materiales compuestos de molibdeno y cobre requiere altas temperaturas y un entorno controlado con precisión, se requiere un equipo de alto rendimiento. Además, la superficie de la lámina de molibdeno y cobre después de la impresión 3D puede ser rugosa y requiere posprocesamiento, como lijado y pulido, para lograr el acabado superficial ideal y la precisión dimensional.



Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Capítulo 5 Equipos principales de producción de láminas de cobre y molibdeno

### 5.1 Equipos de producción de tecnología de pulvimetalurgia de láminas de cobre y molibdeno

La tecnología de pulvimetalurgia es un método común en la preparación de láminas de molibdeno y cobre. Forma principalmente el material compuesto final de molibdeno y cobre mediante la mezcla de polvo de molibdeno y polvo de cobre, y su posterior prensado y sinterización. Durante todo el proceso de producción, la calidad y la uniformidad del polvo son cruciales para el rendimiento de las láminas de molibdeno y cobre. Por lo tanto, el equipo de preparación de polvo se convierte en un elemento clave del proceso de producción.

#### 5.1.1 Equipo de preparación de polvo

El primer paso de la tecnología de pulvimetalurgia es la preparación del polvo. Los equipos comunes incluyen molinos de bolas y atomizadores, que se utilizan para procesar materias primas de molibdeno y cobre en polvos finos y uniformes. La calidad del polvo afecta directamente el efecto de la preparación posterior de las láminas de molibdeno y cobre, por lo que es fundamental elegir el equipo adecuado.

##### 5.1.1.1 Molino de bolas

En el campo de la tecnología de pulvimetalurgia, los molinos de bolas, como equipos de preparación de polvo de núcleo, ocupan una posición importante en la producción de materiales compuestos de molibdeno y cobre gracias a su rendimiento eficiente y estable. Estos materiales combinan el alto punto de fusión y la baja expansión del molibdeno con la alta conductividad eléctrica y la buena conductividad térmica del cobre. Se utilizan ampliamente en campos de alta gama como el envasado electrónico y la industria aeroespacial, y los molinos de bolas son el equipo clave para lograr el procesamiento fino de sus polvos de materia prima. El principio de funcionamiento del molino de bolas se basa en la dinámica y los efectos mecanoquímicos. Cuando el equipo está en funcionamiento, las bolas de molienda internas (principalmente de acero inoxidable, óxido de circonio o carburo de tungsteno) son impulsadas por el cilindro giratorio de alta velocidad para formar una trayectoria de movimiento compuesto como caída, deslizamiento y rodadura. Cuando las bolas de molienda entran en contacto con los polvos de molibdeno y cobre, la fuerza de impacto generada instantáneamente tritura las partículas gruesas, y la fricción entre las bolas y la pared del cilindro muele aún más el polvo para lograr su refinamiento. En este proceso, el polvo no solo experimenta cambios de tamaño físico, sino que también aumenta su actividad superficial y el grado de distorsión reticular, creando condiciones propicias para el posterior proceso de sinterización.

El control preciso de los parámetros del proceso es fundamental en la aplicación de los molinos de bolas. Al prolongar el tiempo de molienda, el tamaño de las partículas de polvo se puede reducir de las primeras decenas de micras a niveles submicrónicos; sin embargo, un tiempo excesivo puede provocar aglomeración por soldadura en frío. El ajuste de la velocidad de rotación (normalmente controlada entre el 60 % y el 80 % de la velocidad crítica) puede modificar el modo de movimiento de las bolas de molienda. Una velocidad de rotación alta mejora la trituración por impacto, mientras que una velocidad

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de rotación baja se centra en la molienda y el refinamiento. La selección del medio de molienda (como la relación de tamaño y la dureza del material) afecta directamente la eficiencia de trituración: las bolas de acero de gran diámetro favorecen la trituración gruesa, mientras que las bolas de zirconio de pequeño tamaño son adecuadas para la molienda fina. Una empresa ha reducido el tamaño medio de partícula del polvo compuesto de molibdeno y cobre de 15  $\mu\text{m}$  a 1,2  $\mu\text{m}$  optimizando los parámetros de molienda, lo que ha mejorado significativamente la densidad y la resistencia de la unión de la interfaz del material. Las ventajas del equipo contribuyen a su amplia aplicación. Los molinos de bolas industriales de gran escala pueden procesar hasta varias toneladas a la vez y, con el sistema de alimentación automático, pueden satisfacer las necesidades de producción a gran escala; su diseño modular facilita el reemplazo y el mantenimiento de componentes como el cilindro, el revestimiento y las bolas de molienda, y tiene una fuerte estabilidad operativa.

En una línea de producción de material de embalaje electrónico de molibdeno-cobre, tras 3000 horas de funcionamiento continuo del molino de bolas, la fluctuación del tamaño de las partículas de polvo se mantiene dentro de un margen de  $\pm 5\%$ , lo que garantiza la uniformidad de la calidad del producto. Además, el proceso de molienda de bolas es altamente tolerante con la forma de las materias primas. Ya se trate de residuos a granel o polvo de alta pureza, este equipo permite su reciclaje o procesamiento fino, lo que se ajusta al concepto de fabricación ecológica y se ha convertido en un equipo básico indispensable para la industria de la pulvimetalurgia.

#### 5.1.1.2 Equipo de atomización

El equipo de atomización es otra herramienta común para la preparación de polvos, especialmente indicado para la preparación de polvos de aleaciones de cobre y molibdeno. El método de atomización pulveriza metal fundido en pequeñas gotas, que se enfrían y solidifican para formar polvo metálico fino. En comparación con los molinos de bolas, el equipo de atomización puede producir polvos más uniformes, especialmente en cuanto a la distribución del tamaño de partícula y el control morfológico. El polvo atomizado presenta un tamaño de partícula más fino y buena fluidez y dispersabilidad, lo que lo hace muy adecuado para el procesamiento de precisión y la preparación de materiales de alto rendimiento en pulvimetalurgia.

Los equipos de atomización suelen incluir diferentes tipos, como la atomización por gas y la atomización centrífuga. Elegir el método de atomización adecuado puede mejorar eficazmente la calidad del polvo. El equipo de atomización por gas utiliza gas a alta presión para pulverizar metal fundido en gotas de niebla y, tras enfriarse, obtiene un polvo fino. Este método es especialmente adecuado para la producción de polvo de aleación de molibdeno y cobre, lo que mejora la uniformidad y la estabilidad del polvo, contribuyendo así a un mejor rendimiento de las láminas de molibdeno y cobre.

La ventaja de los equipos de atomización es que pueden producir polvo metálico de alta calidad con rapidez y eficiencia, lo cual es ideal para la producción industrial a gran escala. Mediante el ajuste preciso de los parámetros del proceso de atomización, se pueden obtener las propiedades deseadas del polvo para satisfacer las necesidades de producción de diferentes láminas de molibdeno y cobre.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 5.1.2 Equipo de moldeo de polvo

El moldeo de polvo es un paso crucial en el proceso de pulvimetalurgia. Su propósito es prensar el polvo mixto de molibdeno y cobre mediante fuerza externa hasta obtener una pieza bruta con la forma y densidad requeridas, sentando las bases para el posterior proceso de sinterización. Los equipos de moldeo de polvo más utilizados incluyen prensas hidráulicas e isostáticas.

#### 5.1.2.1 Prensa hidráulica (para conformación en frío de tochos de molibdeno y cobre)

Las prensas hidráulicas se utilizan ampliamente en el prensado en frío de la pulvimetalurgia, especialmente en la preparación de láminas de cobre-molibdeno. La prensa hidráulica proporciona una presión uniforme a través del sistema hidráulico para prensar el polvo de cobre-molibdeno mezclado y formar una pieza con la forma deseada. El equipo proporciona alta presión para asegurar un buen contacto entre los polvos, mejorando así la densidad y uniformidad de la pieza. Durante el proceso de prensado en frío, el polvo de cobre-molibdeno se coloca en el molde, la prensa hidráulica aplica presión y el polvo se comprime y forma la pieza. El control de la presión y el tiempo durante el conformado son cruciales y pueden afectar la densidad y la resistencia de la pieza. La ventaja de la prensa hidráulica es que puede manipular grandes cantidades de polvo, garantizando al mismo tiempo una calidad estable de la pieza. Las prensas hidráulicas no se limitan a la producción de láminas de cobre-molibdeno, sino que también se utilizan ampliamente en el moldeo en polvo de otros metales y aleaciones. El equipo es fácil de operar y mantener, apto para producción continua y por lotes, y satisface las necesidades de la producción industrial.

#### 5.1.2.2 Prensa isostática

La prensa isostática es un dispositivo de moldeo que aplica presión estática uniforme a los materiales en polvo y puede aplicar la misma presión en todas las direcciones para garantizar la uniformidad y densidad de la pieza moldeada. La principal ventaja del prensado isostático es que puede aumentar eficazmente la densidad de la pieza y asegurar la distribución uniforme del polvo de cobre y el polvo de molibdeno en el material compuesto de molibdeno y cobre, mejorando así la estabilidad de la calidad durante el proceso de sinterización posterior.

El polvo de molibdeno y cobre se distribuye uniformemente en un molde cerrado. Mediante la aplicación de presión hidráulica o neumática, el polvo se somete a una presión uniforme en todas las direcciones simultáneamente para formar un tocho de alta densidad. A diferencia de las prensas hidráulicas, las prensas isostáticas pueden aplicar una presión más uniforme, lo que hace que las propiedades físicas del tocho formado sean más consistentes en todas las direcciones, lo cual es particularmente adecuado para la producción de láminas de molibdeno y cobre que requieren alta densidad. La ventaja de la prensa isostática es que puede lograr una mayor densidad a menor presión, lo cual es particularmente adecuado para algunos productos que requieren alta uniformidad y precisión. La prensa isostática puede garantizar que el polvo de molibdeno y cobre se integre completamente durante el proceso de conformado, mejorando la estructura del material compuesto y, por lo tanto, la calidad del tocho formado. Aunque el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

costo del equipo es relativamente alto, todavía se usa ampliamente en la producción de productos pulvimetalúrgicos de alta gama debido a su excelente efecto de conformado.

### 5.1.3 Equipo de sinterización

La sinterización es el último paso del proceso de pulvimetalurgia. Combina las partículas metálicas del polvo mediante altas temperaturas para formar un material compuesto de molibdeno y cobre con una estructura densa. El equipo de sinterización desempeña un papel fundamental en todo el proceso de producción y afecta al rendimiento final de la lámina de molibdeno y cobre. Entre los equipos de sinterización más utilizados se incluyen los hornos de sinterización al vacío y los hornos de sinterización atmosféricos. Durante el proceso de sinterización, la palanquilla de molibdeno y cobre formada se coloca en el horno de sinterización y se calienta a una temperatura determinada para permitir la difusión y la unión entre las partículas de polvo de molibdeno y cobre. El control de la temperatura, el tiempo y la atmósfera de sinterización influye de forma crucial en la calidad de la sinterización. En condiciones de altas temperaturas, se produce una reacción física y química en la interfaz entre el molibdeno y el cobre, formando gradualmente una unión fuerte.

Los hornos de sinterización al vacío y los hornos de sinterización atmosférica son los equipos de sinterización más comunes en la actualidad. El horno de sinterización al vacío se utiliza principalmente para la producción de láminas de cobre-molibdeno que requieren sinterización en un ambiente libre de oxígeno, lo que evita las reacciones de oxidación y mejora la calidad de los materiales. El horno de sinterización atmosférica es adecuado para la sinterización en atmósfera controlada. Ajustando la composición de la atmósfera del horno (como nitrógeno, hidrógeno, etc.), se puede controlar eficazmente el proceso de sinterización y el rendimiento del material tras la sinterización. La selección del equipo de sinterización debe determinarse según los requisitos específicos de la lámina de cobre-molibdeno. Por ejemplo, el horno de sinterización al vacío es adecuado para productos con requisitos estrictos de oxidación y atmósfera, mientras que el horno de sinterización atmosférica es adecuado para la producción de láminas de cobre-molibdeno eficientes a gran escala. En la producción industrial, la estabilidad y la eficiencia del equipo de sinterización afectan directamente el rendimiento y el coste de producción del producto. Por lo tanto, la selección razonable de equipos de sinterización es una de las claves para garantizar la calidad de las láminas de cobre y molibdeno.

#### 5.1.3.1 Horno de sinterización al vacío (utilizado para sinterización a alta temperatura, atmósfera controlada para evitar la oxidación)

Los hornos de sinterización al vacío se utilizan ampliamente en la producción de láminas de cobre-molibdeno, especialmente cuando se requiere la sinterización en un entorno libre de oxígeno o con atmósfera controlada. El horno de sinterización al vacío crea un entorno cercano al vacío mediante la extracción del aire del horno, evitando así la reacción de oxidación causada por el contacto del metal con el oxígeno a alta temperatura. En este entorno, el molibdeno y el cobre conservan sus propiedades físicas y químicas originales, evitan la formación de películas de óxido y garantizan la conductividad eléctrica y térmica, así como la resistencia a altas temperaturas de las láminas de cobre-molibdeno. En el horno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de sinterización al vacío, la temperatura, la presión y el tiempo del proceso se controlan con precisión según las propiedades del material y los requisitos del producto. En un entorno de vacío, la temperatura de sinterización suele ser más alta, lo que facilita la difusión y la unión entre las partículas metálicas para lograr la densidad y resistencia ideales. El horno de sinterización al vacío también cuenta con la función de ajuste de la atmósfera. Al ajustar la composición de los gases en el horno (como nitrógeno, hidrógeno, etc.), se puede controlar aún más la reacción durante el proceso de sinterización para mejorar las propiedades mecánicas y la calidad superficial de la lámina de cobre-molibdeno. La ventaja del horno de sinterización al vacío es que previene eficazmente las reacciones de oxidación, mejora la pureza y la calidad de los materiales sinterizados y es especialmente adecuado para la producción de láminas de cobre-molibdeno con estrictos requisitos de oxidación. Es ampliamente utilizado en la industria aeroespacial, en equipos electrónicos de alta gama y en la preparación de materiales en entornos de alta temperatura.

### 5.1.3.2 Horno de sinterización por prensado en caliente

El horno de sinterización por prensado en caliente combina los procesos de prensado en caliente y sinterización, y es adecuado para la sinterización de láminas de cobre-molibdeno que requieren la aplicación simultánea de presión a altas temperaturas. A diferencia de los métodos de sinterización tradicionales, el horno de sinterización por prensado en caliente no solo proporciona calor durante el proceso, sino que también aplica cierta presión para promover la unión estrecha entre las partículas de polvo. Al aplicar presión, el horno de sinterización por prensado en caliente puede mejorar la densidad y las propiedades mecánicas del material, y es especialmente adecuado para la producción de materiales compuestos de molibdeno-cobre de alta densidad y resistencia. El principio de funcionamiento del horno de sinterización por prensado en caliente consiste en colocar la pieza de polvo en un molde, aplicar presión durante el calentamiento y provocar que las partículas de polvo de molibdeno-cobre se deformen y se fusionen a la temperatura de sinterización. Este proceso permite lograr una mayor densidad y una distribución de partículas más uniforme, mejorando así el rendimiento general del material. El horno de sinterización por prensado en caliente es adecuado para productos que requieren una densidad y una resistencia particularmente altas, especialmente en sectores de alta gama como componentes electrónicos de alta potencia y materiales aeroespaciales. La ventaja del horno de sinterización por prensado en caliente reside en que permite alcanzar una mayor densidad en menos tiempo y controlar con precisión el efecto de sinterización mediante el ajuste de la presión y la temperatura para mejorar las propiedades físicas de la lámina de molibdeno-cobre. Sus desventajas son la complejidad del equipo y la elevada inversión, pero para la producción de láminas de molibdeno-cobre de alto rendimiento, el horno de sinterización por prensado en caliente sigue siendo un equipo indispensable.

### 5.1.4 Equipo de posprocesamiento

Los equipos de posprocesamiento desempeñan un papel fundamental en el proceso de producción de láminas de cobre-molibdeno y se utilizan principalmente para mejorar las propiedades mecánicas, la calidad superficial y la precisión de forma de estas láminas. Entre los equipos de posprocesamiento más

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

comunes se incluyen hornos de tratamiento térmico y rectificadoras de precisión, que contribuyen a mejorar el rendimiento final de las láminas de cobre-molibdeno.

#### 5.1.4.1 Horno de tratamiento térmico

Los hornos de tratamiento térmico se utilizan en el proceso de tratamiento térmico de láminas de cobre-molibdeno. Principalmente, se calientan y controlan la velocidad de enfriamiento para modificar la estructura cristalina del material, mejorando así su dureza, resistencia mecánica y resistencia al desgaste. Los hornos de tratamiento térmico suelen emplear sistemas de control de temperatura precisos para recocer, envejecer o templar las láminas de cobre-molibdeno a una temperatura determinada y así lograr las propiedades físicas requeridas. La función de los hornos de tratamiento térmico en la producción de láminas de cobre-molibdeno es particularmente importante, especialmente para mejorar la estructura interna de los materiales y eliminar la tensión interna. El proceso de tratamiento térmico puede modificar eficazmente la estructura organizativa de las láminas de cobre-molibdeno, mejorar sus propiedades mecánicas y aumentar su resistencia a la expansión térmica, la oxidación y la corrosión mediante el ajuste de la temperatura de calentamiento y el tiempo de mantenimiento. Mediante el tratamiento térmico, se pueden mejorar significativamente la densidad, la dureza superficial y la resistencia a la fatiga de las láminas de cobre-molibdeno. Existen muchos tipos de hornos de tratamiento térmico, incluidos hornos de caja, hornos de pozo, hornos rotatorios, etc. Seleccionar un horno de tratamiento térmico adecuado puede garantizar la estabilidad y uniformidad del proceso de tratamiento térmico, mejorando así la calidad y el rendimiento de las láminas de cobre y molibdeno.

#### 5.1.4.2 Rectificadoras de precisión

Las rectificadoras de precisión se utilizan para el acabado superficial de láminas de cobre-molibdeno, principalmente para eliminar irregularidades y mejorar su acabado. Utilizan muelas rotatorias de alta velocidad para rectificar finamente la superficie de las láminas, eliminando las asperezas y permitiendo que estas alcancen la precisión dimensional y la calidad superficial requeridas. Las rectificadoras de precisión desempeñan un papel fundamental en el posprocesamiento de las láminas de cobre-molibdeno, especialmente en aplicaciones con altos requisitos de precisión, donde pueden proporcionar un tratamiento superficial de alta calidad. Las rectificadoras de precisión no solo garantizan una superficie lisa y sin defectos, sino que también aumentan la precisión dimensional y cumplen con los requisitos técnicos. Las rectificadoras de precisión tienen una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el acabado de contornos, el rectificado de superficies y el ajuste de tamaño de las láminas de cobre-molibdeno. Gracias al procesamiento con rectificadoras de precisión, las láminas de cobre-molibdeno pueden alcanzar una mayor precisión y adaptarse a entornos de trabajo y requisitos de aplicación más exigentes.

