

# Enciclopedia del alambre de molibdeno

中钨智造科技有限公司  
CTIA GROUP LTD

**CTIA GRUPO LTD**

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

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

## INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una subsidiaria de propiedad total 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 del 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 que se centra en las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos de tungsteno y molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación de su empresa matriz, servicios superiores y reputación comercial global, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicaciones en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha establecido más de 200 sitios web profesionales multilingües de tungsteno y molibdeno que cubren 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 piezas de información, sirviendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita diariamente a cientos de miles de profesionales de la industria en todo el mundo. Con visitas acumuladas a su grupo de sitios web y cuenta oficial que alcanzan miles de millones de veces, se ha convertido en un centro de información global y autorizado reconocido para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras, que brinda noticias multilingües las 24 horas del día, los 7 días de la semana, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado.

Sobre la base de la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando la tecnología de IA, diseña y produce de forma colaborativa productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como el tamaño de partícula, la densidad, la dureza, la resistencia, las dimensiones y las tolerancias) con los clientes. Ofrece servicios integrados de proceso completo que van desde la apertura de moldes, la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de investigación y desarrollo, 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. Basándose en esta base, CTIA GROUP profundiza aún más 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, basándose en sus más de 30 años de experiencia en la industria, también han escrito y publicado análisis de conocimientos, 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 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. Adhiriéndose 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 la práctica de producción y las necesidades de los clientes del mercado, ganando elogios generalizados en la industria. Estos logros brindan un sólido apoyo a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder mundial en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y servicios de información.



### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

## Directorio

### Capítulo 1: Introducción

- 1.1 Definición y descripción general del alambre de molibdeno
- 1.2 Historia y desarrollo del alambre de molibdeno
- 1.3 La importancia del alambre de molibdeno en la industria moderna
- 1.4 Estado actual de la investigación y aplicación del alambre de molibdeno

### Capítulo 2: Clasificación del alambre de molibdeno

- 2.1 Clasificación por composición química
  - 2.1.1 Alambre de molibdeno puro
  - 2.1.2 Alambre de molibdeno y lantano
  - 2.1.3 Alambre de molibdeno y renio
  - 2.1.4 Otros alambres aleados de molibdeno
- 2.2 Clasificación por uso
  - 2.2.1 Alambre de molibdeno para fuente de luz eléctrica
  - 2.2.2 Alambre de molibdeno para cortar alambre
  - 2.2.3 Alambre de molibdeno para pulverización
  - 2.2.4 Alambre de molibdeno para recubrimiento al vacío
  - 2.2.5 Alambre de molibdeno para elementos calefactores
  - 2.2.6 Alambre de molibdeno para componentes de hornos de alta temperatura
  - 2.2.7 Alambre de molibdeno para componentes electrónicos
  - 2.2.8 Alambre de molibdeno para uso médico y aeroespacial
- 2.3 Clasificación por estado de superficie
  - 2.3.1 Alambre de molibdeno negro
  - 2.3.2 Alambre de molibdeno limpio
- 2.4 Clasificación por método de procesamiento
  - 2.4.1 Alambre de molibdeno estirado en caliente
  - 2.4.2 Alambre de molibdeno estirado en frío
  - 2.4.3 Alambre de molibdeno de precisión
- 2.5 Clasificación por especificación
  - 2.5.1 Alambre de molibdeno ultrafino (diámetro < 0,05 mm)
  - 2.5.2 Alambre de molibdeno fino estándar (0,05–0,3 mm)
  - 2.5.3 Alambre de molibdeno medianamente grueso (0,3–1,0 mm de diámetro)
  - 2.5.4 Alambre de molibdeno grueso (diámetro > 1,0 mm)

### Capítulo 3: Características del alambre de molibdeno

- 3.1 Propiedades físicas del alambre de molibdeno
  - 3.1.1 Punto de fusión y punto de ebullición del alambre de molibdeno
  - 3.1.2 Densidad del alambre de molibdeno
  - 3.1.3 Coeficiente de dilatación térmica del alambre de molibdeno
  - 3.1.4 Conductividad del alambre de molibdeno
  - 3.1.5 Conductividad térmica del alambre de molibdeno

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 3.1.6 Dureza de Mohs del alambre de molibdeno
- 3.2 Propiedades químicas del alambre de molibdeno
  - 3.2.1 Estabilidad química del alambre de molibdeno
  - 3.2.2 Resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno
  - 3.2.3 Características de oxidación del alambre de molibdeno
  - 3.2.4 Valencia y reacción química del alambre de molibdeno
- 3.3 Propiedades mecánicas del alambre de molibdeno
  - 3.3.1 Resistencia a la tracción del alambre de molibdeno
  - 3.3.2 Ductilidad del alambre de molibdeno
  - 3.3.3 Tenacidad del alambre de molibdeno
  - 3.3.4 Propiedades de fatiga del alambre de molibdeno
- 3.4 Propiedades especiales del alambre de molibdeno
  - 3.4.1 Rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno
  - 3.4.2 Resistencia a la abrasión del alambre de molibdeno
  - 3.4.3 Propiedades no magnéticas del alambre de molibdeno
- 3.5 CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno MSDS

#### **Capítulo 4: Tecnología de preparación y producción de alambre de molibdeno**

- 4.1 Preparación de las materias primas
  - 4.1.1 Beneficio y purificación del concentrado de molibdeno
  - 4.1.2 Producción de polvo de molibdeno
  - 4.1.3 Adición de elementos de aleación
- 4.2 Proceso de metalurgia de polvos
  - 4.2.1 Prensado y moldeo de polvo de molibdeno
  - 4.2.2 Proceso de sinterización
  - 4.2.3 Preparación de la pieza en bruto
- 4.3 Trefilado
  - 4.3.1 Tecnología de trefilado en caliente
  - 4.3.2 Tecnología de estirado en frío
  - 4.3.3 Dibujo de varias pasadas
  - 4.3.4 Tecnología de lubricación y refrigeración
- 4.4 Tratamiento superficial
  - 4.4.1 Proceso de lavado cáustico (alambre de molibdeno limpio)
  - 4.4.2 Proceso de pulido
  - 4.4.3 Tratamiento del recubrimiento
- 4.5 Tratamiento térmico y recocido
  - 4.5.1 Parámetros del proceso de recocido
  - 4.5.2 Equipos de tratamiento térmico
- 4.6 Preparación de alambre de molibdeno de aleación especial
  - 4.6.1 Proceso de dopaje del alambre de lantano y molibdeno
  - 4.6.2 Producción de alambre de aleación de molibdeno-renio
- 4.7 Optimización de Procesos e Innovación Tecnológica
  - 4.7.1 Tecnología de producción automatizada

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

#### 4.7.2 Protección del medio ambiente y procesos de ahorro de energía

### Capítulo 5: Usos del alambre de molibdeno

- 5.1 Alambre de molibdeno para fuente de luz eléctrica
  - 5.1.1 Cables de soporte y cables en la fabricación de bombillas
  - 5.1.2 Materiales de electrodos para lámparas halógenas y fluorescentes
  - 5.1.3 Base de la lámpara LED y material de conexión
- 5.2 Alambre de molibdeno para cortar alambre
  - 5.2.1 Alambre de alambre para máquinas herramienta de electroerosión por hilo
  - 5.2.2 Corte de metales no ferrosos, acero y carburo cementado
  - 5.2.3 Moldes de precisión y procesamiento de formas complejas
- 5.3 Alambre de molibdeno para pulverización
  - 5.3.1 Recubrimientos resistentes al desgaste para piezas de automóviles
  - 5.3.2 Reparación de superficies y refuerzo de componentes mecánicos
  - 5.3.3 Pulverización térmica de componentes de motores aeronáuticos
- 5.4 Alambre de molibdeno para recubrimiento al vacío
  - 5.4.1 Materiales fuente de evaporación en deposición de película delgada
  - 5.4.2 Recubrimientos ópticos y decorativos
  - 5.4.3 Recubrimientos de semiconductores y células solares
- 5.5 Alambre de molibdeno para elementos calefactores
  - 5.5.1 Alambre calefactor para horno eléctrico de alta temperatura
  - 5.5.2 Elementos calefactores en hornos de vacío y hornos de atmósfera
  - 5.5.3 Aplicaciones en equipos de tratamiento térmico
- 5.6 Alambre de molibdeno para componentes de hornos de alta temperatura
  - 5.6.1 Componentes de soporte y fijación de hornos de alta temperatura
  - 5.6.2 Cables y partes de blindaje de los hornos de vacío
  - 5.6.3 Materiales estructurales para hornos de crecimiento de cristales
- 5.7 Alambre de molibdeno para componentes electrónicos
  - 5.7.1 Electrónica de vacío (tubos, tubos de rayos X)
  - 5.7.2 Fabricación de termopares y sensores
  - 5.7.3 Materiales de conexión para microelectrónica y circuitos integrados
- 5.8 Alambre de molibdeno para uso médico y aeroespacial
  - 5.8.1 Componentes de alta temperatura en dispositivos médicos (por ejemplo, objetivos de rayos X)
  - 5.8.2 Partes estructurales de los vehículos espaciales resistentes a la corrosión y a altas temperaturas
  - 5.8.3 Herramientas quirúrgicas mínimamente invasivas y materiales de implantes

### Capítulo 6: Equipo de producción de alambre de molibdeno

- 6.1 Equipo de manipulación de materias primas
  - 6.1.1 Equipo de procesamiento de minerales
  - 6.1.2 Equipo de producción de polvo de molibdeno
- 6.2 Equipos de pulvimetalurgia
  - 6.2.1 Prensas
  - 6.2.2 Sintering Furnaces

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 6.3 Equipo de trefilado
  - 6.3.1 Máquinas de trefilado
  - 6.3.2 Moldes y sistemas de lubricación
- 6.4 Equipo de tratamiento térmico
  - 6.4.1 Hornos de recocido
  - 6.4.2 Hornos de vacío
- 6.5 Equipos de tratamiento de superficies
  - 6.5.1 Equipo de lavado cáustico
  - 6.5.2 Equipos de pulido y recubrimiento
- 6.6 Equipos de prueba y control de calidad
  - 6.6.1 Equipo de detección de defectos por corrientes de Foucault
  - 6.6.2 Máquinas de ensayo de tracción
  - 6.6.3 Microscopios y espectrómetros
- 6.7 Automatización y equipos inteligentes
  - 6.7.1 Línea de producción automática de trefilado
  - 6.7.2 Sistema de monitoreo en línea

## **Capítulo 7: Estándares de alambre de molibdeno**

- 7.1 Norma nacional para alambre de molibdeno
  - 7.1.1 GB/T 4182-2003
  - 7.1.2 GB/t 3462-2007
  - 7.1.3 Otras normas nacionales pertinentes
- 7.2 Normas internacionales para el alambre de molibdeno
  - 7.2.1 Norma ASTM B387 para varillas, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno
  - 7.2.2 Normas ISO
  - 7.2.3 Otras normas internacionales (por ejemplo, JIS, DIN)
- 7.3 Estándar de la industria de alambre de molibdeno
  - 7.3.1 Comité Técnico Nacional de Normalización de Metales No Ferrosos (TC243)
  - 7.3.2 Normas internas
- 7.4 Comparación y análisis de los patrones de alambre de molibdeno
  - 7.4.1 Diferencias entre normas nacionales y extranjeras
  - 7.4.2 Aplicabilidad y limitaciones de las normas

## **Capítulo 8: Métodos de detección de alambre de molibdeno**

- 8.1 Pruebas de composición química del alambre de molibdeno
  - 8.1.1 Análisis espectral (ICP-MS, XRF)
  - 8.1.2 Valoración química
- 8.2 Pruebas de propiedades físicas del alambre de molibdeno
  - 8.2.1 Ensayo de resistencia a la tracción
  - 8.2.2 Ensayo de elongación
  - 8.2.3 Ensayo de dureza
- 8.3 Inspección de la calidad de la superficie del alambre de molibdeno
  - 8.3.1 Observación microscópica

### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 8.3.2 Detección de defectos por corrientes de Foucault
- 8.3.3 Ensayo de rugosidad superficial
- 8.4 Pruebas de tamaño y tolerancia del alambre de molibdeno
  - 8.4.1 Calibre láser
  - 8.4.2 Micrómetros y micromediciones
- 8.5 Otras pruebas de alambre de molibdeno
  - 8.5.1 Prueba de resistencia a altas temperaturas
  - 8.5.2 Ensayo de resistencia a la corrosión
  - 8.5.3 Ensayo de rendimiento eléctrico
- 8.6 Método de identificación de los residuos de alambre de molibdeno
  - 8.6.1 Prueba de quemado
  - 8.6.2 Ensayo magnético
  - 8.6.3 Prueba de ácido nítrico concentrado
  - 8.6.4 Controles de peso y elasticidad

## **Capítulo 9: Mercado de alambre de molibdeno y tendencia de desarrollo**

- 9.1 Descripción general del mercado global de alambre de molibdeno
  - 9.1.1 Principales países productores
  - 9.1.2 Oferta y demanda del mercado
- 9.2 Mercado nacional de alambre de molibdeno
  - 9.2.1 Principales fabricantes (por ejemplo, fabricación de tungsteno chino)
  - 9.2.2 Cuota de mercado y panorama competitivo
- 9.3 Tendencia de desarrollo del alambre de molibdeno
  - 9.3.1 Desarrollo de nuevos materiales y procesos
  - 9.3.2 Tecnología de fabricación inteligente y trazabilidad de la calidad
  - 9.3.3 Desarrollo de nuevos alambres de aleación de molibdeno
  - 9.3.4 Desarrollo de materiales degradables o alternativos
  - 9.3.5 Nuevas perspectivas de aplicación del alambre de molibdeno en la nueva dirección energética, 5G y médica

## **Capítulo 10: Medio ambiente y seguridad del alambre de molibdeno**

- 10.1 Impacto ambiental de la producción de alambre de molibdeno
  - 10.1.1 Tratamiento de gases residuales y aguas residuales
  - 10.1.2 Gestión de Residuos Sólidos
- 10.2 Especificaciones de seguridad para la producción de alambre de molibdeno
  - 10.2.1 Seguridad del funcionamiento a alta temperatura
  - 10.2.2 Uso seguro de productos químicos
- 10.3 Reciclaje y reutilización de residuos de alambre de molibdeno
  - 10.3.1 Proceso de reciclaje

## **Apéndice**

- A. Glosario de términos
- B. Referencias

### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

## Capítulo 1 Introducción

### 1.1 Definición y descripción general del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno es un tipo de material similar a un filamento hecho de metal de molibdeno o su aleación, a través de pulvimetalurgia, trefilado, tratamiento térmico y otros procesos, generalmente con un diámetro de entre 0,03 mm y varios mm. El molibdeno (símbolo químico Mo, número atómico 42) es un metal de transición de alto punto de fusión con excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas, tales como alta resistencia, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica y térmica. Estas características hacen que el alambre de molibdeno tenga un papel insustituible en una variedad de campos industriales. El alambre de molibdeno se puede dividir en alambre de molibdeno puro (la pureza generalmente  $\geq 99.95\%$ ) y alambre de aleación de molibdeno (como alambre de lantano-molibdeno, alambre de aleación de molibdeno-renio, etc.), que se puede dividir en alambre de molibdeno negro (sin lavado con álcali, la capa de óxido superficial es de color negro-gris) y alambre de molibdeno limpio (después del lavado o pulido con álcali, la superficie es de color blanco plateado) según el estado de la superficie. El alambre de molibdeno está disponible en una variedad de especificaciones, desde alambre de molibdeno ultrafino (diámetro  $< 0,1$  mm) hasta alambre de molibdeno grueso (diámetro  $> 1,0$  mm), para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones.

El proceso de producción de alambre de molibdeno es complejo, implica múltiples procesos, desde la purificación del concentrado de molibdeno hasta el trefilado, y su núcleo es controlar la estructura del grano y la calidad de la superficie para garantizar la estabilidad del rendimiento. El alambre de molibdeno se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluida la electroerosión por hilo, fuentes de luz eléctrica, recubrimientos al vacío, componentes de hornos de alta temperatura, fabricación de componentes electrónicos y aplicaciones médicas y aeroespaciales. El alto punto de fusión del alambre de molibdeno (alrededor de  $2623$  °C) y su bajo coeficiente de expansión térmica lo hacen excelente en altas temperaturas y entornos extremos, mientras que su buena conductividad y estabilidad química lo convierten en una posición importante en las industrias de mecanizado de precisión y electrónica. Además, el alambre de molibdeno también es respetuoso con el medio ambiente y reciclable, y el alambre de molibdeno residual se puede refinar mediante el proceso de reciclaje, que cumple con los requisitos de la fabricación ecológica moderna.

### 1.2 Historia y desarrollo del alambre de molibdeno

El molibdeno, como metal raro, tiene una historia de descubrimientos y aplicaciones que se remonta a finales del siglo XVIII. En 1778, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele aisló por primera vez el elemento molibdeno y lo llamó "Molibdeno", derivado de la palabra griega "molibdos", que significa "similar al plomo", porque su mineral se parece al mineral de plomo. En 1790, otro químico sueco, Peter Jacob Hjelm, preparó el molibdeno metálico mediante la reducción del ácido de molibdeno, sentando las bases para aplicaciones posteriores. Sin embargo, debido al alto punto de fusión y la dificultad de procesamiento del molibdeno, su aplicación fue limitada en los primeros días y se utilizó principalmente para la investigación de laboratorio.

A finales del siglo XIX y principios del XX, con el crecimiento de la tecnología metalúrgica y la

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

demanda de materiales de alta temperatura, el molibdeno comenzó a entrar en el campo industrial. A principios de la década de 1900, se descubrió que el molibdeno era un elemento de aleación para mejorar significativamente la fuerza y la resistencia a la corrosión del acero, y el acero al molibdeno comenzó a usarse en la fabricación de armas y en la industria mecánica. El desarrollo del alambre de molibdeno está estrechamente relacionado con el auge de la industria de las fuentes de luz eléctrica. En 1910, William M. William D. Coolidge desarrolló bombillas de filamento de tungsteno en General Electric Company en los Estados Unidos, y el alambre de molibdeno se utilizó como alambre de soporte y material de plomo para las bombillas debido a su resistencia similar a altas temperaturas y menor costo que el tungsteno. Desde entonces, la aplicación del alambre de molibdeno se ha expandido gradualmente a otros campos, como la electrónica de vacío y las estufas de alta temperatura.