## 5.2 Equipos de producción de infiltración de láminas de molibdeno y cobre

La infiltración es una tecnología importante en la producción de láminas de molibdeno y cobre. Forma un material compuesto de molibdeno y cobre fundiendo el cobre e infiltrándolo en los poros de la lámina. En este proceso, la selección del equipo de producción adecuado influye decisivamente en el rendimiento

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y la calidad del material final. Los principales equipos de producción del método de infiltración incluyen prensas hidráulicas y hornos de sinterización al vacío, que se utilizan para el moldeo de polvo de molibdeno y la sinterización e infiltración de materiales compuestos de molibdeno y cobre, respectivamente.

### 5.2.1 Prensa hidráulica (para prensar polvo de molibdeno y darle forma)

La prensa hidráulica, en el método de infiltración de láminas de cobre-molibdeno, se utiliza principalmente para prensar el polvo de molibdeno y darle forma en la etapa inicial. El moldeo del polvo de molibdeno es el primer paso del método de infiltración, que determina la calidad de la infiltración de cobre posterior y la lámina de cobre-molibdeno final. La prensa hidráulica utiliza alta presión para prensar el polvo de molibdeno en una pieza bruta con una forma y densidad específicas. El equipo proporciona una presión estable, de modo que el polvo de molibdeno se distribuye uniformemente en el molde, obteniendo así una estructura de molibdeno densa.

La ventaja de las prensas hidráulicas reside en la precisión de su control de presión. La fuerza y el tiempo de prensado se pueden ajustar según sea necesario para garantizar la densidad y uniformidad de la pieza bruta de polvo de molibdeno. El esqueleto de molibdeno formado se envía a la siguiente etapa del proceso de infiltración. Las prensas hidráulicas no solo son adecuadas para la producción de láminas de cobre y molibdeno, sino que también se utilizan ampliamente en la formación de otros polvos metálicos. Ofrecen las ventajas de una operación sencilla, alta estabilidad y alta eficiencia de producción.

### 5.2.2 Horno de sinterización al vacío (para la sinterización del esqueleto de molibdeno y la infiltración de cobre)

El horno de sinterización al vacío desempeña un papel vital en el método de infiltración de láminas de molibdeno-cobre. Se utiliza principalmente para la sinterización del esqueleto de molibdeno y la infiltración de cobre. Una vez formado el esqueleto de molibdeno, las partículas de polvo de molibdeno deben conectarse en una matriz densa de molibdeno mediante un proceso de sinterización al vacío o en una atmósfera específica para garantizar la resistencia mecánica y la estabilidad estructural del material compuesto de molibdeno-cobre. En el horno de sinterización al vacío, el esqueleto de molibdeno formado se coloca primero en el horno y se sinteriza a alta temperatura. El entorno de vacío puede prevenir eficazmente que el material de molibdeno reaccione con el oxígeno a alta temperatura, evitar el proceso de oxidación y mantener la pureza y la estabilidad del molibdeno. Después de la sinterización, la fuente de cobre (generalmente polvo de cobre o polvo de aleación de cobre) se agrega al horno, y el cobre se funde mediante calentamiento en el horno. El líquido de cobre fundido comienza a penetrar en los poros del esqueleto de molibdeno para formar una estructura compuesta de molibdeno y cobre.

La principal ventaja del horno de sinterización al vacío es que permite realizar la sinterización y la infiltración en un entorno de vacío estrictamente controlado, lo que evita eficazmente las reacciones de oxidación y garantiza un excelente rendimiento de la lámina de molibdeno-cobre.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Copper Sheets Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

#### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

#### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3   |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5   |

#### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

#### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 6 Métodos y equipos de prueba de rendimiento de láminas de cobre y molibdeno

### 6.1 Prueba de densidad de láminas de cobre y molibdeno

La densidad es una de las propiedades físicas importantes para medir la calidad de la lámina de cobre-molibdeno, la cual afecta directamente las propiedades mecánicas, la conductividad eléctrica y la conductividad térmica del material. El método de prueba de densidad comúnmente utilizado es el método de drenaje de Arquímedes, un método de medición simple y de alta precisión, ampliamente utilizado en el proceso de producción de láminas de cobre-molibdeno.

#### 6.1.1 Principio y funcionamiento del método de drenaje de Arquímedes

El método de desplazamiento de Arquímedes se basa en el principio de flotabilidad, que establece que cuando un objeto se sumerge completamente en un líquido, desplaza un volumen de líquido igual al volumen del objeto. Midiendo el volumen desplazado por el objeto en el líquido, se puede calcular su densidad. Para realizar esta prueba, primero se necesita una balanza electrónica y suficiente líquido (agua u otro líquido adecuado). Es necesario conocer la densidad del líquido; generalmente se utiliza agua, con una densidad de 1 g/cm<sup>3</sup>. Asegúrese de que el líquido del recipiente sea puro y sin burbujas.

Primero, utilice una balanza electrónica para medir el peso seco de la lámina de cobre-molibdeno (la masa no sumergida en el líquido) y registre el valor de la masa. A continuación, sumerja la lámina de cobre-molibdeno completamente en el líquido, asegurándose de que el objeto no quede suspendido ni presente burbujas. Durante la inmersión, debe asegurarse de que la lámina de cobre-molibdeno esté completamente rodeada por el líquido para evitar errores. Después de sumergir la lámina de cobre-molibdeno, mida la masa flotante que produce en el líquido y regístrela como peso húmedo. El volumen de la lámina de cobre-molibdeno se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{m_1}{\rho_{\text{液体}}}$$

Entre ellos,  $m_1$  es el peso seco de la lámina de cobre-molibdeno y  $\rho_{\text{liquid}}$  es la densidad del líquido. La fórmula de densidad es:

$$\rho_{\text{钼铜片}} = \frac{m_1}{V}$$

Mediante este método, el método de drenaje de Arquímedes permite medir con precisión la densidad de la lámina de cobre-molibdeno y evitar dañar la muestra. Es especialmente adecuado para analizar la densidad de materiales metálicos.

### 6.2 Prueba de porosidad de láminas de cobre-molibdeno

La porosidad es un indicador importante para medir la microestructura interna de la lámina de cobre-molibdeno, que afecta directamente la resistencia mecánica, la conductividad térmica y la conductividad

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eléctrica del material. La prueba de porosidad se realiza mediante la observación y el cálculo con microscopio metalográfico, lo que permite obtener resultados de medición de alta precisión. Este método de prueba observa la microestructura de la superficie de la lámina de cobre-molibdeno, identifica la presencia y distribución de poros y calcula la porosidad.

### 6.2.1 Observación y cálculo con microscopio metalográfico

La microscopía metalográfica es un método de análisis microscópico de alta resolución que permite revelar con precisión la microestructura de las láminas de cobre-molibdeno. Antes de realizar la prueba de porosidad, es necesario preparar las muestras de láminas de cobre-molibdeno. Estas se cortan primero para obtener probetas del tamaño adecuado. Posteriormente, se pulen metalográficamente para asegurar que sus superficies sean lisas y planas, sin defectos ni rayones evidentes, de modo que puedan observarse claramente al microscopio. Durante el proceso de pulido, se utiliza papel de lija de diferentes granos para pulir gradualmente la superficie de la muestra hasta obtener el acabado ideal.

A continuación, se graba la muestra. El objetivo del grabado es utilizar reactivos químicos para tratar la superficie de la muestra, mejorar la visibilidad de los poros y los límites de grano, y facilitar su identificación. Las soluciones de grabado más comunes incluyen agua amoniacal, cloruro férrico, etc. Los reactivos químicos específicos utilizados dependen del material de la muestra y de las características microestructurales que se deben observar.

Tras preparar la muestra, se coloca bajo un microscopio metalográfico para su observación. El microscopio proporciona imágenes de alta resolución que amplían la superficie de la lámina de cobre-molibdeno varios cientos de veces o incluso más, mostrando con precisión la morfología y la distribución de los poros. Ajustando el aumento del microscopio, se observa la microestructura a diferentes niveles, prestando especial atención a la identificación de áreas defectuosas como poros y grietas. Los poros suelen aparecer como áreas negras o transparentes, mostrando propiedades físicas diferentes a las de la matriz metálica.

Para calcular la porosidad, primero es necesario tomar imágenes al microscopio. Estas imágenes se utilizarán para su posterior análisis y procesamiento automatizado mediante un software de análisis de imágenes. Este software puede identificar automáticamente las áreas porosas en la imagen mediante diferentes algoritmos y calcular la relación de áreas de los poros. Normalmente, el software de análisis de imágenes utiliza diferentes colores para distinguir el área porosa del área metálica y calcular la relación de áreas ocupadas por los poros. La porosidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{孔隙率} = \frac{\text{孔隙区域的面积}}{\text{总面积}} \times 100\%$$

Según esta fórmula, se puede obtener la porosidad de la muestra. Para garantizar la precisión de los resultados de la prueba, suele ser necesario realizar múltiples mediciones en diferentes áreas y calcular el valor promedio. La ventaja del microscopio metalográfico es que proporciona imágenes de alta resolución, lo que permite visualizar con claridad los poros y defectos diminutos, lo que permite evaluar

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

con mayor precisión la porosidad de las láminas de cobre-molibdeno. La introducción del software de análisis de imágenes aumenta la eficiencia y la precisión del proceso de prueba de porosidad, y reduce los errores humanos.

### 6.3 Ensayo de tracción de lámina de cobre-molibdeno

El ensayo de tracción es un método importante para evaluar las propiedades mecánicas de las láminas de cobre-molibdeno. Se utiliza principalmente para medir las características de esfuerzo-deformación de los materiales sometidos a tensión, lo que puede reflejar su resistencia, ductilidad y tenacidad. El ensayo de tracción se realiza generalmente con una máquina universal de ensayos de materiales, que puede controlar con precisión la aplicación de cargas y registrar la deformación de las láminas de cobre-molibdeno durante el proceso de estiramiento.

#### 6.3.1 Uso de la máquina universal de ensayos de materiales

La máquina universal de ensayos de materiales es un equipo de ensayos mecánicos de uso común, ampliamente utilizado para ensayos de propiedades mecánicas como tensión, compresión y flexión. En el ensayo de tracción, la muestra de lámina de cobre-molibdeno se coloca entre las dos abrazaderas de la máquina. Esta deforma la muestra durante la aplicación de fuerza, aumentando gradualmente la fuerza de tracción hasta que el material se rompe o alcanza su capacidad máxima de carga. Durante el funcionamiento, primero se sujetan los dos extremos de la lámina de cobre-molibdeno en la abrazadera para asegurar una posición de sujeción fija y evitar errores de ensayo causados por una sujeción inestable. A continuación, la máquina aplica fuerza de tracción a velocidad constante mientras monitorea el alargamiento de la muestra. Durante el proceso de estiramiento, la máquina registra automáticamente los datos de carga y deformación, y obtiene parámetros importantes como la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento del material mediante el análisis de datos. La máquina universal de ensayos de materiales proporciona una base fiable para la evaluación del rendimiento de las láminas de cobre-molibdeno, controlando la velocidad de estiramiento y registrando datos mecánicos precisos. Se utiliza ampliamente en el control de calidad y la investigación y desarrollo de láminas de cobre-molibdeno, lo que ayuda a optimizar el rendimiento de los materiales.

### 6.4 Ensayo de flexión de lámina de cobre-molibdeno

El ensayo de flexión se utiliza para determinar la capacidad de deformación de los materiales bajo carga de flexión y evaluar su resistencia y tenacidad. Generalmente, se emplean los métodos de flexión de tres y cuatro puntos, ampliamente utilizados en las pruebas de rendimiento de láminas de cobre-molibdeno y otros materiales metálicos.

#### 6.4.1 Método de flexión de tres puntos

El método de flexión en tres puntos es uno de los métodos de ensayo de flexión más comunes. Aplica una carga concentrada perpendicular a la superficie de la lámina de cobre-molibdeno en el centro para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

inducir la deformación por flexión al apoyarse en ambos extremos. Durante el ensayo, la lámina de cobre-molibdeno se coloca entre dos puntos de apoyo y se aplica una carga uniforme en el centro. A medida que aumenta la carga, la lámina de cobre-molibdeno se doblará hasta el punto de fluencia o punto de fractura del material.

Este método permite medir intuitivamente la resistencia y la rigidez a la flexión de láminas de cobre-molibdeno. Mediante la observación de la fractura o deformación plástica de la muestra durante el proceso de flexión, se puede evaluar la resistencia a la flexión del material. En la producción de láminas de cobre-molibdeno, el método de flexión en tres puntos es especialmente adecuado para comprobar el rendimiento del material al someterse a cargas concentradas durante su uso real. Las ventajas del método de flexión en tres puntos son la simplicidad del proceso de ensayo, su compatibilidad con muestras de diferentes tamaños y espesores, su fácil manejo y la rápida obtención de datos fiables sobre el rendimiento de flexión.

#### 6.4.2 Método de flexión de cuatro puntos

El método de flexión de cuatro puntos es otro método de ensayo de flexión comúnmente utilizado. La diferencia con el método de flexión de tres puntos radica en la forma en que se aplica la carga. El método de flexión de cuatro puntos genera una tensión de flexión uniforme en la lámina de cobre-molibdeno mediante la aplicación de una carga uniforme entre dos puntos de la muestra y una presión adicional de dos puntos entre los puntos de apoyo. En comparación con el método de flexión de tres puntos, este método produce una distribución más uniforme de la tensión en la muestra, evita la influencia de la tensión concentrada y refleja con mayor precisión la resistencia a la flexión del material.

Durante la prueba, la muestra de lámina de cobre-molibdeno se coloca entre dos puntos de apoyo y la carga aplicada se aplica en el centro de la muestra mediante presión en dos puntos. A medida que aumenta la carga, la deformación por flexión de la lámina de cobre-molibdeno aumenta gradualmente hasta alcanzar el límite elástico o la fractura del material. El método de flexión en cuatro puntos evita eficazmente la tensión local excesiva que se produce en el método de flexión en tres puntos y es adecuado para probar las propiedades de flexión de placas delgadas o muestras de gran tamaño.

La ventaja del método de flexión de cuatro puntos es que puede simular con mayor precisión el comportamiento de los materiales bajo una carga uniforme y es adecuado para escenarios de prueba con altos requisitos en el rendimiento de flexión de láminas de cobre y molibdeno de alto rendimiento.

#### 6.5 Prueba de tenacidad al impacto de láminas de cobre y molibdeno

La prueba de tenacidad al impacto evalúa la capacidad de la lámina de cobre-molibdeno para resistir la propagación de grietas y daños bajo la acción de fuerzas externas repentinas. Esta prueba se realiza generalmente mediante un ensayo de impacto de péndulo. La tenacidad al impacto refleja la fragilidad o tenacidad del material en condiciones extremas, lo cual es particularmente importante para el rendimiento de la lámina de cobre-molibdeno en entornos de alto impacto o tensión.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 6.5.1 Puntos clave para la operación de la prueba de impacto de péndulo

El ensayo de impacto de péndulo es uno de los métodos más comunes para evaluar la tenacidad al impacto de materiales. Durante el ensayo, la muestra se coloca sobre un soporte fijo y se impacta con un péndulo. El péndulo oscila a un ángulo y velocidad determinados, golpeando la muestra y provocándole rotura o deformación plástica. La máquina de ensayo registra la energía absorbida por la muestra tras el impacto, lo que refleja su tenacidad al impacto.

Durante la operación, la muestra de lámina de cobre-molibdeno de tamaño estándar se corta primero en pequeñas muestras para su análisis, asegurándose de que la superficie esté libre de defectos. Posteriormente, la muestra se fija en la mesa de soporte de la máquina de ensayo, y la posición del punto de apoyo debe garantizar que ambos extremos de la muestra estén sometidos a una tensión uniforme. Una vez que el péndulo está listo en la posición inicial, se suelta y golpea la muestra, rompiéndola. Durante el ensayo, la energía cinética del péndulo se transfiere a la muestra mediante el impacto, y se registra la variación de altura del péndulo antes y después del impacto para calcular la energía de impacto absorbida por la muestra.

La prueba de impacto de péndulo permite evaluar eficazmente el rendimiento de las láminas de cobre-molibdeno en condiciones mecánicas extremas, especialmente en caso de grandes cambios de temperatura o cargas rápidas. La tenacidad al impacto del material es un indicador importante para evaluar su fiabilidad.

### 6.6 Prueba de conductividad térmica de láminas de cobre-molibdeno

La conductividad térmica es un parámetro importante para medir la capacidad de conducción térmica de la lámina de cobre-molibdeno, lo que afecta directamente su rendimiento en entornos de alta temperatura. La prueba de conductividad térmica permite evaluar la capacidad de la lámina de cobre-molibdeno para la conducción y la gestión térmica, lo cual es especialmente importante para aplicaciones en electrónica, aeroespacial y otros sectores.

#### 6.6.1 Principio y aplicación del método de destello láser

El método de destello láser es un método sin contacto comúnmente utilizado para medir la conductividad térmica de los materiales. Su principio consiste en irradiar un haz láser sobre la superficie del material, calentar rápidamente una pequeña área de su superficie y, a continuación, calcular la conductividad térmica del material midiendo el cambio de temperatura superficial. En la prueba de destello láser, el pulso láser irradia la superficie de la lámina de cobre-molibdeno, calentándola instantáneamente. Tras absorber la energía del láser, la temperatura aumenta rápidamente y se expande hacia abajo por conducción interna. Mediante una cámara termográfica de alta precisión o un sensor infrarrojo, se analiza el cambio de temperatura superficial del material a lo largo del tiempo. Con base en la curva temporal del cambio de temperatura, se pueden calcular la difusividad térmica y la conductividad térmica del

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

material. La ventaja del método de flash láser es que es un método de prueba sin contacto y no destructivo que permite medir con rapidez y precisión la conductividad térmica de los materiales. Gracias a su rápida velocidad de medición y alta precisión, se utiliza a menudo para evaluar las propiedades térmicas de láminas de cobre-molibdeno y otros materiales de alto rendimiento, especialmente para pruebas de conductividad térmica de láminas delgadas. Este método se utiliza ampliamente en materiales de alta temperatura, componentes electrónicos, materiales aeroespaciales, etc., y es esencial para optimizar el rendimiento de la gestión térmica de las láminas de cobre-molibdeno. En el diseño y la aplicación de láminas de cobre-molibdeno, comprender su conductividad térmica es fundamental para garantizar su estabilidad y eficacia en entornos térmicos complejos.