A mediados del siglo XX, la aparición de la tecnología de electroerosión promovió aún más el desarrollo del alambre de molibdeno. En la década de 1950, China comenzó a explorar la aplicación del alambre de molibdeno en la electroerosión por hilo, y con su alta resistencia y resistencia a la erosión por arco, el alambre de molibdeno se convirtió en un material de electrodo ideal para las máquinas herramienta de corte de alambre. En el siglo XXI, con el progreso de la nanotecnología, la fabricación de precisión y la industria aeroespacial, el proceso de preparación del alambre de molibdeno se ha optimizado continuamente, y el desarrollo de alambre de molibdeno ultrafino y alambre de molibdeno aleado (como el alambre de lantano-molibdeno y el alambre de aleación de molibdeno-renio) ha mejorado significativamente su rendimiento. Por ejemplo, Chinatungsten Online informó que en los últimos años, la tecnología de producción de alambre de molibdeno de China ha alcanzado el nivel avanzado internacional, y se han logrado avances en la tecnología de estirado y el proceso de dopaje del alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,02 mm) para satisfacer las necesidades de los campos de la microelectrónica y la medicina.

### **1.3 La importancia del alambre de molibdeno en la industria moderna**

El alambre de molibdeno tiene una posición insustituible en la industria moderna debido a su combinación única de propiedades. En primer lugar, el alto punto de fusión del alambre de molibdeno y su excelente estabilidad a altas temperaturas lo convierten en el material elegido para entornos de alta temperatura. Por ejemplo, en los hornos de vacío de alta temperatura, el alambre de molibdeno se utiliza como elemento calefactor y miembro de soporte, que puede funcionar de manera estable durante mucho tiempo a temperaturas superiores a 2000 °C. En segundo lugar, la excelente conductividad y resistencia a la erosión por arco del alambre de molibdeno lo hacen ampliamente utilizado en la electroerosión por hilo, que puede cortar de manera eficiente materiales de alta dureza como el carburo cementado y la aleación de titanio, y es ampliamente utilizado en el procesamiento de moldes de precisión y piezas aeroespaciales. Chinatungsten Online señaló que China, como el mayor productor mundial de alambre de molibdeno, representa más del 70% de la cuota de mercado mundial de alambre de molibdeno para el corte de alambre.

En el campo de las fuentes de luz eléctrica, el alambre de molibdeno se utiliza como cable de soporte y conductor para bombillas debido a su buena compatibilidad térmica con el vidrio y resistencia a altas temperaturas, especialmente en lámparas halógenas y fluorescentes. Además, el alambre de

#### **Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal**

molibdeno también desempeña un papel importante en el campo del recubrimiento al vacío y la pulverización térmica. Por ejemplo, el alambre de molibdeno se puede utilizar como material fuente de evaporación para depositar películas ópticas y semiconductoras; En la pulverización térmica, el recubrimiento por pulverización de alambre de molibdeno puede mejorar significativamente la resistencia al desgaste de los anillos de pistón de los automóviles y los componentes de los motores aeronáuticos. El alambre de molibdeno también se utiliza en termopares, tubos de rayos X y cables microelectrónicos en la fabricación de componentes electrónicos, donde su alta pureza y bajo contenido de impurezas garantizan una alta confiabilidad del dispositivo.

En los campos médico y aeroespacial, no se puede ignorar la aplicación del alambre de molibdeno. La alta resistencia y biocompatibilidad del alambre de molibdeno permiten su uso en la fabricación de objetivos de rayos X y herramientas quirúrgicas mínimamente invasivas; El alambre de aleación de molibdeno-renio es ampliamente utilizado en partes estructurales de alta temperatura de naves espaciales debido a su excelente resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas. Además, la aplicación del alambre de molibdeno en el campo de las nuevas energías también está aumentando, como los materiales de electrodos y los portadores de catalizadores para células solares, lo que ayuda al desarrollo de la energía verde. En resumen, la versatilidad y el alto rendimiento del alambre de molibdeno lo convierten en un material pilar para la industria moderna, que es ampliamente utilizado en industrias estratégicas como la fabricación de maquinaria, electrónica, energía, médica y aeroespacial.

#### **1.4 Estado actual de la investigación y aplicación del alambre de molibdeno**

En la actualidad, la investigación y aplicación del alambre de molibdeno se encuentra en una etapa de rápido desarrollo, y se ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones en torno a la ciencia de los materiales, la tecnología de procesos y los campos de aplicación del alambre de molibdeno en todo el mundo. En la ciencia de los materiales, la investigación se centra en mejorar la resistencia, la tenacidad y las propiedades a alta temperatura del alambre de molibdeno. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con elementos de tierras raras (por ejemplo, lantano, itrio) aumenta significativamente la temperatura de recristalización y la resistencia a la tracción, lo que lo hace adecuado para entornos de alta temperatura más exigentes. El desarrollo del alambre de aleación de molibdeno renio amplía aún más la aplicación del alambre de molibdeno en entornos extremos, como boquillas de naves espaciales y sensores de alta temperatura. Según la investigación, las instituciones de investigación científica chinas han logrado avances en la tecnología de preparación de alambre de molibdeno a nanoescala en los últimos años, y la resistencia a la tracción del alambre de molibdeno ultrafino puede alcanzar más de 3000 MPa controlando el tamaño de grano y los defectos de la superficie, que está cerca del límite teórico.

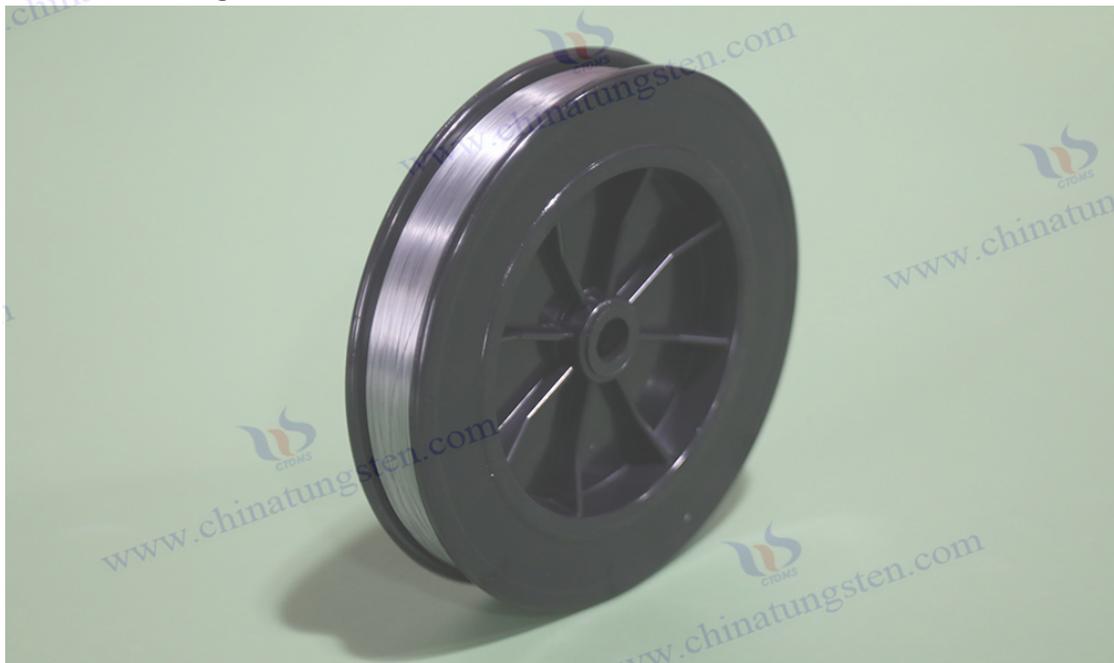
En términos de proceso de producción, la tecnología de preparación de alambre de molibdeno se ha desarrollado desde la pulvimetalurgia tradicional y el proceso de trefilado hasta la dirección de la inteligencia y el verde. La aplicación de la línea de producción automática de trefilado y el sistema de monitoreo en línea mejora la eficiencia de la producción y la estabilidad de la calidad del producto. Al mismo tiempo, la introducción de procesos respetuosos con el medio ambiente, como la sinterización de baja energía y el reciclaje de aguas residuales, reduce el impacto ambiental de la

#### **Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal**

producción de alambre de molibdeno. Además, la tecnología de reciclaje de alambre de molibdeno de desecho también se ha convertido en un punto caliente de investigación, y el método de disolución química y el método de recuperación electrolítica pueden extraer de manera eficiente el metal de molibdeno, con una tasa de recuperación de más del 90%.

En términos de campos de aplicación, la demanda de alambre de molibdeno en industrias de alto valor agregado continúa creciendo. La demanda de alambre de molibdeno de alta precisión en el campo de la electroerosión por hilo ha impulsado el desarrollo de alambre de molibdeno ultrafino para cumplir con los requisitos del procesamiento de micras. En el campo de las nuevas energías, el alambre de molibdeno se utiliza como material de electrodo para células solares y pilas de combustible, con una tasa de crecimiento anual promedio de más del 10%. La demanda de alambre de aleación de molibdeno-renio en el sector aeroespacial también está aumentando, especialmente en motores de alta relación empuje-peso y equipos de exploración del espacio profundo. La investigación en el campo de la medicina se centra en la aplicación del alambre de molibdeno en biosensores y dispositivos médicos implantables, aprovechando su biocompatibilidad y alta resistencia.

Sin embargo, la industria del alambre de molibdeno también enfrenta desafíos, incluidos los precios fluctuantes de las materias primas, los altos costos de producción y el aumento de la competencia en el mercado internacional. Como país importante en los recursos de molibdeno del mundo, China tiene ventajas únicas, pero necesita mejorar aún más sus capacidades independientes de investigación y desarrollo de alambre de molibdeno de alta gama para hacer frente a la competencia de empresas europeas y estadounidenses (como Plansee y H.C. Starck). En el futuro, la dirección de investigación del alambre de molibdeno se centrará en el desarrollo de nanomateriales, producción inteligente y materiales compuestos multifuncionales para satisfacer las necesidades de las industrias emergentes.



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno limpio

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

## Capítulo 2 Clasificación del alambre de molibdeno

### 2.1 Clasificación por composición química

La composición química del alambre de molibdeno es la base de su diferencia de rendimiento, y de acuerdo con el tipo y contenido de elementos agregados, el alambre de molibdeno se puede dividir en alambre de molibdeno puro y una variedad de alambre de molibdeno aleado. La diferencia en la composición química afecta directamente las propiedades mecánicas, el rendimiento a alta temperatura y los campos de aplicación del alambre de molibdeno. La siguiente es una introducción detallada a la composición, las características y los escenarios de aplicación de varios tipos de alambre de molibdeno.

#### 2.1.1 Alambre de molibdeno puro

El alambre de molibdeno puro se refiere al alambre de molibdeno hecho de molibdeno de alta pureza (la pureza suele ser  $\geq$  del 99,95%) como materia prima, que no contiene o solo contiene trazas de otros elementos. El alambre de molibdeno puro tiene un alto punto de fusión (alrededor de 2623 °C), buena conductividad eléctrica y térmica y una excelente resistencia a la corrosión, que es especialmente adecuada para su uso en entornos de alta temperatura y vacío. Su resistencia a la tracción es generalmente de 800-1200 MPa, el alargamiento es de aproximadamente 2-5%, la estructura del grano es uniforme y es adecuado para dibujar en varias especificaciones. El proceso de producción de alambre de molibdeno puro es relativamente simple, preparado principalmente por pulvimetalurgia y trefilado de múltiples pasadas, y la superficie puede ser alambre de molibdeno negro (con capa de óxido) o alambre de molibdeno limpio (después del lavado o pulido con álcali).