## 6.7 Prueba del coeficiente de expansión térmica de la lámina de cobre-molibdeno

El coeficiente de expansión térmica es la relación entre el cambio dimensional de un material y la variación de temperatura. Las características de expansión térmica de las láminas de cobre-molibdeno en entornos de alta temperatura son particularmente importantes para sus aplicaciones, especialmente en los campos de la electrónica y la electricidad, que requieren estabilidad térmica. La prueba del coeficiente de expansión térmica se realiza generalmente con un analizador termomecánico (TMA).

### 6.7.1 Uso del analizador termomecánico (TMA)

El Analizador Termomecánico (TMA) es un instrumento de análisis térmico que mide los cambios dimensionales de materiales bajo programas de temperatura controlada en función de la temperatura, el tiempo y la fuerza aplicada. Su principio fundamental consiste en caracterizar las propiedades termomecánicas de los materiales mediante la aplicación de una carga mecánica constante o dinámica a la muestra, controlando el cambio de temperatura y monitorizando su expansión, contracción, ablandamiento u otras deformaciones. El TMA se utiliza ampliamente en ciencia de materiales, ingeniería y fabricación para estudiar la expansión térmica, el punto de ablandamiento y las características de cambio de fase de metales, cerámicas, polímeros y materiales compuestos (como láminas de cobre-molibdeno). Por ejemplo, en ensayos de láminas de cobre-molibdeno, el TMA puede utilizarse para evaluar la correspondencia de su coeficiente de expansión térmica (CTE) con materiales cerámicos o semiconductores, garantizando así la fiabilidad de aplicaciones en encapsulados electrónicos o aeroespaciales. El TMA suele estar equipado con una sonda, un sistema de sujeción de muestras, un horno de calentamiento y un sensor de desplazamiento (como un transformador diferencial variable lineal, LVDT), que registra con precisión los cambios dimensionales de las muestras en modo de compresión, tensión o flexión. Algunos instrumentos TMA avanzados también admiten calorimetría diferencial de barrido simultánea (SDTA), que puede medir simultáneamente efectos térmicos (como la fusión o la cristalización) para proporcionar información más completa sobre el comportamiento del material.

### Procedimiento TMA

El uso de TMA implica una serie de pasos estandarizados para garantizar resultados de prueba precisos y repetibles. Primero, prepare la muestra. Asegúrese de que la muestra tenga una forma regular (como

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

una placa delgada o una muestra cilíndrica de lámina de cobre-molibdeno) para que se ajuste al sistema de sujeción. El tamaño de la muestra generalmente está determinado por el tipo de accesorio, por ejemplo, la altura y el diámetro de la muestra en modo de compresión deben ajustarse al accesorio. A continuación, elija el tipo de sonda adecuado (como sonda de compresión, accesorio de tensión o accesorio de flexión de tres puntos) y configúrelo de acuerdo con los objetivos de la prueba (como la expansión térmica o el punto de ablandamiento). Por ejemplo, al probar el coeficiente de expansión térmica de la lámina de cobre-molibdeno, generalmente se usa una sonda de compresión para medir la expansión lineal. La calibración del instrumento es un paso clave. El sensor de temperatura y el sensor de desplazamiento deben calibrarse para garantizar la precisión de la medición. Después de la calibración, la muestra se coloca en el horno cerca del sensor de temperatura para asegurar un control preciso de la temperatura. Establezca las condiciones de prueba, incluyendo el programa de temperatura (calentamiento, enfriamiento o isotérmico), la fuerza aplicada (constante o dinámica) y la atmósfera (como gas inerte o aire). Durante la prueba, la sonda registra los cambios dimensionales de la muestra mediante el sensor de desplazamiento, y el software del instrumento recopila y analiza los datos en tiempo real. Una vez finalizada la prueba, se limpia el soporte y se verifica el estado de la muestra para evitar contaminación o daños en el equipo. Todo el proceso debe seguir estrictamente los procedimientos operativos, como consultar la norma ASTM E831, para garantizar que los resultados de la prueba cumplan con las especificaciones de la industria.

#### **Aplicación de TMA en pruebas de láminas de cobre y molibdeno**

El TMA se utiliza ampliamente en ensayos de láminas de cobre-molibdeno, especialmente para evaluar sus propiedades termomecánicas y satisfacer las necesidades de las industrias electrónica, aeroespacial y optoelectrónica. Las láminas de cobre-molibdeno (como Mo85Cu15, Mo70Cu30) se emplean a menudo en sustratos de disipación de calor y componentes de gestión térmica debido a su alta conductividad térmica y baja expansión térmica .

molibdeno se someten a compresión para verificar su compatibilidad térmica con materiales cerámicos (como el nitruro de aluminio) y prevenir fallos por tensión térmica en encapsulados electrónicos. Por ejemplo, en equipos de comunicación 5G, las pruebas TMA garantizan que el coeficiente de expansión térmica de Mo60Cu40 sea consistente con el del material del sustrato para optimizar la estabilidad de la transmisión de la señal. Además, las pruebas TMA permiten detectar el punto de reblandecimiento de las láminas de cobre molibdeno y evaluar su estabilidad en entornos de alta temperatura (como los motores a reacción de la industria aeroespacial).

Las pruebas en tracción permiten caracterizar el comportamiento mecánico de las láminas de cobre molibdeno, como la resistencia a la tracción y la ductilidad, y son adecuadas para la verificación del diseño de láminas de cobre molibdeno de tipo aeroespacial. Las pruebas TMA también permiten analizar la resistencia a la flexión de las láminas de cobre molibdeno mediante ensayos de flexión de tres puntos para garantizar su fiabilidad en entornos de tensión complejos. La función SDTA síncrona mejora aún más las capacidades de prueba. Por ejemplo, al probar Mo50Cu50, se pueden detectar simultáneamente

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

la expansión térmica y los cambios de fase potenciales o las reacciones químicas para obtener información completa sobre las propiedades del material.

### Precauciones para el uso de TMA

Al utilizar TMA, es necesario prestar atención a varios aspectos para garantizar la fiabilidad de los resultados de las pruebas y la seguridad del instrumento. En primer lugar, se debe controlar estrictamente la forma y el tamaño de la muestra para evitar que las muestras irregulares provoquen un mal contacto con el soporte o errores de medición. La elección de la atmósfera ambiental también es crucial. Por ejemplo, al probar láminas de cobre-molibdeno, se deben utilizar gases inertes (como nitrógeno o argón) para evitar la oxidación de la fase de cobre a altas temperaturas. El ajuste del programa de temperatura debe seleccionarse razonablemente según las propiedades del material. Por ejemplo, el rango de temperatura de prueba de las láminas de cobre-molibdeno suele cubrir su entorno de aplicación real (por ejemplo, de -50 °C a 800 °C) para evitar superar el límite de tolerancia del material. El control de la fuerza aplicada debe ser preciso. Una fuerza excesiva puede causar deformación o daños en la muestra, mientras que una fuerza demasiado pequeña puede no detectar con precisión los cambios dimensionales. Además, la calibración regular de los instrumentos (como los sensores de temperatura y desplazamiento) es fundamental para garantizar la precisión de los datos. Se recomienda consultar las normas ASTM E2113 y E1363 para la calibración. Los operadores deben estar familiarizados con el software del instrumento y los métodos de análisis de datos para interpretar correctamente los resultados de la prueba, como distinguir los cambios dimensionales causados por la expansión térmica y el ablandamiento. Finalmente, los residuos de la muestra deben limpiarse adecuadamente después de la prueba para evitar la contaminación del dispositivo o del cuerpo del horno y garantizar así el funcionamiento estable del instrumento a largo plazo.

### 6.8 Prueba de resistividad de lámina de cobre-molibdeno

La resistividad es un parámetro clave para medir la conductividad de los materiales. En el caso de materiales metálicos como las láminas de cobre y molibdeno, su resistividad afecta directamente sus aplicaciones en equipos de alta frecuencia y transmisión de energía. La prueba de resistividad se realiza a menudo mediante el método de cuatro sondas.

#### 6.8.1 Proceso de medición de cuatro sondas

El método de cuatro sondas calcula con precisión la resistividad de un material aplicando una corriente sobre su superficie y midiendo la caída de tensión. Durante la prueba, se colocan cuatro sondas uniformemente sobre la superficie de la muestra: las dos exteriores aplican una corriente constante y las dos interiores miden la caída de tensión. De esta forma, la relación entre la corriente y la caída de tensión permite calcular la resistencia del material. La superficie de la muestra debe ser plana y limpia, ya que la suciedad o la capa de óxido pueden afectar los resultados de la medición. Durante la prueba, las cuatro sondas hacen pasar la corriente y miden la tensión al entrar en contacto con la superficie de la muestra. El equipo registra los cambios de tensión y corriente para calcular la resistividad. Este método elimina

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la influencia de la resistencia de contacto y garantiza la precisión de la medición. Es adecuado para pruebas de resistividad de materiales altamente conductores, como láminas de cobre y molibdeno. El método de cuatro sondas es muy adecuado para medir la resistividad de materiales de película delgada. Proporciona datos de resistividad de alta precisión, cruciales para la aplicación de láminas de cobre-molibdeno en electrónica, semiconductores y otros campos.

## 6.9 Prueba de resistencia de contacto de láminas de cobre-molibdeno

La resistencia de contacto se refiere a la resistencia generada por la superficie de contacto de dos materiales debido a la rugosidad superficial, la oxidación u otros factores. En la aplicación de láminas de cobre-molibdeno, la resistencia de contacto afecta la eficiencia de conducción de la corriente, especialmente en componentes electrónicos de alta frecuencia. Su magnitud afecta directamente el rendimiento y la estabilidad del equipo.

### 6.9.1 Especificaciones de funcionamiento del método de caída de tensión de CC

El método de caída de tensión de CC es un método de prueba de resistencia de contacto comúnmente utilizado. La resistencia de contacto se calcula aplicando una corriente continua y midiendo la caída de tensión en la superficie de contacto. Durante la prueba, la muestra de lámina de cobre-molibdeno se pone en contacto directo con otro electrodo. Se verifica que la superficie del punto de contacto esté libre de suciedad y óxidos, y que el tratamiento superficial alcance la planitud requerida. Durante la prueba, se aplica corriente a la superficie de contacto mediante una fuente de alimentación externa y se mide la caída de tensión en el punto de contacto. La resistencia de contacto se puede obtener a partir de la relación entre la corriente y la tensión. Este método permite medir eficazmente las características de resistencia de las láminas de cobre-molibdeno en contacto con otros metales y es especialmente adecuado para el control de calidad de conectores eléctricos de alta frecuencia. Las ventajas del método de caída de tensión de CC son su fácil manejo, la fiabilidad de los datos y la ausencia de equipos especiales. Es muy adecuado para el control de calidad diario y la detección de la resistencia de contacto en el proceso de producción. En el caso de las láminas de cobre-molibdeno, mantener una baja resistencia de contacto es fundamental para garantizar su buen rendimiento en aplicaciones eléctricas, por lo que realizar pruebas periódicas de la resistencia de contacto es fundamental para garantizar la calidad y la estabilidad del material.



Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 7 Campos de aplicación de las láminas de cobre y molibdeno

La lámina de cobre-molibdeno se ha utilizado ampliamente en diversos campos de la alta tecnología gracias a sus ventajas únicas en conductividad térmica, conductividad eléctrica, resistencia a altas temperaturas, etc. Especialmente en la industria electrónica, la lámina de cobre-molibdeno se ha convertido en un material indispensable en numerosos dispositivos de alta potencia y alta frecuencia gracias a su excelente rendimiento. Las tres principales aplicaciones de la lámina de cobre-molibdeno en la industria electrónica son: materiales de embalaje, sustratos para circuitos integrados y componentes de disipación de calor en dispositivos de microondas.

### 7.1.1 Materiales de embalaje

En la tecnología de empaquetado electrónico, la aplicación de láminas de cobre-molibdeno es crucial. Los componentes electrónicos generan mucho calor durante su funcionamiento, especialmente los semiconductores de alta potencia y los dispositivos microelectrónicos. Si el calor no se disipa eficazmente, puede provocar sobrecalentamiento, daños o fallos en los componentes electrónicos. Por lo tanto, las soluciones eficientes de disipación de calor son esenciales para el empaquetado electrónico. La lámina de cobre-molibdeno se ha convertido en una opción ideal para materiales de empaquetado electrónico gracias a sus propiedades físicas únicas.

molibdeno se caracteriza por su alta conductividad térmica y estabilidad térmica. Al ser un metal con un punto de fusión elevado (aproximadamente 3262 °C), el molibdeno mantiene la estabilidad estructural en entornos de alta temperatura y evita la deformación o falla de los materiales debido a las altas temperaturas. El cobre es un buen conductor eléctrico y térmico, capaz de conducir eficazmente el calor generado por los componentes electrónicos desde el encapsulado al exterior. La combinación de estos dos materiales, la lámina de cobre-molibdeno ofrece una excelente disipación térmica y una buena resistencia mecánica, lo que la convierte en el material predilecto para una disipación térmica eficiente en encapsulados electrónicos.

En el encapsulado de semiconductores, las láminas de cobre-molibdeno no solo proporcionan una disipación térmica eficaz, sino que también resisten cambios de temperatura durante operaciones prolongadas de alta potencia. Para dispositivos de alta frecuencia y alta potencia, la estabilidad de las láminas de cobre-molibdeno es especialmente importante. Pueden soportar fluctuaciones drásticas de temperatura sin fatiga térmica, lo que garantiza la fiabilidad a largo plazo de los equipos electrónicos. Además, el coeficiente de expansión térmica de las láminas de cobre-molibdeno es relativamente uniforme, lo cual es crucial para evitar la tensión causada por las diferencias de expansión térmica en el encapsulado y puede prevenir eficazmente fallos del encapsulado causados por la tensión térmica.

molibdeno también ofrece una alta resistencia a la corrosión. Muchos circuitos de alta frecuencia y dispositivos electrónicos de potencia deben funcionar en entornos hostiles, como altas temperaturas, humedad y alto voltaje, lo que impone estrictos requisitos de rendimiento a los materiales de embalaje.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La lámina de cobre-molibdeno puede mantener un rendimiento estable en estas condiciones extremas y prolongar la vida útil de los equipos electrónicos.

En el encapsulado de circuitos integrados, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan cada vez más como sustrato. Estas láminas pueden soportar la carga térmica de señales de alta potencia, evitando la degradación del rendimiento de los circuitos integrados por sobrecalentamiento. Con la mejora continua de la integración de dispositivos electrónicos, los requisitos de disipación térmica también son cada vez más exigentes. La aparición de las láminas de cobre-molibdeno resuelve eficazmente este problema y se convierte en un material clave indispensable en el encapsulado de alta densidad de potencia.

### 7.1.2 Sustratos de circuitos integrados

molibdeno en el sustrato de circuitos integrados (CI) también es muy importante. Los circuitos integrados se utilizan ampliamente en computadoras, equipos de comunicación, electrónica de consumo y otros campos. Estos dispositivos suelen funcionar a alta potencia y alta frecuencia, por lo que el problema de la disipación térmica de los circuitos integrados es particularmente crítico. Como material de sustrato para CI, la lámina de cobre-molibdeno puede satisfacer los requisitos de disipación térmica de circuitos de alta potencia y alta frecuencia y mantener un bajo coeficiente de expansión térmica, mejorando así la fiabilidad y la estabilidad a largo plazo de los CI. La función principal del sustrato de circuito integrado es soportar el chip y proporcionar las conexiones eléctricas necesarias. A medida que las funciones de los circuitos integrados se vuelven más complejas y la integración aumenta, su carga térmica también aumenta. Los materiales tradicionales para sustratos de CI a menudo no pueden disipar el calor eficazmente, lo que provoca una degradación del rendimiento o incluso fallos en los circuitos integrados al trabajar a altas temperaturas. La lámina de cobre-molibdeno tiene una conductividad térmica extremadamente alta y puede conducir eficazmente el calor generado por el chip para evitar que se sobrecaliente y se dañe.

La lámina de cobre-molibdeno ofrece múltiples ventajas como sustrato para circuitos integrados. En primer lugar, su conductividad térmica es extremadamente alta, lo que permite transferir rápidamente el calor del chip al exterior, evitando daños por sobrecalentamiento. En segundo lugar, su coeficiente de expansión térmica es relativamente cercano al de los materiales para circuitos integrados ( como los chips de silicio ), lo que reduce la tensión térmica causada por los cambios de temperatura, mejorando así la fiabilidad y la vida útil del circuito integrado. Finalmente, la lámina de cobre-molibdeno posee una alta resistencia a la oxidación y a la corrosión, y puede mantener un buen rendimiento en entornos de trabajo hostiles, prolongando así la vida útil de los equipos electrónicos.

Los requisitos de materiales para los sustratos de circuitos integrados están aumentando gradualmente. Para dispositivos de alta frecuencia y alta potencia, las láminas de cobre-molibdeno se han convertido en la opción ideal. Especialmente en áreas que requieren una disipación térmica eficiente, transmisión de señales de alta frecuencia y alta potencia de salida, las ventajas de las láminas de cobre-molibdeno son cada vez más significativas. En campos de alta tecnología como los sistemas de radar, las comunicaciones por satélite y las comunicaciones por fibra óptica, las láminas de cobre-molibdeno, como sustratos para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

circuitos integrados, pueden mejorar eficazmente la eficiencia y la estabilidad operativas del sistema, y garantizar el funcionamiento a largo plazo de los equipos electrónicos en entornos complejos.

### 7.1.3 Componentes de disipación de calor en dispositivos de microondas

Los dispositivos de microondas son componentes importantes en equipos de comunicaciones, radar y teledetección que se utilizan en la banda de frecuencia de microondas (generalmente en el rango de 300 MHz a 300 GHz), y se emplean ampliamente en comunicaciones por satélite, radiocomunicaciones, diagnóstico médico y radares militares. Estos dispositivos suelen soportar señales de alta potencia y entornos de trabajo de alta frecuencia, por lo que los requisitos del sistema de disipación de calor son muy altos. Las láminas de cobre-molibdeno se han convertido en importantes componentes de disipación de calor en dispositivos de microondas debido a su excelente conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas.

En los dispositivos de microondas, la disipación de calor de las láminas de cobre-molibdeno es particularmente crítica. Los dispositivos de microondas suelen operar a altas frecuencias y generan mucho calor durante la transmisión de señales. Si el calor no se disipa de forma oportuna y eficaz, el dispositivo funcionará mal o su rendimiento se verá afectado por sobrecalentamiento. Como componente de disipación de calor, la lámina de cobre-molibdeno puede absorber rápidamente el calor generado por el dispositivo y conducirlo al exterior gracias a su alta conductividad térmica, reduciendo así eficazmente la temperatura de funcionamiento del dispositivo y garantizando su estabilidad y fiabilidad.

La lámina de cobre-molibdeno en dispositivos de microondas no se limita a la disipación de calor, sino que también se utiliza como material de soporte estructural. Su alta resistencia y rigidez le permiten desempeñar un papel de soporte en la estructura de los dispositivos de microondas y soportar altas temperaturas y tensiones mecánicas en su interior. Al mismo tiempo, su coeficiente de expansión térmica es similar al de otros materiales en dispositivos de microondas, lo que evita la acumulación de tensiones causada por las diferencias de expansión térmica y mejora la estabilidad del dispositivo.

En los sistemas de radar, la disipación térmica de las láminas de cobre-molibdeno también es crucial. Los sistemas de radar deben operar a alta potencia durante largos periodos de tiempo, y las ondas de radar generan mucho calor durante la transmisión y la recepción. Como componente de disipación térmica, las láminas de cobre-molibdeno pueden garantizar el funcionamiento estable a largo plazo de los equipos de radar en condiciones de alta temperatura. En los sistemas de comunicación por satélite, la excelente disipación térmica de las láminas de cobre-molibdeno garantiza el funcionamiento fiable de los equipos satelitales en entornos extremos y prolonga la vida útil de los satélites.

### 7.1.4 Componentes de soporte estructural en dispositivos de microondas

Los dispositivos de microondas suelen funcionar en entornos de alta frecuencia y alta potencia, por lo que necesitan una buena disipación de calor, estabilidad estructural y resistencia a la expansión térmica. Las láminas de cobre-molibdeno desempeñan un papel importante como componentes de soporte

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

estructural en los dispositivos de microondas. Los dispositivos de microondas, como amplificadores de microondas, equipos de radar, módulos de comunicación, etc., generarán mucho calor durante su funcionamiento. Si no se puede disipar a tiempo, provocará un sobrecalentamiento del equipo, lo que afectará su estabilidad y vida útil. La alta conductividad térmica de las láminas de cobre-molibdeno le permite absorber y conducir eficazmente el calor en los dispositivos de microondas, evitando daños en los circuitos o componentes debido a temperaturas excesivas. Además, la alta resistencia a la temperatura de las láminas de cobre-molibdeno le permite funcionar de forma estable en entornos de alta potencia y soportar el calor y la tensión mecánica generados durante el funcionamiento de los dispositivos de microondas. En los dispositivos de microondas, las láminas de cobre-molibdeno no solo contribuyen a la disipación del calor, sino que también sirven de soporte y fijación. Su alta rigidez y resistencia le permiten soportar los componentes internos del dispositivo y mantener la estabilidad estructural. Dado que el coeficiente de expansión térmica de las láminas de cobre-molibdeno es relativamente cercano al de otros materiales comunes para microondas (como la cerámica, el silicio, etc.), evita eficazmente la tensión del material causada por las diferencias de expansión térmica, mejorando así la fiabilidad de los dispositivos.

Además, la propiedad antioxidante de la lámina de cobre-molibdeno también le confiere una ventaja en el uso a largo plazo de dispositivos de microondas. Estos dispositivos suelen estar expuestos a entornos de trabajo hostiles, como altas temperaturas, alta humedad y radiación electromagnética. La lámina de cobre-molibdeno puede mantener un rendimiento estable en estas condiciones extremas y prolongar la vida útil de los dispositivos de microondas.

### 7.1.5 Materiales del disipador de calor

Los disipadores de calor son componentes clave para la disipación de calor en dispositivos electrónicos, especialmente en dispositivos electrónicos de alta potencia, láseres y equipos de radiofrecuencia. El diseño y la selección de materiales de los disipadores de calor son cruciales para el funcionamiento estable a largo plazo del equipo. Las láminas de cobre-molibdeno, como materiales disipadores de calor, se han utilizado ampliamente en el campo de la disipación de calor debido a su excelente conductividad térmica y propiedades de expansión térmica.

En dispositivos electrónicos, especialmente en dispositivos de alta potencia como semiconductores de potencia y diodos láser, las láminas de cobre-molibdeno pueden conducir eficientemente el calor generado por los componentes desde el interior al sistema de refrigeración externo, evitando así fallos o la degradación del rendimiento por sobrecalentamiento. Su alta conductividad térmica les confiere una ventaja significativa en aplicaciones miniaturizadas de alta densidad de potencia. Disipan rápidamente el calor y garantizan un funcionamiento estable del dispositivo a altas temperaturas.

Además, el coeficiente de expansión térmica de la lámina de cobre-molibdeno es relativamente uniforme, similar al de muchos materiales para dispositivos electrónicos, lo que reduce la tensión causada por las diferencias de expansión térmica. Especialmente en aplicaciones que requieren calentamiento y enfriamiento frecuentes, la lámina de cobre-molibdeno, como material disipador de calor, puede resistir

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eficazmente estos cambios de temperatura y evitar la deformación o los daños causados por la tensión térmica. molibdeno también la convierte en un material disipador de calor ideal, especialmente en entornos extremos, como alta humedad o gases corrosivos, donde puede funcionar de forma estable durante mucho tiempo sin verse afectada por el entorno externo. Desempeña un papel fundamental como disipador de calor en aplicaciones de alta gama como láseres, módulos de radiofrecuencia, láseres semiconductores y equipos de comunicación por satélite.

#### 7.1.6 Módulo RF

Los módulos de radiofrecuencia (RF) se utilizan ampliamente en comunicaciones inalámbricas, radares, comunicaciones satelitales y otros campos. Operan en entornos de alta frecuencia y alta potencia, por lo que los requisitos de los materiales son muy altos. Los materiales de los módulos de RF deben tener no solo una excelente conductividad eléctrica, sino también una buena capacidad de gestión térmica. Las láminas de cobre-molibdeno, como material del núcleo de los módulos de RF, se utilizan ampliamente en este campo debido a sus propiedades únicas.

El calor generado por el módulo de RF durante su funcionamiento debe disiparse de forma rápida y eficaz; de lo contrario, afectará la estabilidad del dispositivo y la calidad de la señal. La alta conductividad térmica de la lámina de cobre-molibdeno permite que el calor generado por el módulo de RF se conduzca rápidamente al sistema de disipación de calor externo, manteniendo así la temperatura del dispositivo dentro de un rango seguro y evitando la degradación del rendimiento o fallos por sobrecalentamiento. En comparación con los materiales tradicionales de cobre o aluminio, la conductividad térmica de la lámina de cobre-molibdeno es significativamente mejor y puede transportar una mayor densidad de potencia en un volumen pequeño, adaptándose a las necesidades de los módulos de RF de alta potencia. La conexión eléctrica y la conducción de la señal en el módulo de RF exigen altos requisitos de conductividad del material. La lámina de cobre-molibdeno combina la alta estabilidad térmica del molibdeno con la excelente conductividad del cobre, logrando una conexión eléctrica eficiente en el módulo de RF, garantizando una transmisión estable y un control preciso de la señal. Debido a que la lámina de cobre y molibdeno tiene baja pérdida en la transmisión de señales de alta frecuencia, puede reducir la atenuación de la señal y garantizar el funcionamiento eficiente del módulo de RF. Además, la resistencia a altas temperaturas de la lámina de cobre-molibdeno le permite operar de forma estable en entornos de alta potencia y alta temperatura. Los módulos de RF suelen necesitar un funcionamiento estable durante un largo periodo de tiempo. La lámina de cobre-molibdeno mantiene un excelente rendimiento en estos entornos extremos y no presenta fallas debido a la exposición prolongada a altas temperaturas. Esto la convierte en un material clave indispensable en los módulos de RF de alta gama.

#### 7.1.7 Sustrato de disipación de calor del LED

Con el continuo avance de la tecnología LED, las fuentes de luz LED se han utilizado ampliamente en iluminación, pantallas, procesamiento de señales y otros campos. Si bien las fuentes de luz LED ofrecen ventajas como alta eficiencia energética y larga vida útil, también generan mucho calor al funcionar a alta potencia. Si el calor no se disipa de manera oportuna y eficaz, el rendimiento del LED se deteriora y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

su vida útil se acorta. Por lo tanto, la disipación de calor se ha convertido en un desafío importante en la aplicación de las fuentes de luz LED.

Las láminas de cobre-molibdeno son ideales para resolver este problema gracias a su alta conductividad térmica, buena resistencia mecánica y resistencia a altas temperaturas. Estas láminas combinan el alto punto de fusión del molibdeno (aproximadamente 3262 °C) con la excelente conductividad térmica del cobre. Cuando la fuente de luz LED está en funcionamiento, transfiere rápida y eficazmente el calor generado por el chip de la fuente de luz al disipador de calor o al entorno externo, evitando así los efectos adversos de la acumulación de calor.

En comparación con los sustratos de aluminio tradicionales u otros materiales de disipación de calor, las láminas de cobre-molibdeno presentan una mayor conductividad térmica y pueden soportar una mayor densidad de potencia. Esto les permite mantener temperaturas más bajas en los sistemas de disipación de calor de fuentes de luz LED de alta potencia, como lámparas LED de alta potencia, pantallas de alto brillo y diodos láser, mejorando así la eficiencia y la vida útil de las fuentes de luz LED. Además, el coeficiente de expansión térmica de la lámina de cobre-molibdeno es relativamente uniforme, similar al de los chips LED y otros materiales de embalaje. Esto reduce la tensión causada por las diferencias de expansión térmica, mejorando así la estabilidad y la fiabilidad a largo plazo de las fuentes de luz LED. En el embalaje de módulos LED y circuitos integrados, las láminas de cobre-molibdeno no solo sirven como sustratos de disipación térmica, sino que también garantizan una disipación térmica eficiente y a largo plazo, evitando la degradación del rendimiento de la fuente de luz LED por sobrecalentamiento.

## 7.2 Aplicación de la lámina de cobre-molibdeno en el campo aeroespacial

El sector aeroespacial impone requisitos extremadamente estrictos a los materiales, especialmente en entornos de alta temperatura, alta presión, alta radiación y otros entornos. Estos materiales deben poseer excelente estabilidad térmica, resistencia, conductividad térmica y resistencia a la radiación. Las láminas de cobre-molibdeno se utilizan ampliamente en el sector aeroespacial debido a su excelente rendimiento, especialmente en componentes metálicos para aeronaves, materiales de protección térmica para naves espaciales y componentes de misiles y naves espaciales, demostrando así su papel insustituible.

### 7.2.1 Componentes metálicos de aeronaves

Las láminas de cobre-molibdeno desempeñan un papel importante como componentes metálicos en la industria aeroespacial, especialmente en las partes estructurales de las aeronaves. Durante el vuelo, las aeronaves experimentan alta velocidad, fuertes presiones de aire y complejos cambios de temperatura, lo que exige que los componentes metálicos de la aeronave no solo tengan alta resistencia, sino también buena resistencia a la expansión térmica y a la disipación de calor. Entre estos componentes metálicos, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan para componentes en estructuras aeronáuticas, como componentes de motores, componentes de formas aerodinámicas y otros lugares que necesitan soportar altas temperaturas y tensiones. El alto punto de fusión del molibdeno y la conductividad térmica del cobre permiten que las láminas de cobre-molibdeno mantengan una excelente estabilidad estructural en

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

entornos de alta temperatura y eviten los efectos de la expansión térmica. Al mismo tiempo, las láminas de cobre-molibdeno pueden conducir eficazmente el calor generado por el motor y otros componentes, prevenir el sobrecalentamiento local y garantizar el funcionamiento estable de la aeronave en condiciones extremas. Las láminas de cobre-molibdeno en componentes metálicos de aeronaves también se reflejan en su resistencia a la corrosión. Las aeronaves están expuestas a diversas condiciones climáticas, especialmente en entornos con alta humedad y contenido salino. La resistencia a la corrosión de las láminas de cobre-molibdeno les permite funcionar durante mucho tiempo en estos entornos sin sufrir fallos.

### 7.2.2 Materiales de protección térmica para naves espaciales

Las naves espaciales experimentarán cambios extremos de temperatura durante el lanzamiento, el vuelo y el reingreso a la atmósfera. Especialmente al entrar en la atmósfera, las naves espaciales estarán sujetas a temperaturas muy altas, que incluso alcanzarán varios miles de grados Celsius. Por lo tanto, las naves espaciales necesitan contar con un sistema de protección térmica robusto para garantizar la operación segura de la nave y su equipo interno. La aplicación de láminas de cobre-molibdeno en el sistema de protección térmica de las naves espaciales se refleja principalmente en su uso como material de protección térmica. El alto punto de fusión del molibdeno le permite permanecer estable en entornos de alta temperatura, mientras que la conductividad térmica del cobre le permite transferir rápidamente el calor desde la superficie de la nave espacial a otras partes, evitando eficazmente el sobrecalentamiento local. Esto permite que las láminas de cobre-molibdeno prevengan eficazmente los daños causados por las altas temperaturas en el sistema de protección térmica de las naves espaciales. Durante el reingreso de las naves espaciales, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan a menudo en capas de aislamiento térmico, escudos térmicos y sistemas de disipación de calor. La alta conductividad térmica de las láminas de cobre y molibdeno garantiza que el calor pueda transferirse rápidamente a otros componentes de disipación de calor, mientras que su fuerte resistencia a la expansión térmica reduce eficazmente la tensión térmica causada por diferencias excesivas de temperatura, lo que garantiza que la nave espacial pueda mantener la integridad estructural durante el reingreso a alta temperatura.

Además, la resistencia a la corrosión de las láminas de cobre y molibdeno también es muy adecuada para su uso en entornos espaciales, especialmente en condiciones de alta radiación y temperaturas extremas, las láminas de cobre y molibdeno pueden funcionar de manera estable durante mucho tiempo.

### 7.2.3 Componentes de misiles y naves espaciales

Las láminas de cobre-molibdeno también se utilizan en diversos componentes de misiles y naves espaciales. En los sistemas de misiles, se suelen usar en el sistema de disipación de calor de los motores de misiles y otros componentes de alta temperatura. Los motores de misiles generan mucho calor durante el vuelo a alta velocidad. Si este calor no se disipa a tiempo, puede reducir el rendimiento del motor o incluso provocar fallos. Las láminas de cobre-molibdeno pueden disipar el calor de forma rápida y eficaz en estos componentes para garantizar el funcionamiento eficiente del misil. Las láminas de cobre-molibdeno también se utilizan ampliamente en los sistemas eléctricos de naves espaciales. En los equipos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electrónicos de las naves espaciales, estas láminas actúan como componentes conductores y disipadores de calor, lo que ayuda a conducir eficazmente la corriente y a mantener estable la temperatura del equipo, evitando fallos por sobrecalentamiento. Además, su estabilidad y alta resistencia también las hacen ideales para los componentes estructurales de las naves espaciales, especialmente en componentes clave sometidos a grandes tensiones mecánicas y fuertes cambios de temperatura. Las láminas de cobre-molibdeno proporcionan mayor resistencia y durabilidad.

#### 7.2.4 Radiador del sistema de radar

Los sistemas de radar, especialmente los de los sectores militar y aeronáutico, requieren un funcionamiento estable en condiciones de alta potencia y alta frecuencia durante un largo periodo de tiempo. En este entorno, la disipación de calor de los sistemas de radar se convierte en un aspecto clave del diseño. El uso de láminas de cobre-molibdeno en los radiadores de los sistemas de radar aprovecha al máximo su alta conductividad térmica y estabilidad térmica, convirtiéndose en un componente esencial de los sistemas de radar de alto rendimiento. Las unidades de transmisión y recepción del sistema de radar generan mucho calor, y una disipación térmica eficiente es clave para garantizar su funcionamiento fiable. Las láminas de cobre-molibdeno se utilizan ampliamente en el diseño de sistemas de radar para la disipación de calor gracias a su alta conductividad térmica (superior a la de la mayoría de los metales tradicionales). Los materiales compuestos de cobre-molibdeno transfieren rápidamente el calor de los componentes que generan calor (como transmisores, receptores, etc.) al sistema externo de disipación, evitando así que el sobrecalentamiento provoque una degradación del rendimiento o fallos en el sistema.

La lámina de cobre-molibdeno le permite mantener una buena estabilidad térmica en entornos de alta temperatura, así como su integridad estructural y estabilidad bajo fluctuaciones extremas de temperatura y fuertes choques térmicos. Además, su coeficiente de expansión térmica es similar al de otros materiales utilizados en sistemas de radar (como cerámica, chips de silicio, etc.), lo que reduce eficazmente la tensión causada por la diferencia de expansión térmica y evita la deformación mecánica o los fallos estructurales causados por la diferencia de temperatura. En sistemas de radar militares, la aplicación de la lámina de cobre-molibdeno como disipador de calor, especialmente en radares de alta potencia y alta frecuencia, garantiza el funcionamiento eficiente y estable a largo plazo de los equipos de radar y evita daños o la degradación del rendimiento causados por el sobrecalentamiento. Esto hace que la lámina de cobre-molibdeno desempeñe un papel importante en la tecnología de radar moderna.

#### 7.2.5 Empaquetado electrónico militar

El embalaje electrónico militar presenta requisitos muy exigentes en cuanto a materiales, especialmente para equipos que operan en entornos hostiles, como misiles, satélites y drones. Este tipo de embalaje debe cumplir con diversos requisitos, como resistencia a altas temperaturas, resistencia a impactos, resistencia a la radiación, impermeabilidad y resistencia al polvo. Como nuevo tipo de material de embalaje, la lámina de cobre-molibdeno se utiliza ampliamente en el embalaje electrónico militar debido a sus excelentes propiedades físicas. Una de las principales ventajas de la lámina de cobre-molibdeno en el embalaje electrónico militar es su alta conductividad térmica. Los componentes electrónicos generan

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mucho calor durante su funcionamiento, especialmente en entornos de trabajo de alta potencia y alta frecuencia, donde la gestión térmica es fundamental. La lámina de cobre-molibdeno puede transferir eficazmente el calor de los componentes electrónicos al sistema de disipación de calor externo para evitar fallos del equipo por sobrecalentamiento. Esto es crucial para la fiabilidad del equipo militar, especialmente en entornos extremos como alta temperatura, alta presión y radiación. La lámina de cobre-molibdeno puede garantizar la estabilidad a largo plazo del embalaje electrónico.

molibdeno también la convierte en una opción ideal para el embalaje electrónico militar. Los equipos militares suelen trabajar en condiciones adversas, como cambios drásticos de temperatura, golpes y vibraciones. La lámina de cobre-molibdeno puede soportar estas condiciones sin degradar su rendimiento ni sufrir daños. Su alta resistencia y rigidez garantizan que el material de embalaje resista las tensiones externas. Además, su coeficiente de expansión térmica es similar al de muchos otros materiales militares (como cerámica y metales), lo que reduce el impacto de la tensión térmica en la estructura del embalaje.