El alambre de molibdeno puro es ampliamente utilizado en fuentes de luz eléctrica, corte de alambre y fabricación de componentes electrónicos. Por ejemplo, en el campo de las fuentes de luz eléctrica, el alambre de molibdeno puro se utiliza como cable de soporte y cable para la bombilla, ya que se adapta bien al coeficiente de expansión térmica del vidrio y garantiza un sellado confiable. En la electroerosión por hilo, el alambre de molibdeno puro se ha convertido en el alambre de electrodo preferido para el procesamiento de piezas de trabajo pequeñas y medianas debido a su alta resistencia y resistencia a la erosión por arco. El alambre de molibdeno puro representa aproximadamente el 60% del mercado mundial de alambre de molibdeno debido a su bajo costo y rendimiento estable. Sin embargo, el alambre de molibdeno puro no es adecuado para aplicaciones de temperaturas extremadamente altas debido a su baja temperatura de recristalización (alrededor de 1000-1200 °C) y su tendencia al crecimiento de grano en entornos de temperatura ultra alta, lo que resulta en una disminución de la resistencia.

#### 2.1.2 Alambre de molibdeno y lantano

El alambre de lantano y lantano (alambre de lantano y molibdeno) se fabrica dopando una pequeña cantidad de óxido de lantano ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) en una matriz de molibdeno, generalmente 0.3-1.0 % en peso. La adición de óxido de lantano aumentó significativamente la temperatura de recristalización del alambre de molibdeno (hasta 1500-1800 °C) y mejoró la resistencia a la fluencia y la resistencia a la tracción a alta temperatura (hasta más de 1500 MPa). El alambre de lantano y molibdeno tiene una estructura de grano más fino, ductilidad y tenacidad que el alambre de molibdeno puro, y es

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

adecuado para su uso en entornos de carga dinámica y de alta temperatura. Su superficie suele ser alambre de molibdeno limpio, que se pule finamente para cumplir con los requisitos de alta precisión.

El alambre de lantano y molibdeno se utiliza principalmente en estufas de alta temperatura y campos aeroespaciales. Por ejemplo, en los hornos de crecimiento de silicio monocristalino, el alambre de lantano y molibdeno se utiliza como elemento calefactor y miembro de soporte, que puede funcionar por encima de 1700 °C durante mucho tiempo sin deformación. En el sector aeroespacial, el alambre de lantano y molibdeno se utiliza en la fabricación de boquillas de alta temperatura y fundas protectoras de termopares. En los últimos años, China ha optimizado el proceso de dopaje del alambre de lantano y molibdeno y ha mejorado aún más la resistencia a la oxidación y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno mediante el control de la distribución y el tamaño de las partículas de óxido de lantano. El costo de producción del alambre de lantano y molibdeno es más alto que el del alambre de molibdeno puro, pero su excelente rendimiento a alta temperatura le da una ventaja competitiva en aplicaciones de alta gama.

### 2.1.3 Alambre de renio molibdeno

El alambre de molibdeno-renio es una aleación de alambre de molibdeno dopado con elementos de renio (Re) en una matriz de molibdeno, y el contenido de renio suele estar entre el 3 y el 41 % en peso. La adición de renio mejora significativamente la ductilidad, la tenacidad y la resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno y, al mismo tiempo, reduce la temperatura de transición frágil, de modo que el alambre de renio y molibdeno aún tiene buena maquinabilidad a bajas temperaturas. Su resistencia a la tracción puede alcanzar más de 2000 MPa, la temperatura de recristalización es tan alta como 1800-2000 °C y la resistencia a la oxidación a alta temperatura es mejor que la del alambre de molibdeno puro y el alambre de molibdeno lantano. El proceso de producción de alambre de renio y molibdeno es complejo y debe sinterizarse y estirarse en vacío o en atmósfera inerte para evitar la volatilización del renio.

El alambre de renio y molibdeno se utiliza principalmente en los campos de sensores aeroespaciales, médicos y de alta temperatura. Por ejemplo, en los motores aeroespaciales, el alambre de renio y molibdeno se utiliza para fabricar boquillas resistentes a altas temperaturas y revestimientos de palas de turbinas; En el campo de la medicina, el alambre de renio y molibdeno se utiliza para objetivos de rayos X y herramientas quirúrgicas mínimamente invasivas debido a su biocompatibilidad y alta resistencia. El International Journal of Materials Science informa que el desarrollo del alambre de molibdeno-renio ha promovido el progreso de los materiales de superaleación, pero su alto costo (el renio es un metal precioso raro) limita su aplicación en la industria a gran escala. Las empresas chinas han desarrollado alambres con bajo contenido de renio-molibdeno (5-10% en peso) con aleaciones más rentables mediante la optimización de la relación de aleación, que se utilizan ampliamente en los mercados médico y aeroespacial.

### 2.1.4 Otros hilos aleados de molibdeno

Además del alambre de molibdeno y lantano y el alambre de molibdeno-renio, otros alambres de aleación de molibdeno incluyen alambre de itrio y molibdeno (alambre de itrio y molibdeno), alambre de aleación de silicio-aluminio potásico-molibdeno (alambre de molibdeno Si-Al-K), etc.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El alambre de itrio-molibdeno está dopado con óxido de itrio ( $Y_2O_3$ , 0.2-0.8 % en peso) para mejorar la resistencia a la tracción y la resistencia a la oxidación del alambre de molibdeno, que es adecuado para hornos de alta temperatura y dispositivos electrónicos. El alambre de aleación de silicio-aluminio-potasio-molibdeno se utiliza principalmente en la industria de fuentes de luz eléctrica, donde se agregan elementos de silicio, aluminio y potasio (contenido total <1% en peso) para mejorar la resistencia al pandeo y la resistencia a altas temperaturas, y se encuentran comúnmente en los filamentos de soporte de lámparas halógenas y lámparas fluorescentes. Además, el alambre de aleación de molibdeno-tungsteno (Mo-W) y el alambre de aleación de molibdeno-titanio (Mo-Ti) también se utilizan en campos específicos, como equipos químicos resistentes a la corrosión y piezas estructurales de alta temperatura.