En el embalaje electrónico militar, las láminas de cobre-molibdeno no solo se utilizan para disipar el calor, sino que también proporcionan un mejor rendimiento eléctrico. Su excelente conductividad permite utilizarlas como material de soporte para componentes electrónicos, garantizando así conexiones eléctricas estables y la transmisión de señales. Su uso en embalajes militares puede mejorar eficazmente el rendimiento, la fiabilidad y la durabilidad de los equipos, garantizando su funcionamiento estable en entornos extremos.

### 7.3 Aplicación de láminas de cobre y molibdeno en la gestión energética y térmica

molibdeno en el sector energético, especialmente en electrónica de potencia y sistemas de gestión térmica, han demostrado sus ventajas únicas. Con la atención mundial a la eficiencia energética y el desarrollo sostenible, el uso de láminas de cobre-molibdeno en este sector, especialmente en electrónica de potencia y sistemas de gestión térmica, se ha convertido en un material clave para resolver el problema de la disipación térmica de los equipos electrónicos de alta potencia.

#### 7.3.1 Dispositivos electrónicos de potencia

Los dispositivos electrónicos de potencia desempeñan un papel fundamental en los sistemas energéticos modernos. Ya sea en la conversión de energía, los sistemas de gestión de baterías, los vehículos eléctricos y los sistemas de energía renovable, se utilizan ampliamente en la regulación, el control y la conversión de energía. Sin embargo, estos dispositivos electrónicos de alta potencia generan mucho calor durante su funcionamiento. Si este calor no se disipa eficazmente, provocará sobrecalentamiento, degradación del rendimiento o incluso fallos. Por lo tanto, es fundamental contar con materiales de gestión térmica de alta calidad para el funcionamiento fiable de los dispositivos electrónicos de potencia. Las láminas de cobre-molibdeno desempeñan un papel insustituible como materiales de gestión térmica en dispositivos electrónicos de potencia. Estas láminas poseen una conductividad térmica extremadamente alta y pueden disipar rápidamente el calor generado por los dispositivos electrónicos de potencia desde su interior, manteniendo estable su temperatura y mejorando así su eficiencia y vida útil. Su alta conductividad

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

térmica y estabilidad térmica las convierten en un material ideal para la disipación del calor en dispositivos electrónicos de potencia, especialmente en dispositivos de alta potencia y larga duración. Además, la alta resistencia y la resistencia a la expansión térmica de las láminas de cobre-molibdeno les permiten soportar altas fluctuaciones de temperatura y tensiones mecánicas en dispositivos electrónicos de potencia. En vehículos eléctricos y equipos de conversión de energía, las láminas de cobre-molibdeno pueden soportar y proteger eficazmente los componentes electrónicos, a la vez que ofrecen una buena disipación térmica para evitar daños en los componentes causados por temperaturas excesivas.

-molibdeno en dispositivos electrónicos de potencia no solo mejoran la gestión térmica del equipo, sino que también mejoran la eficiencia general y reducen las pérdidas de energía. Con el desarrollo de los vehículos eléctricos, la generación de energía solar y los sistemas de almacenamiento de energía, la importancia de las láminas de cobre-molibdeno como materiales de gestión térmica seguirá creciendo, convirtiéndose en un material técnico clave para mejorar la eficiencia energética y el desarrollo sostenible.

### 7.3.2 Equipos de energía nuclear

Los equipos de energía nuclear, especialmente los reactores nucleares y sus componentes relacionados, requieren materiales con una estabilidad térmica, resistencia y resistencia a la radiación extremadamente altas. Los reactores nucleares generan grandes cantidades de calor durante su funcionamiento y están expuestos a entornos de alta radiación. Por lo tanto, la gestión de la disipación térmica en los equipos de energía nuclear es crucial. Las láminas de cobre-molibdeno, como materiales de gestión térmica en equipos de energía nuclear, se han convertido en una opción ideal para resolver problemas de gestión térmica de alta temperatura y alta potencia gracias a su excelente conductividad térmica y estabilidad a altas temperaturas.

En equipos de energía nuclear, la principal aplicación de las láminas de cobre-molibdeno es en intercambiadores de calor, sistemas de refrigeración y radiadores. En el núcleo del reactor nuclear se genera una gran cantidad de calor, y las láminas de cobre-molibdeno pueden conducirlo rápidamente y disiparlo eficazmente, garantizando así el funcionamiento normal del equipo a altas temperaturas. Su alto punto de fusión permite que las láminas de cobre-molibdeno soporten temperaturas extremadamente altas, mientras que su buena conductividad térmica garantiza que el calor se conduzca rápidamente desde el núcleo del reactor nuclear hasta el sistema de refrigeración. Además, su alta resistencia mecánica y resistencia a la corrosión les confieren un funcionamiento estable y duradero en equipos de energía nuclear. Algunos componentes importantes de los equipos de energía nuclear, como las barras de control del reactor, las bombas de refrigeración y los intercambiadores de calor, se exponen a entornos de alta temperatura y alta radiación a largo plazo. La estabilidad y resistencia a la corrosión de las láminas de cobre-molibdeno les permiten resistir los daños por radiación y garantizar la fiabilidad y estabilidad a largo plazo del equipo.

En el futuro, con el mayor desarrollo de la tecnología de la energía nuclear, aumentará aún más la aplicación de láminas de cobre-molibdeno en nuevos reactores nucleares, como los reactores de alta temperatura refrigerados por gas y los reactores de neutrones rápidos. Las láminas de cobre-molibdeno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proporcionarán soluciones de gestión térmica más eficientes y fiables para los equipos de energía nuclear, garantizando así la sostenibilidad y la seguridad de la tecnología nuclear en los sistemas energéticos del futuro.

### 7.3.3 Sistemas de energía renovable

Con la creciente demanda mundial de energía respetuosa con el medio ambiente y sostenible, las energías renovables (como la solar, la eólica y la hidroeléctrica) se han convertido en una forma importante de energía. En los sistemas de energía renovable, especialmente en los sistemas de generación de energía solar y eólica, la gestión térmica eficiente es esencial para mejorar la eficiencia del sistema, prolongar la vida útil y garantizar la estabilidad del equipo. Las láminas de cobre-molibdeno, como materiales de gestión térmica en sistemas de energía renovable, se han convertido en materiales clave para mejorar la eficiencia de la conversión de energía y la estabilidad del equipo debido a su excelente conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas. En los sistemas de energía solar, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan principalmente en intercambiadores de calor y componentes de disipación de calor en sistemas de generación de energía solar térmica. Los colectores solares generan mucho calor durante su funcionamiento. Si el calor no se puede disipar eficazmente, la eficiencia del sistema puede disminuir o incluso dañar el colector solar. Las láminas de cobre-molibdeno pueden transferir rápidamente el calor del colector al sistema de refrigeración externo para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema de generación de energía térmica. En los sistemas de generación de energía eólica, las láminas de cobre-molibdeno, como materiales de disipación de calor para motores de ventiladores y otros equipos electrónicos de alta potencia, pueden transferir eficazmente el calor generado durante el funcionamiento del motor desde el interior del ventilador al exterior, evitando así el sobrecalentamiento y las fallas del equipo. Los componentes electrónicos y los convertidores de potencia en los sistemas de generación de energía eólica suelen generar mucho calor durante el funcionamiento a alta velocidad. Las láminas de cobre-molibdeno, gracias a su alta conductividad térmica, pueden mejorar eficazmente la disipación de calor del sistema y garantizar la estabilidad del aerogenerador a alta potencia.

molibdeno no se limita a intercambiadores de calor y componentes de disipación de calor, sino que también desempeña un papel importante en el sistema de gestión de baterías en sistemas de energía renovable. En los sistemas de energía solar y eólica, los sistemas de almacenamiento de energía (como los paquetes de baterías) son un componente indispensable. La lámina de cobre-molibdeno, como material de gestión térmica, puede reducir eficazmente el calor generado por la batería durante el proceso de carga y descarga, y evitar que se sobrecaliente y cause degradación o daños en su rendimiento. Con el continuo avance de la tecnología de energías renovables, la aplicación de la lámina de cobre-molibdeno en estos sistemas se extenderá, proporcionando soluciones clave de gestión térmica para el uso eficiente y el funcionamiento estable de las energías renovables.

### 7.3.4 Gestión térmica de la batería del vehículo eléctrico

Los vehículos eléctricos (VE) se han convertido en una importante fuente de energía alternativa en los sistemas de transporte modernos. Uno de sus componentes principales es el sistema de baterías,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

especialmente el de potencia. Las baterías generan mucho calor durante la carga y la descarga. Si este calor no se gestiona correctamente, la temperatura de la batería será demasiado alta, lo que afectará su rendimiento, vida útil e incluso su seguridad. Por lo tanto, el sistema de gestión térmica de la batería se ha convertido en un componente fundamental del diseño de vehículos eléctricos, fundamental.

Como material clave en el sistema de gestión térmica de las baterías de vehículos eléctricos, la lámina de cobre-molibdeno es una opción ideal para la gestión térmica de la batería debido a su alta conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas. En vehículos eléctricos, la lámina de cobre-molibdeno se puede utilizar en el sistema de disipación de calor de los paquetes de baterías, especialmente durante la carga y descarga de alta potencia. La lámina de cobre-molibdeno puede transferir rápidamente el calor generado por la batería desde la celda de la batería al radiador o al sistema de refrigeración externo para evitar que la temperatura de la batería sea demasiado alta, lo que resulta en una degradación del rendimiento o problemas de seguridad. La excelente conductividad térmica de la lámina de cobre-molibdeno garantiza que el sistema de batería se pueda mantener dentro del rango óptimo de temperatura de funcionamiento, mejora la eficiencia de carga y el rendimiento de descarga de la batería, y extiende la vida útil de la batería. El sistema de batería de los vehículos eléctricos enfrentará diferentes desafíos en entornos de alta y baja temperatura. La lámina de cobre-molibdeno puede adaptarse a estas condiciones extremas y proporcionar un soporte estable para la gestión térmica. Al mejorar la disipación térmica del sistema de batería, la lámina de cobre-molibdeno no solo optimiza su eficiencia operativa, sino que también mejora el rendimiento general y la seguridad de los vehículos eléctricos. Esta lámina también se puede utilizar en el diseño estructural de módulos y paquetes de baterías de vehículos eléctricos. Su alta resistencia y buena resistencia a la expansión térmica le permiten proporcionar un soporte estructural estable en el módulo de batería, evitando la deformación mecánica causada por los cambios de temperatura. El excelente rendimiento de la lámina de cobre-molibdeno garantiza que el sistema de batería funcione de forma estable durante mucho tiempo en condiciones de alta temperatura y alta potencia, cumpliendo así con los estrictos requisitos de los vehículos eléctricos en cuanto a autonomía, velocidad de carga y seguridad.

#### 7.4 Lámina de cobre-molibdeno en otras áreas de aplicación emergentes

molibdeno en campos emergentes han demostrado sus ventajas únicas en condiciones de trabajo complejas y de alta precisión, especialmente en aquellos campos técnicos que tienen requisitos extremadamente altos para el rendimiento del material.

##### 7.4.1 Equipo médico

Las láminas de cobre-molibdeno en equipos médicos se utilizan principalmente en equipos de imagenología, radioterapia y diagnóstico in vitro. Con el avance de la tecnología médica, especialmente el desarrollo de la radiología, la medicina nuclear y los equipos de diagnóstico de alta precisión, las láminas de cobre-molibdeno se han convertido en uno de los materiales clave en equipos médicos gracias a su excelente conductividad térmica, resistencia y biocompatibilidad. En equipos de imagenología, especialmente en tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM), las láminas de cobre-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

molibdeno se utilizan habitualmente como disipadores de calor en el sistema de gestión térmica de componentes electrónicos y equipos de alta potencia. Los escáneres TC y los equipos de RM generan mucho calor durante su funcionamiento, especialmente en sistemas de radiofrecuencia y componentes electrónicos de alta potencia. Si el calor no se disipa eficazmente, el equipo puede sobrecalentarse y afectar la calidad de la imagen. La alta conductividad térmica de las láminas de cobre-molibdeno permite transferir rápidamente el calor generado desde estos componentes al sistema de disipación, garantizando así el funcionamiento estable del equipo a largo plazo. Además, las láminas de cobre-molibdeno también se utilizan en la gestión térmica de equipos de radioterapia.

Durante la radioterapia, la fuente de radiación del equipo suele generar mucho calor. La función de las láminas de cobre-molibdeno en estos dispositivos es transferir eficazmente el calor desde la fuente de radiación para evitar fallos del equipo o una disminución de la precisión del tratamiento debido a la acumulación de calor. Su alta resistencia, resistencia a altas temperaturas y estabilidad las convierten en materiales muy fiables en dispositivos médicos de alta precisión. Su aplicación en equipos de diagnóstico in vitro también es fundamental. En estos dispositivos, las láminas de cobre-molibdeno no solo proporcionan una gestión térmica eficaz, sino que también sirven como material de soporte de los componentes para garantizar la estabilidad y precisión del equipo durante su uso a largo plazo.

#### 7.4.2 Estación base de comunicación 7G

Con la popularización de la tecnología 5G, la investigación y el desarrollo de la tecnología de comunicación 7G están en pleno auge. La comunicación 7G promoverá aún más la transmisión de ultraalta velocidad, las conexiones a gran escala y las aplicaciones de red de baja latencia. Como infraestructura central de las futuras redes de comunicación, las estaciones base 7G presentan mayores requisitos de gestión térmica, antiinterferencias y estabilidad de los equipos. Como material de gestión térmica eficiente, la lámina de cobre-molibdeno se está convirtiendo gradualmente en un componente importante de las estaciones base de comunicación 7G.

En las estaciones base de comunicación 7G, la función principal de las láminas de cobre-molibdeno es disipar el calor generado en ellas. La tecnología de comunicación 7G permitirá una transmisión de datos de mayor frecuencia y capacidad, y la demanda de energía y la carga térmica de las estaciones base serán mayores que en la era 5G. La alta conductividad térmica de las láminas de cobre-molibdeno permite disipar rápidamente el calor generado por los componentes electrónicos de la estación base, evitando que el sobrecalentamiento provoque fallos en los equipos o una degradación del rendimiento. Además de la disipación térmica, la capacidad de las láminas de cobre-molibdeno para resistir interferencias electromagnéticas es una de sus ventajas en las estaciones base de comunicaciones 7G.

Estas estaciones se enfrentarán a un entorno electromagnético más complejo. Como material de soporte estructural, las láminas de cobre-molibdeno pueden aislar eficazmente las interferencias electromagnéticas y garantizar el funcionamiento estable de los componentes electrónicos de la estación base. Su aplicación en estaciones base mejorará eficazmente la fiabilidad y la calidad de la comunicación.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de los equipos, cumpliendo así con los exigentes requisitos de las futuras redes de transmisión de ultraalta velocidad.

### 7.4.3 Sistema láser y óptico

Los láseres y sistemas ópticos se utilizan ampliamente en la investigación científica, la atención médica, el procesamiento industrial, la impresión láser y otros campos. Con el continuo avance de la tecnología láser, la potencia de los láseres y sistemas ópticos es cada vez mayor, al igual que los requisitos de disipación de calor y control de temperatura. Las láminas de cobre-molibdeno desempeñan un papel importante en láseres y sistemas ópticos como materiales eficientes para la disipación de calor. En los láseres, especialmente en los de alta potencia, se genera mucho calor durante su funcionamiento. Si este calor no se disipa eficazmente, la eficiencia del láser se reduce considerablemente e incluso el equipo puede resultar dañado. La alta conductividad térmica de la lámina de cobre-molibdeno la convierte en un material ideal para el sistema de disipación de calor del láser. Permite transferir rápidamente el calor generado desde el interior del láser al dispositivo de disipación externo, mantener estable su temperatura de funcionamiento y mejorar la potencia de salida y la eficiencia operativa del equipo.

Las láminas de cobre-molibdeno también se utilizan ampliamente en sistemas ópticos, especialmente en sistemas de escaneo láser, sistemas de comunicación óptica y equipos de medición de precisión. Los transmisores y receptores láser en sistemas ópticos suelen necesitar operar en entornos con un control de temperatura extremadamente preciso. Las láminas de cobre-molibdeno no solo proporcionan una disipación térmica estable, sino que también evitan eficazmente la deformación de los componentes ópticos causada por las diferencias de expansión térmica, garantizando así la estabilidad y precisión del sistema óptico. Su aplicación en láseres y sistemas ópticos no solo mejora la capacidad de disipación térmica del sistema, sino que también mejora la calidad y la estabilidad del haz láser, garantizando así su funcionamiento eficiente en diversos escenarios de aplicación.

### 7.4.4 Fabricación aditiva y componentes personalizados

La tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D) ha experimentado un rápido desarrollo en los últimos años. Especialmente en los sectores aeroespacial, médico y automotriz, la fabricación aditiva se ha consolidado como una solución para la fabricación de componentes personalizados de alta precisión. Como material de fabricación aditiva, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan ampliamente en la fabricación de componentes personalizados de alta temperatura, alta potencia y alta precisión.

La tecnología de fabricación aditiva permite fabricar piezas con formas complejas mediante el apilamiento de materiales capa a capa, lo cual resulta muy eficaz para fabricar geometrías complejas que no se pueden lograr con los métodos de procesamiento tradicionales. Las excelentes propiedades de la lámina de cobre-molibdeno la convierten en un material ideal para la fabricación aditiva, especialmente en aplicaciones que requieren alta conductividad térmica, alta resistencia y buena resistencia a altas temperaturas, como componentes aeroespaciales, componentes de motores de automóviles y piezas personalizadas para dispositivos médicos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mediante el proceso de fabricación aditiva, la lámina de cobre-molibdeno mantiene una buena estabilidad estructural durante la fusión por láser y conserva sus excelentes propiedades físicas en entornos de alta temperatura. La fabricación personalizada de láminas de cobre-molibdeno permite una mejor gestión térmica en componentes estructurales complejos y logra una fabricación eficiente de componentes al reducir la tensión térmica y mejorar el rendimiento.

Además, la fabricación aditiva de láminas de cobre-molibdeno permite ajustar con precisión el rendimiento según los requisitos de cada aplicación, satisfaciendo así las necesidades de diversos productos industriales en cuanto a gestión térmica, resistencia mecánica, resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión. Esto hace que las láminas de cobre-molibdeno tengan amplias posibilidades de aplicación en campos emergentes y se conviertan en un material clave en la fabricación de componentes personalizados.

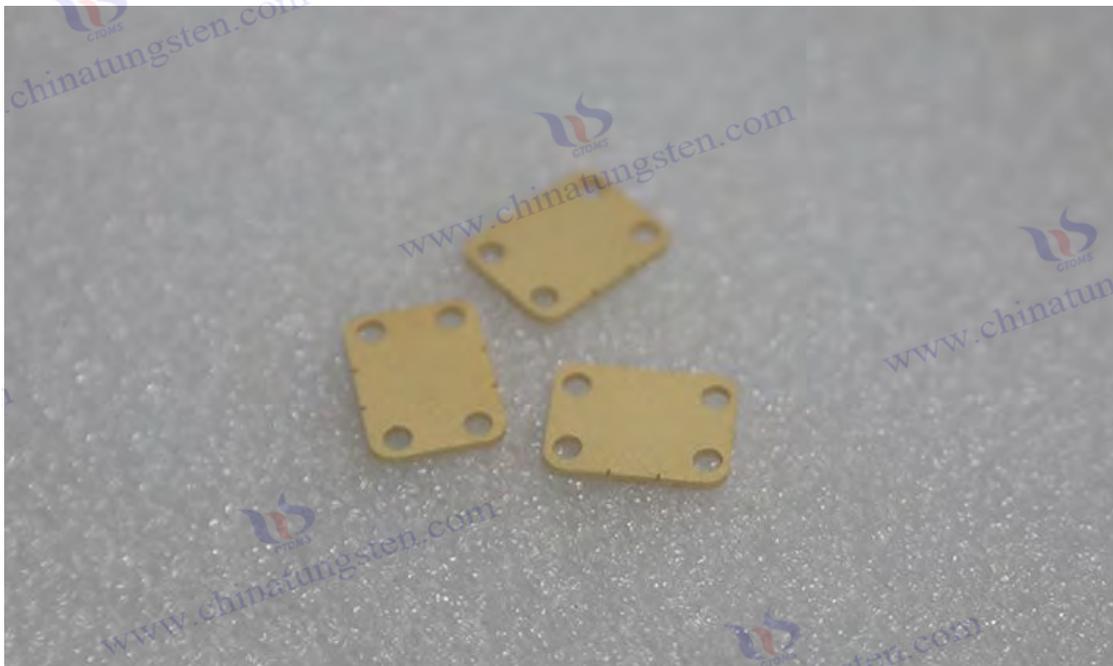


Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Copper Sheets Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

#### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

#### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3   |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5   |

#### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

#### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Capítulo 8 Estado del mercado y la industria de las láminas de cobre y molibdeno

### 8.1 Descripción general del mercado global de láminas de cobre y molibdeno

Como una rama importante del mercado de aleaciones de molibdeno, el mercado global de láminas de cobre y molibdeno ha mostrado una tendencia de crecimiento constante en los últimos años debido a sus ventajas únicas en aplicaciones de alto rendimiento. La lámina de cobre y molibdeno es un material compuesto de molibdeno (Mo) y cobre (Cu), que se caracteriza por una alta conductividad térmica, un coeficiente de expansión térmica ajustable y una alta resistencia. Se utiliza ampliamente en electrónica, aeroespacial, comunicaciones y nuevas energías. Su crecimiento se debe principalmente a la demanda global de materiales de alto rendimiento, especialmente en comunicaciones 5G, vehículos eléctricos (VE) y equipos de energías renovables. En el mercado global del molibdeno, la tasa de crecimiento del mercado de láminas de cobre y molibdeno es más prominente. La tendencia de crecimiento del mercado global del molibdeno es relativamente lenta, mientras que la importancia de las láminas de cobre y molibdeno en campos de alto valor añadido (como el encapsulado electrónico y los componentes de gestión térmica) es cada vez mayor, lo que impulsa aún más la expansión de su tamaño de mercado.

y molibdeno se ve impulsado principalmente por los siguientes factores clave. En primer lugar, la creciente demanda de materiales con alta conductividad térmica y baja expansión térmica está aumentando. La conductividad térmica de las láminas de cobre y molibdeno oscila entre 150 y 270 W/m·K y el coeficiente de expansión térmica ajustable es de  $5-12 \times 10^{-6}/K$ , lo que las convierte en un material ideal para aplicaciones de encapsulado electrónico y gestión térmica. Por ejemplo, en estaciones base 5G, las láminas de cobre y molibdeno Mo60Cu40 se utilizan ampliamente como sustratos de disipación de calor debido a su excelente conductividad térmica y expansión térmica compatible con los sustratos cerámicos, lo que garantiza la estabilidad del equipo en operaciones de alta frecuencia. En segundo lugar, el rápido crecimiento del mercado de vehículos eléctricos (VE) ha impulsado la demanda de láminas de cobre y molibdeno.

Los sistemas de gestión de baterías y los semiconductores de potencia de los vehículos eléctricos requieren materiales de gestión térmica eficientes, y las láminas de cobre-molibdeno son la opción preferida por su alta conductividad térmica y fiabilidad. Además, la expansión de los campos de las energías renovables, como los equipos de energía eólica y solar, ha incrementado la demanda de láminas de cobre-molibdeno. Por ejemplo, estas láminas se utilizan en la capa conductora de las células solares de película fina para favorecer el funcionamiento eficiente de los equipos de energía limpia. Finalmente, la demanda de aleaciones de alto rendimiento en los sectores aeroespacial y de defensa sigue en aumento, y las propiedades ligeras y la estabilidad a altas temperaturas de las láminas de cobre-molibdeno han propiciado su uso en motores a reacción y componentes de misiles. Por ejemplo, las láminas de cobre-molibdeno Mo85Cu15 son adecuadas para componentes de gestión térmica aeroespacial gracias a su bajo coeficiente de expansión térmica y sus excelentes propiedades mecánicas.

El mercado global de láminas de cobre-molibdeno se segmenta en electrónica, aeroespacial, optoelectrónica y nuevas energías según su aplicación. En el sector electrónico, las láminas de cobre-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

molibdeno se utilizan ampliamente en sustratos de disipación de calor para semiconductores de potencia, amplificadores de RF y estaciones base 5G debido a su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Por ejemplo, el Mo60Cu40 es adecuado para equipos de comunicación de alta frecuencia gracias a su conductividad de aproximadamente el 30-40% IACS ( Estándar Internacional de Cobre Recocido). El sector aeroespacial es otro mercado importante, donde las láminas de cobre-molibdeno se utilizan para fabricar componentes de gestión térmica de motores a reacción y componentes de misiles, y el Mo85Cu15 es el preferido por su alta estabilidad térmica (resistente a 600-800 °C) y su ligereza. En el sector de la optoelectrónica, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan como portadoras para chips láser y LED, y Mo70Cu30 tiene una excelente expansión térmica que coincide con materiales como el arseniuro de galio, lo que garantiza la estabilidad a largo plazo del dispositivo. Con el rápido crecimiento de la demanda en el sector de las nuevas energías, las láminas de cobre-molibdeno desempeñan un papel clave en los sistemas de gestión de baterías para vehículos eléctricos y baterías solares de película delgada. Por ejemplo, las láminas de cobre-molibdeno respaldan la producción de células solares de seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) como capa conductora. Las diversas demandas de estos sectores de aplicación han impulsado la continua expansión del mercado de láminas de cobre-molibdeno. El mercado de láminas de cobre- molibdeno se divide en aleaciones de cobre-molibdeno con diferentes proporciones según la marca, como Mo85Cu15, Mo70Cu30, Mo60Cu40 y Mo50Cu50. El Mo85Cu15 presenta un alto contenido de molibdeno y un bajo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente  $5-7 \times 10^{-6}/K$ ), lo que lo hace adecuado para aplicaciones aeroespaciales y optoelectrónicas, y requiere una alta compatibilidad con materiales cerámicos o semiconductores. El Mo70Cu30 equilibra la conductividad térmica y las propiedades mecánicas, y se utiliza ampliamente en estaciones base 5G y sustratos de disipación de calor para vehículos eléctricos. El Mo60Cu40 y el Mo50Cu50 presentan un alto contenido de cobre y una conductividad térmica de 220-270 W/ m·K , lo que lo hace adecuado para equipos electrónicos de alta frecuencia y nuevos campos energéticos. Las diferencias de rendimiento entre las distintas marcas permiten que las láminas de cobre y molibdeno satisfagan diversas necesidades de aplicación y mejoren la competitividad en el mercado.

El mercado de láminas de cobre y molibdeno se divide principalmente en fabricación y distribución directas. La fabricación directa consiste en el suministro directo de los fabricantes a los usuarios finales, algo común en las grandes empresas de electrónica y aeroespacial. El canal de distribución distribuye productos a pymes a través de intermediarios, abarcando un mercado más amplio. Los distribuidores priorizan la competitividad en costos y la fiabilidad de la cadena de suministro para garantizar la entrega puntual. Por ejemplo, los distribuidores en Norteamérica y Europa ofrecen láminas de cobre y molibdeno personalizadas a las industrias automotriz y de nuevas energías para satisfacer diversas necesidades. La combinación de fabricación y distribución directas optimiza la cobertura del mercado y promueve la popularización de las láminas de cobre y molibdeno. El mercado mundial de láminas de cobre y molibdeno está dominado por China, Estados Unidos y Chile, y los proveedores han consolidado su posición en el mercado mediante la innovación tecnológica y la cooperación estratégica. Por ejemplo, China Molybdenum ha fortalecido su control sobre la cadena de suministro invirtiendo en minerales en el extranjero y en el procesamiento posterior. Las empresas estadounidenses producen láminas de cobre y molibdeno de alta pureza mediante la minería de minerales asociados al cobre y el molibdeno para abastecer a los mercados aeroespacial y electrónico. Además, los proveedores han mejorado su

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

competitividad en el mercado desarrollando nuevos materiales compuestos de molibdeno y cobre (como Mo70Cu30 con grafeno añadido) para mejorar la conductividad térmica y la resistencia de la interfaz.

## 8.2 Principales fabricantes de láminas de cobre y molibdeno - CTIA GROUP LTD

GRUPO CTIA LTD. CTIA es una subsidiaria de China Tungsten Online Technology Co., Ltd. Fundada en 1997, CTIA comenzó con [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com), el primer sitio web líder en productos de tungsteno de China, y es la primera empresa de comercio electrónico en China enfocada en las industrias del tungsteno, molibdeno y tierras raras. Con casi tres décadas de profunda acumulación técnica y reputación comercial global en el campo del tungsteno y el molibdeno, CTIA se ha convertido en uno de los principales fabricantes en el mercado global de láminas de cobre y molibdeno, y se compromete a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de cobre y molibdeno en la era de Internet industrial. Produce una variedad de grados de láminas de cobre y molibdeno, como Mo85Cu15, Mo80Cu20, Mo60Cu40 y Mo50Cu50, que se utilizan ampliamente en sustratos de disipación de calor electrónico, componentes de gestión térmica aeroespacial, equipos de comunicación 5G y dispositivos optoelectrónicos.

CTIA GROUP LTD hereda la tecnología y la experiencia de China Tungsten Online, se centra en las necesidades personalizadas de los clientes, utiliza tecnología de inteligencia artificial y una plataforma de Internet industrial para colaborar con los clientes en el diseño y produce láminas de cobre y molibdeno que cumplen con la composición química y las propiedades físicas específicas (como densidad de aproximadamente 9,1-10,0 g/cm<sup>3</sup>, conductividad térmica de 150-270 W/ m·K, conductividad eléctrica de 20-45% IACS, coeficiente de expansión térmica de 5-12×10<sup>-6</sup>/K), proporcionando servicios integrados de proceso completo desde la apertura del molde, la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística.

Por ejemplo, la lámina de cobre-molibdeno Mo60Cu40 que produce se utiliza ampliamente en disipadores de calor para módulos de radiofrecuencia de estaciones base 5G debido a su alta conductividad térmica y buena ductilidad; el Mo85Cu15 se utiliza en componentes de gestión térmica de motores a reacción aeroespaciales debido a su baja expansión térmica y alta resistencia. CTIA GROUP LTD produce láminas de cobre-molibdeno mediante pulvimetalurgia e infiltración en fundido. La pulvimetalurgia garantiza una alta densidad y propiedades mecánicas (como la resistencia a la tracción del Mo85Cu15 que alcanza los 500-600 MPa), y el método de infiltración en fundido optimiza la conductividad térmica y eléctrica de los grados con alto contenido de cobre.

En los últimos 30 años, China Tungsten Online ha proporcionado servicios de I+D, diseño y producción para más de 500.000 productos de tungsteno y molibdeno a más de 130.000 clientes en todo el mundo, cubriendo Europa, América, Asia, Mauricio, Chipre y otras regiones, sentando las bases para una fabricación personalizada, flexible e inteligente.

Con base en esto, CTIA GROUP LTD ha profundizado aún más la fabricación inteligente en la era del internet industrial, desarrollado sistemas inteligentes de gestión de la producción, mejorado la

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

consistencia de los productos mediante tecnología automatizada de sinterización y procesamiento, y cumplido con los requisitos de alta precisión de las industrias de la electrónica, las comunicaciones y las nuevas energías. La empresa responde activamente a los estándares globales ESG (ambientales, sociales y de gobernanza) y adopta tecnologías de minería y procesamiento sostenibles, como la reducción del consumo de recursos mediante el reciclaje de residuos de molibdeno y cobre, lo que cumple con los requisitos del XIV Plan Quinquenal de China para la fabricación ecológica. Su red de suministro abarca América del Norte, Europa y Asia, y logra una entrega global eficiente mediante la cooperación estratégica y plataformas de comercio electrónico (como [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)).

La competitividad de CTIA GROUP LTD también se refleja en el control de costos y la producción a gran escala, especialmente con los abundantes recursos de molibdeno de China y el apoyo del gobierno, continúa expandiendo la capacidad de producción para satisfacer las necesidades de crecimiento de los mercados de infraestructura, 5G y vehículos eléctricos.

### 8.3 Demanda del mercado y tendencia de desarrollo de láminas de cobre y molibdeno

de láminas de cobre y molibdeno está impulsado por la industrialización global y el progreso tecnológico, especialmente en los campos de la electrónica, las comunicaciones, la industria aeroespacial y las nuevas energías. La industria electrónica es la principal fuente de demanda. Las láminas de cobre y molibdeno se utilizan ampliamente en dispositivos semiconductores de potencia, dispositivos de microondas y disipadores de calor debido a su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. En 2023, la demanda de láminas de cobre y molibdeno en la industria electrónica mundial representó una parte significativa del mercado total. El rápido desarrollo de las comunicaciones 5G ha impulsado la demanda de láminas de cobre y molibdeno de alta frecuencia, que se utilizan en amplificadores de potencia de radiofrecuencia y sustratos de antena para garantizar la integridad de la señal y la estabilidad térmica. El rápido crecimiento de la industria de vehículos eléctricos también ha impulsado significativamente la demanda. Las láminas de cobre y molibdeno se utilizan en componentes de disipación de calor de sistemas de gestión de baterías y módulos de potencia. El crecimiento de las ventas mundiales de vehículos eléctricos en 2023 ha impulsado la demanda de materiales relacionados. Se espera que los campos de energía renovable, como la energía eólica y solar, consuman una gran cantidad de aleaciones de cobre y molibdeno para el año 2050 para la capa de absorción de las células solares y los componentes resistentes a la corrosión de las turbinas eólicas. Antaiko China predice que la industria de la energía eólica consumirá alrededor de 300.000 toneladas de molibdeno. El campo aeroespacial tiene una demanda estable de láminas de cobre y molibdeno de alta resistencia y baja expansión térmica, y grados como Mo85Cu15 se utilizan en motores a reacción y componentes de gestión térmica de satélites. En términos de tendencias de desarrollo, el auge de las tecnologías de impresión 3D y fabricación aditiva ha abierto nuevas aplicaciones para las láminas de cobre y molibdeno, como componentes aeroespaciales de precisión y equipos médicos. Además, las tecnologías de producción inteligente y fabricación ecológica han promovido la optimización de los procesos de producción de láminas de cobre y molibdeno, como la mejora de la consistencia del producto mediante el control automatizado del proceso de sinterización. La región de Asia y el Pacífico seguirá dominando el crecimiento de la demanda, y se

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

espera que el "14º Plan Quinquenal" de China, respaldado por la fabricación de alta gama y la construcción de infraestructura, aumente aún más el consumo de láminas de cobre y molibdeno.

#### 8.4 Desafíos y oportunidades que enfrenta el mercado de láminas de cobre y molibdeno

##### Desafío

Las láminas de cobre y molibdeno dependen de dos materias primas clave, el molibdeno y el cobre, cuyos precios se ven afectados por la economía mundial, el equilibrio entre la oferta y la demanda y factores geopolíticos, y son significativamente volátiles. El molibdeno generalmente se extrae como un subproducto de las minas de cobre y tungsteno, y las fluctuaciones del precio del cobre afectan directamente el suministro de molibdeno. Dichas fluctuaciones de precios aumentan la presión de los costos sobre los fabricantes de láminas de cobre y molibdeno, especialmente en las industrias electrónica y aeroespacial que requieren una cadena de suministro estable, lo que puede conducir a una compresión del margen de beneficio o a una menor competitividad en el mercado. Las preocupaciones mundiales sobre la protección del medio ambiente han impulsado a los países a fortalecer la supervisión de la minería y el procesamiento, especialmente en China y América del Norte. En 2023, la producción de molibdeno de América del Norte disminuyó debido a la disminución de las calidades del mineral de cobre y molibdeno y a las estrictas regulaciones ambientales (como las normas de emisión en Estados Unidos y Canadá), lo que limitó la capacidad de producción de láminas de cobre y molibdeno. En China, la estricta supervisión gubernamental de las autorizaciones mineras (como la revisión de la Ley de Protección Ambiental) ha incrementado los costos operativos, como la exigencia del uso de equipos de bajas emisiones y tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Si bien estas regulaciones han mejorado la gobernanza ambiental, han incrementado los costos de cumplimiento de los productores de láminas de cobre y molibdeno, lo que podría provocar la salida del mercado de pequeñas y medianas empresas.