Estos alambres de aleación de molibdeno se han desarrollado para las necesidades específicas de la aplicación para optimizar el rendimiento a través de un control preciso de las proporciones y distribuciones de los elementos dopantes. Por ejemplo, el alambre de itrio-molibdeno es superior al alambre de lantano y molibdeno en términos de refinamiento del grano y es adecuado para la producción de alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,05 mm). La producción de alambre de molibdeno en otras aleaciones generalmente adopta pulvimetalurgia combinada con tecnología de dopaje, que requiere un control estricto de la temperatura de sinterización y el proceso de estirado para evitar la segregación elemental.

## 2.2 Clasificación por uso

El alambre de molibdeno se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluidas fuentes de luz eléctrica, mecanizado de precisión, aplicaciones de alta temperatura, recubrimientos, electrónica, aplicaciones médicas y aeroespaciales. Dependiendo de la aplicación, la composición, las especificaciones y los requisitos de tratamiento de la superficie del alambre de molibdeno varían. La siguiente es una introducción detallada a las características y escenarios de aplicación del alambre de molibdeno para diversos propósitos.

### 2.2.1 Alambre de molibdeno para fuente de luz eléctrica

El alambre de molibdeno para fuente de luz eléctrica se utiliza principalmente en la fabricación de bombillas, como lámparas halógenas, lámparas fluorescentes y lámparas incandescentes, y el alambre de molibdeno puro o el alambre de aleación de silicio-aluminio-potasio-molibdeno se usa comúnmente. Su característica clave es coincidir con el coeficiente de expansión térmica del vidrio (aprox.  $5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ) para garantizar la fiabilidad del sellado a alta temperatura; Al mismo tiempo, el alto punto de fusión y la resistencia a la oxidación del alambre de molibdeno garantizan su estabilidad a la temperatura de funcionamiento de la bombilla (500-1000 °C). La especificación típica es de 0,1-0,5 mm de diámetro, y la superficie es principalmente alambre de molibdeno limpio para reducir la contaminación por impurezas.

En las lámparas halógenas, el alambre de molibdeno se utiliza como soporte y plomo para el alambre de tungsteno; En las lámparas fluorescentes, el cable de molibdeno actúa como una salida de electrodo que conecta el recubrimiento de fósforo al circuito externo. El alambre de molibdeno para la fuente de luz eléctrica debe pasar por un estricto proceso de pulido y limpieza de la superficie

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

para evitar trazas de impurezas que afecten la vida útil de la bombilla. En los últimos años, con la popularidad de las lámparas LED, la aplicación de alambre de molibdeno en la base LED y la conexión de electrodos ha aumentado gradualmente debido a su alta conductividad y resistencia a la corrosión.

### 2.2.2 Alambre de molibdeno para cortar alambre

El alambre de molibdeno para electroerosión por hilo es el material del electrodo central de las máquinas herramienta de electroerosión por hilo, que utiliza principalmente alambre de molibdeno puro o alambre de lantano de molibdeno, generalmente con un diámetro de 0,1-0,3 mm. La alta resistencia a la tracción (800-1500 MPa) y la resistencia a la erosión por arco del alambre de molibdeno le permiten soportar descargas de alta frecuencia y es adecuado para cortar materiales de alta dureza como carburo cementado, aleaciones de titanio y acero inoxidable. El alambre de molibdeno para electroerosión por hilo debe tener tolerancias de diámetro uniformes y una superficie lisa para garantizar la precisión del mecanizado.

Según los informes, China es el mayor productor mundial de alambre de molibdeno cortado con alambre, lo que representa más del 70% de la cuota de mercado, que se usa ampliamente en la fabricación de moldes, piezas aeroespaciales y mecanizado de precisión. Por ejemplo, el alambre de molibdeno puede alcanzar una precisión de 0,01 mm en la microperforación de álabes de turbinas para motores aeronáuticos. El alambre de lantano y molibdeno está reemplazando gradualmente al alambre de molibdeno puro para el corte de alambre a alta velocidad debido a su mayor resistencia y resistencia al desgaste.

### 2.2.3 Alambre de molibdeno para pulverización

El alambre de molibdeno para pulverización se utiliza en el proceso de pulverización térmica, donde el alambre de molibdeno fundido se rocía sobre la superficie del sustrato a través de pulverización de plasma o llama para formar un recubrimiento resistente al desgaste y a la corrosión. El alambre de molibdeno puro o el alambre de lantano de molibdeno se usa comúnmente, el diámetro es generalmente de 1.0-3.2 mm y la superficie es principalmente alambre de molibdeno negro para facilitar la fusión. Los recubrimientos de molibdeno están disponibles en dureza de hasta HV 800-1000, lo que mejora significativamente la resistencia al desgaste y la vida útil de los sustratos, y se usan ampliamente en anillos de pistón automotrices, componentes de motores aeronáuticos y moldes industriales.

El alambre de molibdeno para pulverización debe tener una alta pureza y una composición química uniforme para garantizar la calidad del recubrimiento. La pulverización de la capa superficial de óxido del alambre de molibdeno puede mejorar la eficiencia de la pulverización, pero el grado de oxidación debe controlarse para evitar defectos de recubrimiento. En los últimos años, la demanda de alambre de lantano y molibdeno ha aumentado en aplicaciones de pulverización a alta temperatura debido a su mayor punto de fusión y resistencia a la oxidación.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

#### 2.2.4 Alambre de molibdeno para recubrimiento al vacío

El alambre de molibdeno para recubrimiento al vacío se utiliza como material fuente de evaporación para procesos de deposición física de vapor (PVD) para depositar películas ópticas, decorativas y funcionales. El alambre de molibdeno puro o el alambre de lantano de molibdeno se usa comúnmente, con un diámetro de 0.1-0.5 mm, y se requiere una alta pureza ( $\geq 99.99\%$ ) y un bajo contenido de impurezas para garantizar la calidad de la película. El alambre de molibdeno se calienta a 1500-2000 °C en un entorno de vacío y, después de la evaporación, se forma una película uniforme en el sustrato.