La lámina de cobre y molibdeno con alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica la hacen única en los campos de la electrónica y la industria aeroespacial, pero otros materiales como el vanadio, el tungsteno y el cromo tienen potencial competitivo en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, el tungsteno puede reemplazar parcialmente la lámina de cobre y molibdeno en entornos de alta temperatura debido a su punto de fusión más alto (alrededor de 3422 °C), especialmente en componentes aeroespaciales. El uso de vanadio en aleaciones de acero de alta resistencia puede debilitar la demanda indirecta de lámina de cobre y molibdeno en el campo del refuerzo de acero, mientras que el uso de cromo en recubrimientos resistentes a la corrosión puede reemplazar la demanda de lámina de cobre y molibdeno en ciertas aplicaciones de la industria química. Las ventajas de costo o la optimización del rendimiento de estos materiales alternativos en escenarios específicos pueden llevar a la pérdida parcial de la participación de mercado de la lámina de cobre y molibdeno. Por ejemplo, la aplicación de la lámina de cobre y molibdeno en sustratos de disipación de calor de estaciones base 5G puede verse desafiada por los compuestos a base de tungsteno, especialmente en mercados sensibles a los costos. Además, la creciente aplicación de materiales cerámicos (como el nitruro de aluminio) en el encapsulado electrónico puede suponer una amenaza para la demanda de grados como Mo70Cu30. En algunas regiones, especialmente en mercados emergentes como Oriente Medio y África, la falta de conocimiento sobre las

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ventajas de las láminas de cobre y molibdeno ha limitado su penetración en el mercado. Muchos usuarios potenciales (como los pequeños y medianos fabricantes de productos electrónicos) desconocen la conductividad térmica ( $150-270 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) y el coeficiente de expansión térmica ajustable ( $5-12 \times 10^{-6} /\text{K}$ ) de las láminas de cobre y molibdeno, lo que les lleva a preferir materiales tradicionales como el cobre puro o el aluminio. Además, la inestabilidad de la cadena de suministro supone otro reto importante. Las tensiones geopolíticas y los problemas logísticos pueden interrumpir el suministro de molibdeno y cobre, lo que afecta la producción de láminas de cobre y molibdeno. Los retrasos en el transporte y los cuellos de botella en los puertos pueden exacerbar aún más los riesgos de la cadena de suministro, lo que puede provocar retrasos en la entrega de láminas de cobre y molibdeno y afectar los planes de producción en las industrias aeroespacial y electrónica.

## Oportunidad

El rápido desarrollo de las industrias globales de nuevas energías y electrónica ofrece amplias perspectivas para el mercado de láminas de cobre y molibdeno. Las láminas de cobre y molibdeno se utilizan ampliamente en vehículos eléctricos (VE), equipos de comunicación 5G y equipos de energía renovable debido a su alta conductividad térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Por ejemplo, en el campo de los vehículos eléctricos, las láminas de cobre y molibdeno Mo60Cu40 se utilizan para sustratos de disipación de calor en sistemas de gestión de baterías para garantizar la estabilidad de las baterías bajo operación de alta potencia. En el campo de las comunicaciones 5G, las láminas de cobre y molibdeno (como Mo70Cu30) se utilizan ampliamente en amplificadores de RF de estaciones base y semiconductores de potencia debido a su conductividad eléctrica (alrededor del 30-40% IACS) y expansión térmica que coincide con los sustratos cerámicos para garantizar la estabilidad de la transmisión de señales de alta frecuencia. La demanda de equipos para energías renovables también impulsa el crecimiento del mercado. Por ejemplo, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan como capa conductora de las células solares de película delgada de seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) para contribuir a la mejora de la eficiencia de la generación de energía solar. El rápido crecimiento de estas áreas de aplicación emergentes proporciona una fuente estable de demanda para el mercado de láminas de cobre-molibdeno. La innovación tecnológica ha abierto nuevas oportunidades de crecimiento para este mercado. Las tecnologías de extracción avanzadas (como la hidrometalurgia) han mejorado la tasa de recuperación del molibdeno y reducido los costos de producción. Los avances en la tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D) han hecho posible la producción de piezas con formas complejas a partir de láminas de cobre-molibdeno, especialmente en los sectores aeroespacial y médico. Por ejemplo, los compuestos de molibdeno y cobre producidos mediante impresión 3D por fusión por haz de electrones (EBM) presentan alta densidad y resistencia al agrietamiento, y son adecuados para piezas aeroespaciales de alta temperatura, como álabes de turbinas de Mo85Cu15.

Además, la aplicación de tecnología nanocompuesta (como la adición de grafeno a Mo70Cu30) mejora la conductividad térmica y la resistencia de la interfaz, lo que amplía la aplicación de las láminas de cobre-molibdeno en la fabricación de precisión. Por ejemplo, la demanda de láminas de cobre-molibdeno de alto rendimiento para objetivos de rayos X y disipadores de calor en el sector médico está en aumento. Estas innovaciones tecnológicas no solo mejoran el rendimiento de las láminas de cobre-molibdeno, sino

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que también reducen el desperdicio de material en el proceso de producción y mejoran la competitividad en el mercado.

El XIV Plan Quinquenal de China pone énfasis en la modernización de la fabricación y el desarrollo de nuevas energías, lo que aumenta la demanda de láminas de cobre-molibdeno. Por ejemplo, en proyectos de redes inteligentes y trenes de alta velocidad, el Mo60Cu40 se utiliza para fabricar componentes conductores eficientes. Además, la rápida urbanización y expansión de la industria electrónica en países de Asia-Pacífico como India y Japón han expandido aún más el mercado. Estas demandas regionales ofrecen a los proveedores diversas oportunidades de mercado, especialmente en aplicaciones de alto valor añadido. La tendencia de fabricación ecológica de reciclar residuos de cobre-molibdeno también ofrece nuevas oportunidades para el mercado. El uso de láminas de cobre-molibdeno en equipos de energía renovable está en consonancia con los objetivos globales de reducción de carbono. Por ejemplo, en turbinas eólicas y células solares, la resistencia a la corrosión y la conductividad térmica de las láminas de cobre-molibdeno prolongan la vida útil del equipo.



Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Capítulo 9 Desarrollo futuro de la lámina de cobre y molibdeno

### 9.1 Potencial de la nueva tecnología de preparación de láminas de cobre y molibdeno

Basada en la pulvimetalurgia tradicional y los métodos de infiltración de masa fundida, la tecnología de preparación de [láminas de cobre-molibdeno](#) se está desarrollando hacia la inteligencia, la sostenibilidad y la alta eficiencia. Con el avance de la ciencia de los materiales y la tecnología de fabricación, las nuevas tecnologías de preparación han demostrado un gran potencial. La tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D) es una dirección importante. Mediante la fusión por lecho de polvo láser o la fusión por haz de electrones, se pueden imprimir directamente piezas de láminas de cobre-molibdeno de formas complejas, como componentes de gestión térmica aeroespacial o disipadores de calor para dispositivos de microondas. La tecnología de impresión 3D permite un control preciso de la relación molibdeno-cobre y la microestructura, optimiza la conductividad térmica ( $150-270 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) y la conductividad eléctrica, y reduce el desperdicio de material. Por ejemplo, fundiendo polvo de Mo60Cu40 capa a capa, se puede fabricar un disipador de calor con canales internos complejos para satisfacer los altos requisitos de carga térmica de los equipos 5G.

La tecnología de nanocompuestos es otra área potencial. Al introducir fases de refuerzo a escala nanométrica (como grafeno o nanotubos de carbono) en la interfaz molibdeno-cobre, se puede mejorar la resistencia de la unión de la interfaz y la eficiencia de la conductividad térmica. Por ejemplo, añadir grafeno a Mo70Cu30 puede aumentar la conductividad térmica a  $260 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  manteniendo al mismo tiempo un bajo coeficiente de expansión térmica ( $8-10 \times 10^{-6} / \text{K}$ ). Además, las tecnologías de producción inteligente, como la optimización de procesos asistida por IA y el control automatizado de la sinterización, mejoran la densidad y la consistencia del rendimiento de las láminas de molibdeno-cobre mediante la monitorización en tiempo real de los parámetros de temperatura y presión, y son adecuadas para la producción a gran escala de grados con alto contenido de cobre como Mo50Cu50. Las tecnologías de fabricación ecológica también han atraído mucha atención, como el uso de residuos de molibdeno y cobre reciclables como materia prima y la reducción del consumo de energía mediante la sinterización a baja temperatura o la tecnología de sinterización de plasma, que cumple con los estándares globales ESG (ambientales, sociales y de gobernanza). CTIA GROUP LTD ha comenzado a explorar estas tecnologías y a utilizar la plataforma de internet industrial para lograr inteligencia de proceso completa, desde el diseño hasta la producción. Por ejemplo, mediante IA para diseñar colaborativamente láminas de cobre-molibdeno Mo85Cu15 que satisfagan las necesidades personalizadas de los componentes aeroespaciales de alta temperatura. Se espera que estas nuevas tecnologías reduzcan los costos de producción, acorten los ciclos y mejoren el rendimiento del producto, abriendo nuevas posibilidades para las láminas de cobre-molibdeno en aplicaciones de alto rendimiento.

### 9.2 Direcciones de investigación para optimizar el rendimiento de las láminas de cobre-molibdeno

[La lámina de cobre y molibdeno](#) se centra en mejorar la conductividad térmica, la conductividad eléctrica, las propiedades mecánicas y la adaptabilidad ambiental para cumplir con los estrictos requisitos de los campos de la electrónica, la industria aeroespacial y las nuevas energías. La optimización de la interfaz

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

es la dirección principal. Al mejorar la calidad de la unión de la interfaz molibdeno-cobre, se reducen la resistencia térmica y la resistencia al contacto eléctrico. Por ejemplo, la deposición química en fase de vapor (CVD) se utiliza para depositar una capa de transición en la superficie de las partículas de molibdeno para mejorar la conductividad térmica de Mo60Cu40 a más de 250 W/ m·K , al tiempo que aumenta la resistencia a la tracción a 400 MPa. El diseño de aleación es otra dirección importante. La adición de oligoelementos (como renio o titanio) puede mejorar la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación de la lámina de cobre y molibdeno. Por ejemplo, la adición de una pequeña cantidad de renio a Mo85Cu15 puede mantener su estabilidad estructural a 800 °C, lo que es adecuado para los componentes de motores a reacción aeroespaciales. La regulación de la microestructura también ha recibido atención. Al controlar la uniformidad de la distribución de las fases de molibdeno y cobre, se optimiza el coeficiente de expansión térmica ( $5-12 \times 10^{-6}/K$ ) para que coincida con el material cerámico. Por ejemplo, la microestructura de Mo80Cu20 se ajusta mediante tecnología de sinterización por plasma para reducir la tensión térmica y prolongar la vida útil de los dispositivos de encapsulado electrónico. Las tecnologías de modificación de superficies, como la pulverización catódica con magnetron para depositar recubrimientos de película delgada de cobre-molibdeno, pueden mejorar el rendimiento del contacto eléctrico y la resistencia a la corrosión, y son adecuadas para la aplicación de láminas de molibdeno-cobre de alta frecuencia en módulos de RF 5G.

La aplicación de la ciencia computacional de materiales ofrece un nuevo camino para la optimización del rendimiento. Mediante la simulación de las propiedades térmicas y mecánicas de las aleaciones de molibdeno-cobre, se predice la relación óptima de composición. Por ejemplo, la simulación de dinámica molecular se utiliza para optimizar la distribución de la fase de cobre de Mo50Cu50 y aumentar la conductividad al 45% IACS. Además, la optimización del rendimiento ecológico también es un enfoque, estudiando procesos de preparación de bajo consumo energético y materiales reciclables para reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, al reciclar residuos de molibdeno-cobre para producir Mo70Cu30, se reducen los costos de producción y se mejora la sostenibilidad. Estas líneas de investigación promueven la aplicación de láminas de molibdeno-cobre en campos de alto rendimiento a través de la innovación tecnológica y la integración interdisciplinaria.

### 9.3 Expansión de las aplicaciones intersectoriales de las láminas de cobre-molibdeno

de láminas de cobre-molibdeno está en auge. Gracias a su alta conductividad térmica, baja expansión térmica y excelentes propiedades mecánicas, se ha expandido gradualmente desde los sectores tradicionales de la electrónica y la aeroespacial a los de las nuevas energías, la medicina y la defensa. En el ámbito de las nuevas energías, las láminas de cobre-molibdeno se utilizan ampliamente en sistemas de gestión de baterías de vehículos eléctricos y equipos de energías renovables gracias a su alta conductividad térmica y resistencia a la corrosión. Por ejemplo, el Mo60Cu40 se utiliza en sustratos de disipación de calor de módulos de potencia de vehículos eléctricos para gestionar eficazmente altas cargas térmicas; el Mo70Cu30 se utiliza en capas de absorción de células solares y componentes resistentes a la corrosión de turbinas eólicas. Se prevé que la industria eólica consumirá una gran cantidad de aleaciones de cobre-molibdeno para 2050. En el campo médico, la biocompatibilidad y la alta resistencia de las láminas de cobre-molibdeno las han hecho destacar en la fabricación de equipos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

médicos. Por ejemplo, el Mo85Cu15 se utiliza en los componentes de disipación de calor de los equipos de rayos X para garantizar la estabilidad del equipo en entornos de alta radiación; las láminas de cobre-molibdeno impresas en 3D se pueden utilizar para fabricar componentes de gestión térmica para dispositivos médicos implantables de precisión. El uso de láminas de cobre-molibdeno en el sector de defensa también está en auge. El Mo80Cu20 es adecuado para disipadores de calor en sistemas de misiles y radares debido a su baja expansión térmica y alta resistencia, cumpliendo con los requisitos de entornos de alta temperatura y alta vibración. La computación de alto rendimiento y la inteligencia artificial han abierto nuevos mercados para las láminas de cobre-molibdeno. La alta conductividad térmica y eléctrica del Mo50Cu50 lo convierten en una opción ideal para sustratos de disipación de calor para chips de servidores de centros de datos, lo que facilita la tecnología de empaquetado 3D de alta densidad.

Además, las nuevas aplicaciones de las láminas de cobre-molibdeno en el campo optoelectrónico siguen en expansión, como el Mo70Cu30 para láseres de alta potencia y portadores de chips LED, que optimizan la gestión térmica y el rendimiento del contacto eléctrico. La expansión intersectorial también se beneficia de las nuevas tecnologías de preparación, como la impresión 3D y la tecnología de nanocompuestos, que permiten personalizar estructuras complejas con láminas de cobre-molibdeno para satisfacer las necesidades de precisión de los sectores médico y de defensa. En el futuro, con el enfoque global en la eficiencia energética y la fabricación inteligente, se ampliará el potencial de aplicación de las láminas de cobre-molibdeno en intercambiadores de calor nucleares, pilas de combustible y terminales inteligentes, lo que impulsará el crecimiento de su mercado.

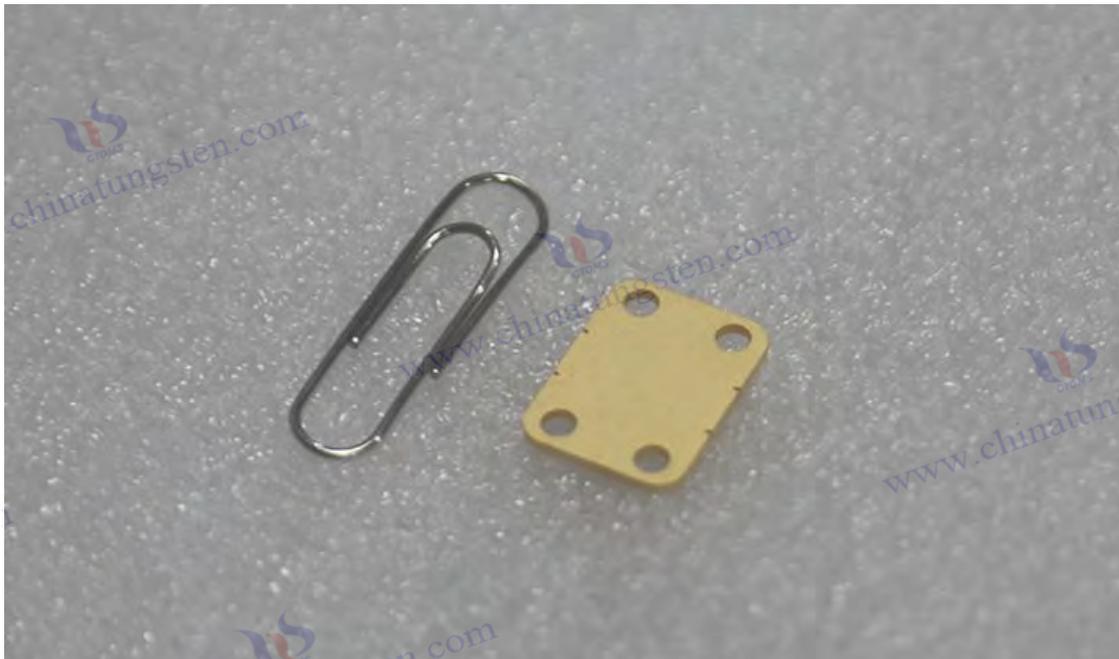


Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Copper Sheets Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

#### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

#### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3   |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5   |

#### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

#### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

## Capítulo 10 Normas nacionales e internacionales para láminas de cobre y molibdeno

### 10.1 Norma nacional china para láminas de cobre y molibdeno

Las normas nacionales de China proporcionan una guía normativa para la producción, las pruebas y la aplicación de [láminas de cobre-molibdeno](#), garantizando así la calidad del producto y la consistencia en la industria. Actualmente, la principal norma relacionada con las láminas de cobre-molibdeno es la norma industrial YS/T 1546-2022 "Placa de aleación de cobre-molibdeno", gestionada por el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, emitida el 30 de septiembre de 2022 e implementada el 1 de abril de 2023. El número de registro es 88796-2023. Esta norma es aplicable a las placas de aleación de cobre-molibdeno en estados de recocido deformado e infiltrado, y abarca grados comunes como Mo85Cu15, Mo80Cu20 y Mo70Cu30. Especifica la composición química, las propiedades físicas (como la densidad y la conductividad térmica) y los requisitos de procesamiento, y es adecuada para sustratos de disipación de calor y componentes conductores en los sectores del encapsulado electrónico, la industria aeroespacial y las comunicaciones.

Por ejemplo, la norma exige que la densidad de Mo70Cu30 sea de aproximadamente 9,6 g/cm<sup>3</sup>, la conductividad térmica de aproximadamente 200-250 W/ m·K y el coeficiente de expansión térmica de aproximadamente 8-10×10<sup>-6</sup>/K para garantizar la compatibilidad con los materiales cerámicos. Además, la norma YS/T 660-2022 "Marcas de productos para el procesamiento de molibdeno y aleaciones de molibdeno y composición química" también proporciona una referencia para la composición química de las láminas de cobre y molibdeno, aclarando el rango de contenido de molibdeno y cobre, y los requisitos para el control de impurezas. Otras normas relevantes incluyen la YS/T 1562.1-2022 "Métodos de análisis químico para aleaciones de cobre y tungsteno, parte 1: Determinación del contenido de cobre mediante digitalización con yodo y espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente", que proporciona soporte para la detección de la composición de las láminas de cobre y molibdeno. Estas normas son supervisadas por la Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China y el Comité Técnico Nacional de Normalización de Metales No Ferrosos (TC243) para garantizar su conformidad con los requisitos de la industria manufacturera de alta gama del XIV Plan Quinquenal del país. Empresas como CTIA GROUP LTD cumplen estrictamente estas normas para producir láminas de cobre-molibdeno que satisfacen las necesidades de las industrias electrónica y aeroespacial.

### 10.2 Normas internacionales para láminas de cobre y molibdeno

Las normas internacionales proporcionan especificaciones uniformes para la producción y el comercio de láminas de cobre-molibdeno en el mercado global, pero la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) aún no han emitido normas independientes específicas para láminas de cobre-molibdeno. Los requisitos pertinentes suelen integrarse en las normas de aleaciones de molibdeno o materiales compuestos. Las normas ISO 1554:1976 e ISO 1553:1976 (Métodos de análisis químico para aleaciones de cobre procesadas y fundidas, y cobre puro) proporcionan referencias para la determinación del contenido de cobre en láminas de cobre-molibdeno. El contenido de cobre se analiza mediante electrólisis para garantizar la precisión de la composición

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

química. Estas normas son parcialmente adoptadas por la norma china YS/T 1562.1-2022 para detectar el contenido de cobre de grados como Mo60Cu40. Además, la norma del sistema de gestión de calidad ISO 9001 se utiliza ampliamente en el control de calidad de los fabricantes de láminas de cobre-molibdeno para garantizar la consistencia del rendimiento del producto. Por ejemplo, CTIA GROUP LTD ha pasado la certificación ISO 9001 y ha optimizado el proceso de producción de Mo50Cu50 para satisfacer las necesidades de los equipos de comunicación 5G. Las normas internacionales también implican requisitos medioambientales y de seguridad, como el sistema de gestión medioambiental ISO 14001, que requiere la reducción de residuos y el consumo de energía en el proceso de producción, en línea con los estándares globales ESG. Aunque hay una falta de normas internacionales dedicadas a las láminas de cobre y molibdeno, los fabricantes de láminas de cobre y molibdeno suelen consultar las normas relacionadas con ISO/TC 119 (metalurgia de polvos) e ISO/TC 26 (cobre y aleaciones de cobre), combinadas con los requisitos del contrato del cliente, para personalizar parámetros de rendimiento como la conductividad térmica ( $150-270 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) y el coeficiente de expansión térmica ( $5-12 \times 10^{-6} /\text{K}$ ). En el futuro, a medida que se expanda la aplicación de las láminas de cobre y molibdeno en las nuevas energías y la electrónica, la ISO puede formular normas más específicas para regular el mercado global.

### **Estándares de láminas de cobre y molibdeno en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países del mundo.**

molibdeno en Europa, América, Japón, Corea del Sur y otros países suelen basarse en sus propios sistemas de normas de materiales o especificaciones industriales. Dado que las láminas de cobre y molibdeno son materiales de aplicación específica, existen pocas normas especiales, y los requisitos pertinentes se integran en las normas de aleaciones de cobre, aleaciones de molibdeno o materiales compuestos. En Estados Unidos, las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), como la ASTM B777 (norma de aleación de tungsteno de alta densidad), proporcionan referencias indirectas para las pruebas de rendimiento de las láminas de cobre y molibdeno. Aunque no están dirigidas directamente a las láminas de cobre y molibdeno, sus métodos de prueba (como la densidad y la resistencia a la tracción) son aplicables al control de calidad de grados como Mo85Cu15. Las empresas estadounidenses a menudo combinan los requisitos de personalización del cliente para producir láminas de cobre y molibdeno que satisfagan las necesidades aeroespaciales, como Mo80Cu20 para componentes de gestión térmica de satélites, con una conductividad térmica de aproximadamente  $170-200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . En Europa, el Comité Europeo de Normalización (CEN) regula indirectamente los requisitos de procesamiento de las láminas de cobre-molibdeno mediante la norma EN 13599 (placas y tiras de cobre y aleaciones de cobre), haciendo hincapié en la composición química y las propiedades mecánicas (como la resistencia a la tracción de 400-600 MPa). El Instituto Alemán de Normalización (DIN) también ofrece directrices similares. Algunas empresas consultan la norma DIN EN ISO 6892-1 para realizar ensayos de tracción en láminas de cobre-molibdeno y garantizar que la resistencia y la ductilidad del Mo70Cu30 cumplan los requisitos del encapsulado electrónico.

En Japón, las Normas Industriales Japonesas (JIS), como la JIS H 3100 (cobre y láminas y tiras de aleación de cobre), proporcionan referencias para la producción de láminas de cobre-molibdeno, haciendo hincapié en la conductividad eléctrica y térmica. Las láminas de cobre-molibdeno Mo60Cu40

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

producidas por empresas japonesas se utilizan ampliamente en equipos de comunicación de alta frecuencia, con una conductividad eléctrica de aproximadamente el 30-40 % IACS. La Agencia Coreana de Tecnología y Estándares (KATS) produce láminas de cobre-molibdeno que satisfacen las necesidades de las nuevas energías, como Mo50Cu50 para módulos de potencia de vehículos eléctricos, de acuerdo con las normas internacionales y los contratos de los clientes. Estos países suelen personalizar los parámetros de rendimiento de las láminas de cobre-molibdeno en combinación con las normas ISO y las prácticas de la industria, y garantizan el cumplimiento de la calidad y el medio ambiente mediante las certificaciones ISO 9001 e ISO 14001 . Las empresas europeas, estadounidenses, japonesas y coreanas también cooperan con fabricantes chinos como CTIA GROUP LTD, utilizando el estándar chino YS/T 1546-2022 como referencia para garantizar la consistencia del producto en el mercado global.

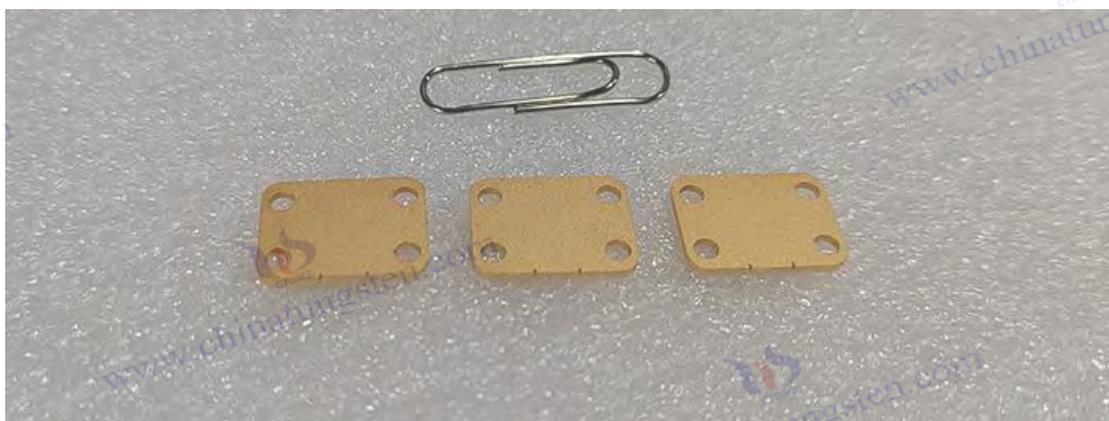


Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Apéndice: Glosario de términos sobre láminas de cobre y molibdeno

| el término                               | definición   | Ejemplos de aplicación   |
|--|--|--|
| <b>Lámina de cobre y molibdeno</b>       | El molibdeno (Mo) y el cobre (Cu) en una proporción específica se preparan mediante pulvimetalurgia o infiltración por fusión y tienen alta conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión térmica y alta resistencia. | La lámina de cobre y molibdeno Mo70Cu30 se utiliza para el sustrato de disipación de calor de la estación base 5G, y su conductividad térmica es de aproximadamente 200-250 W/m·K. |
| <b>molibdeno</b>                         | Metal de transición de alto punto de fusión, con excelente resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión, bajo coeficiente de expansión térmica y proporciona soporte estructural.                           | componentes aeroespaciales de alta temperatura.  |
| <b>cobre</b>                             | Metales altamente conductores y térmicamente conductores, que forman una red térmica y eléctricamente conductora y mejoran la ductilidad.  | La fase de cobre en Mo60Cu40 mejora la conductividad eléctrica y es adecuada para disipadores de calor en equipos de comunicación.   |
| <b>Marca</b>                             | Indica el porcentaje de masa o volumen de molibdeno y cobre en láminas de molibdeno-cobre, como Mo85Cu15 (85% molibdeno, 15% cobre).   | El Mo85Cu15 se utiliza en la industria aeroespacial y el Mo50Cu50 se utiliza en equipos electrónicos de alta frecuencia.   |
| <b>Conductividad térmica</b>             | Una medida de la capacidad de las láminas de cobre y molibdeno para conducir calor, medida en W/m·K, que aumenta con el contenido de cobre.  | La conductividad térmica de Mo50Cu50 es de 220-270 W/m·K y se utiliza para sustratos de disipación de calor de semiconductores de potencia.  |
| <b>Coefficiente de expansión térmica</b> | Indica la tasa de expansión de la lámina de cobre y molibdeno cuando cambia la temperatura, la unidad es $10^{-6}$ /K, que disminuye con el aumento del contenido de molibdeno.  | El CTE de Mo85Cu15 es de aproximadamente $5-7 \times 10^{-6}$ /K, lo que coincide con el material cerámico y reduce el estrés térmico.   |
| <b>Conductividad</b>                     | Una medida de la capacidad de una lámina de cobre y molibdeno para conducir corriente, expresada como un porcentaje de IACS, que aumenta con el contenido de cobre.  | La conductividad de Mo60Cu40 es de aproximadamente 30-40% IACS, lo que es adecuado para equipos de comunicación de alta frecuencia.  |
| <b>Propiedades mecánicas</b>             | molibdeno sometida a carga triaxial o ciclo térmico refleja la resistencia a la fatiga.  | Mo70Cu30 tiene buena tenacidad debido a su alto contenido de cobre y es adecuado para entornos de alta vibración en la industria aeroespacial.                                     |

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Resistencia a la corrosión</b>                               | La lámina de cobre y molibdeno para resistir la corrosión por medios corrosivos está dominada principalmente por la fase de molibdeno.  | Mo85Cu15 funciona bien en entornos marinos y es adecuado para componentes de gestión térmica aeroespacial.  |
| <b>Propiedades antioxidantes</b>                                | Lámina de cobre y molibdeno para resistir la reacción de oxidación en un entorno que contiene oxígeno a alta temperatura.   | El Mo80Cu20 permanece estructuralmente estable a 600 °C y es adecuado para dispositivos electrónicos de alta temperatura.   |
| <b>Resistencia a ácidos y álcalis</b>                           | molibdeno en ambientes ácidos o alcalinos.  | Mo85Cu15 funciona bien en ácidos no oxidantes como el ácido clorhídrico y es adecuado para piezas de la industria química.  |
| <b>Metalurgia de polvos</b>                                     | de molibdeno y cobre mediante mezcla de polvo de molibdeno y polvo de cobre, prensado y sinterizado a alta temperatura (1000-1400°C).   | El Mo85Cu15 se produce mediante pulvimetalurgia y tiene una resistencia a la tracción de 500-600 MPa.   |
| <b>Método de infiltración</b>                                   | de molibdeno y cobre obtenidas mediante la infiltración de cobre fundido en un esqueleto poroso de molibdeno son adecuadas para grados con alto contenido de cobre.                   | Mo50Cu50 optimiza la conductividad térmica a través de la infiltración de material fundido y es adecuado para disipadores de calor en equipos de comunicación 5G. |
| <b>Sinterización por prensado en caliente</b>                   | Una variación de la pulvimetalurgia, que mejora la densidad y las propiedades mecánicas de las láminas de cobre y molibdeno mediante sinterización a alta temperatura y alta presión. | La dureza Vickers de Mo80Cu20 alcanza 160-200 HV, lo que es adecuado para componentes aeroespaciales de alta temperatura.   |
| <b>Lámina de cobre y molibdeno de alta frecuencia</b>           | Las láminas de cobre-molibdeno están especialmente diseñadas para equipos electrónicos de alta frecuencia, con alta conductividad eléctrica y térmica.                                | Mo60Cu40 se utiliza en amplificadores de potencia de RF y tiene una conductividad de aproximadamente 30-40% IACS.   |
| <b>Lámina de cobre y molibdeno para uso aeroespacial</b>        | Las láminas de cobre y molibdeno diseñadas para la industria aeroespacial tienen baja expansión térmica y alta resistencia.   | Mo85Cu15 se utiliza en componentes de gestión térmica de motores a reacción y puede funcionar de forma estable a 600-800 °C.                                      |
| <b>Dispositivo fotoeléctrico tipo lámina de cobre molibdeno</b> | Las láminas de cobre y molibdeno diseñadas para dispositivos optoelectrónicos tienen una alta conductividad térmica y un coeficiente de expansión térmica correspondiente.            | Mo70Cu30 se utiliza como sustrato de disipación de calor de láser de alta potencia y coincide con el arseniuro de galio.  |

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>Hojas de datos de seguridad de materiales</b> | Un documento que proporciona información de seguridad para láminas de cobre y molibdeno, describiendo la composición química, los peligros potenciales y las pautas de manipulación. | La MSDS de China Tungsten Intelligence recomienda usar una máscara contra el polvo para evitar la inhalación de polvo durante el procesamiento. |
| <b>Fabricación inteligente</b>                   | Utilice la tecnología de inteligencia artificial e Internet industrial para optimizar la producción de láminas de cobre y molibdeno y mejorar la consistencia y la eficiencia.       | CTIA GROUP LTD produce Mo50Cu50 a través del control de sinterización automatizado para satisfacer las necesidades de los equipos 5G.           |
| <b>Fabricación aditiva</b>                       | Mediante la tecnología de impresión 3D se pueden producir láminas de cobre y molibdeno, con formas complejas y reduciendo el desperdicio de material.                                | El Mo60Cu40 se fabrica mediante impresión 3D en disipadores de calor complejos, lo que resulta adecuado para el campo aeroespacial.             |
| <b>Tecnología de nanocompuestos</b>              | La introducción de fases de nanorefuerzo (como el grafeno) en la interfaz molibdeno-cobre puede mejorar la conductividad térmica y la resistencia de la interfaz.                    | alcanza 260 W/ m·K después de añadir grafeno.   |
| <b>Estándares ESG</b>                            | Las normas ambientales, sociales y de gobernanza globales exigen que la producción de láminas de cobre y molibdeno reduzca el consumo de energía y los desechos.                     | Reciclar residuos de molibdeno y cobre para producir Mo70Cu30.  |
| <b>Año académico 1546-2022</b>                   | El estándar industrial de China "Placa de aleación de molibdeno y cobre" especifica la composición química y las propiedades físicas.  | Mo70Cu30 tiene una densidad de aproximadamente 9,6 g/cm <sup>3</sup> y es adecuado para envases electrónicos y aeroespaciales.                  |
| <b>ISO 9001</b>                                  | Normas internacionales del sistema de gestión de calidad, utilizadas para el control de calidad de las empresas de producción de láminas de cobre y molibdeno.                       | La empresa ha pasado la certificación ISO 9001 y ha optimizado el proceso de producción de Mo50Cu50.  |
| <b>ISO 14001</b>                                 | Las normas internacionales del sistema de gestión ambiental exigen que la producción de láminas de cobre-molibdeno reduzca el impacto ambiental.                                     | La tecnología de sinterización a baja temperatura se utiliza para producir láminas de cobre y molibdeno para reducir el consumo de energía.     |

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Referencias

- [1] Organización Internacional de Normalización. (1976). ISO 1553:1976: Cobre no aleado con un contenido de cobre no inferior al 99,90 %. Determinación del contenido de cobre. Método electrolítico. Ginebra, Suiza: ISO.
- [ 2 ] Organización Internacional de Normalización. (1976). ISO 1554:1976: Aleaciones de cobre forjado y fundido – Determinación del contenido de cobre – Método electrolítico. Ginebra, Suiza: ISO.
- [ 3 ] Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 9001:2015: Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos. Ginebra, Suiza: ISO.
- [ 4 ] Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 14001:2015: Sistemas de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso. Ginebra, Suiza: ISO.
- [ 5 ] Callister , WD, y Rethwisch, DG (2020). Ciencia e ingeniería de materiales: Introducción (10.<sup>a</sup> ed.). Hoboken, NJ: Wiley. ASM International. (1990). Manual ASM, Volumen 2: Propiedades y selección: Aleaciones no ferrosas y materiales para usos especiales. Materials Park, OH: ASM International.

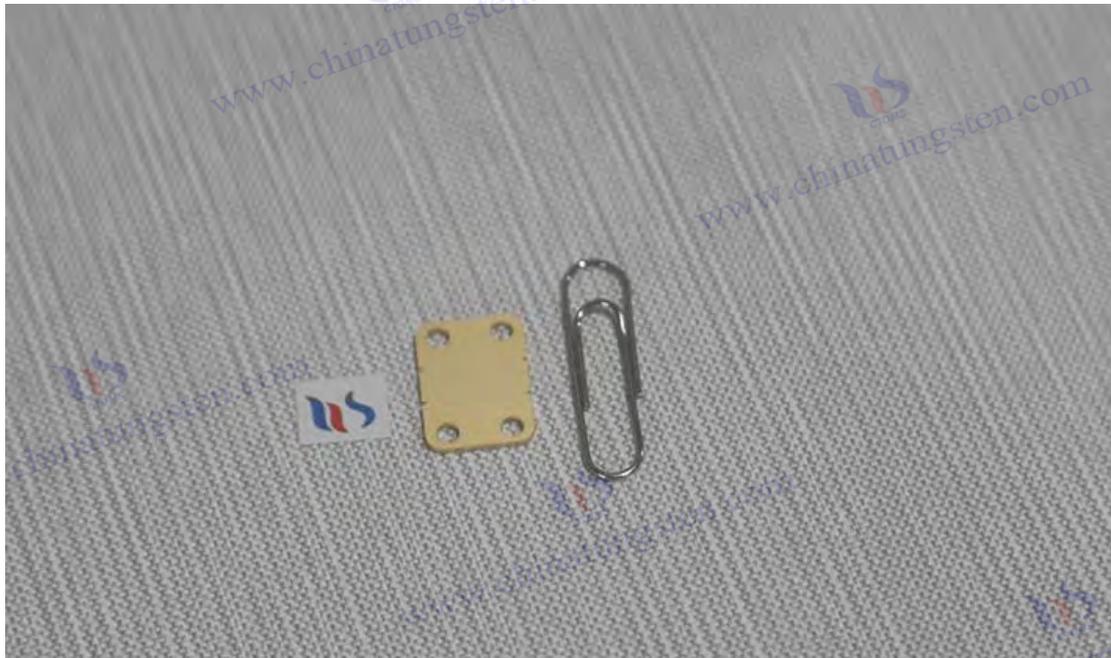


Imagen de láminas de cobre y molibdeno de CTIA GROUP LTD