Las aplicaciones incluyen recubrimientos de lentes ópticas, electrodos de células solares y dispositivos semiconductores. [Chinatungsten Online](#) señaló que el alambre de molibdeno para el recubrimiento al vacío debe recocerse y pulirse varias veces para reducir los defectos de la superficie y la porosidad. El alambre de lantano y molibdeno tiene una ventaja en los equipos de recubrimiento de alta potencia debido a su mayor temperatura de recristalización.

#### 2.2.5 Alambre de molibdeno para elementos calefactores

El alambre de molibdeno para el elemento calefactor se usa principalmente en hornos eléctricos de alta temperatura y hornos de vacío, y el alambre de molibdeno y lantano o alambre de molibdeno renio se usa comúnmente, con un diámetro de 0.5-2.0 mm. Su alto punto de fusión y baja presión de vapor garantizan un funcionamiento estable por encima de 2000 °C, lo que es adecuado para hornos de crecimiento monocristalinos, hornos de tratamiento térmico y hornos de sinterización. La conductividad del alambre de molibdeno (alrededor del 18% de IACS) y el bajo coeficiente de expansión térmica lo hacen excelente en entornos dinámicos de alta temperatura.

En la actualidad, la proporción de alambre de molibdeno y lantano en los elementos calefactores aumenta año tras año, porque su resistencia a la fluencia puede prolongar la vida útil de la estufa. El alambre de molibdeno debe usarse en una atmósfera inerte o al vacío para evitar la oxidación a altas temperaturas.

#### 2.2.6 Alambre de molibdeno para componentes de hornos de alta temperatura

El alambre de molibdeno para componentes de hornos de alta temperatura se utiliza para fabricar soportes de hornos, cables y componentes de blindaje, alambre de molibdeno y lantano de uso común o alambre de molibdeno renio, con un diámetro de 0,3-1,5 mm. Su alta resistencia y resistencia a altas temperaturas lo hacen adecuado para hornos de sinterización de silicio monocristalino, zafiro y cerámica. Por ejemplo, el alambre de molibdeno, que se utiliza como línea de sujeción de semillas para hornos de crecimiento de cristales, requiere un control preciso del diámetro y el acabado de la superficie.

Revistas internacionales han informado que la aplicación de alambre de renio y molibdeno en componentes de hornos de alta temperatura ha aumentado debido a su excelente resistencia a la corrosión y tenacidad. En la producción, el tamaño de grano del alambre de molibdeno debe controlarse estrictamente para evitar fracturas a alta temperatura.

#### [Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

### 2.2.7 Alambre de molibdeno para componentes electrónicos

El alambre de molibdeno para componentes electrónicos se usa para electrónica de vacío, termopares y conexiones microelectrónicas, y el alambre de molibdeno puro o alambre de lantano de molibdeno se usa comúnmente, con un diámetro de 0.05-0.5 mm. Su alta conductividad y bajo contenido de impurezas garantizan la fiabilidad del dispositivo. Por ejemplo, en un tubo de rayos X, el alambre de molibdeno actúa como un cable catódico; En los termopares, el alambre de molibdeno se utiliza para mediciones de alta temperatura.

El alambre de molibdeno para componentes electrónicos se somete a un proceso de limpieza ultralimpio para eliminar las impurezas de la superficie. La demanda de alambre de molibdeno ultrafino (<0,05 mm de diámetro) está creciendo en el campo de la microelectrónica para el empaquetado de chips y la fabricación de sensores.

### 2.2.8 Alambre de molibdeno para uso médico y aeroespacial

El alambre de molibdeno para uso médico y aeroespacial utiliza principalmente alambre de molibdeno-renio o alambre de molibdeno y lantano debido a su alta resistencia, biocompatibilidad y resistencia a la corrosión. El rango de diámetro es de 0,1-1,0 mm, lo que requiere un mecanizado de alta pureza y precisión. En el campo de la medicina, el alambre de molibdeno se utiliza en objetivos de rayos X, guías y herramientas quirúrgicas mínimamente invasivas; En el campo aeroespacial, el alambre de molibdeno-renio se utiliza en boquillas de alta temperatura, componentes de propulsores y piezas estructurales de satélites. La aplicación del alambre de renio y molibdeno en el campo aeroespacial está creciendo rápidamente debido a su estabilidad en entornos extremos como 3000 °C y gases corrosivos fuertes. El alambre de molibdeno médico está sujeto a rigurosas pruebas de biocompatibilidad.

## 2.3 Clasificación por estado de superficie

El estado de la superficie del alambre de molibdeno tiene un impacto importante en su rendimiento y aplicación, y se divide en alambre de molibdeno negro y alambre de molibdeno limpio de acuerdo con el método de tratamiento de la superficie.

### 2.3.1 Alambre de molibdeno negro

El alambre de molibdeno negro es un alambre de molibdeno que no ha sido lavado ni pulido cáustico, y la superficie está cubierta con una capa de película de óxido de molibdeno ( $\text{MoO}_3$ ), que es de color negro-gris. El espesor de la capa de óxido suele ser de 0,1-1  $\mu\text{m}$ , lo que mejora la lubricidad del alambre de molibdeno y es adecuado para aplicaciones de pulverización térmica y algunas aplicaciones de electroerosión por hilo. El alambre de molibdeno negro tiene un costo de producción más bajo, pero hay más impurezas en la superficie, lo que puede afectar el rendimiento de las aplicaciones de precisión.

El alambre de molibdeno negro mejora la eficiencia de pulverización debido a la fácil fusión de la capa de óxido en la pulverización térmica; En el corte de alambre, la capa de óxido reduce las pérdidas de electrodos. El alambre de molibdeno negro debe controlarse estrictamente para la uniformidad de la capa de óxido para evitar fluctuaciones de rendimiento.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 2.3.2 Alambre de molibdeno limpio

El alambre de molibdeno limpio es un alambre de molibdeno que elimina la capa superficial de óxido mediante lavado alcalino o pulido electrolítico, que es de color blanco plateado y tiene un alto acabado superficial. El alambre de molibdeno limpio tiene una mayor pureza y es adecuado para aplicaciones con altos requisitos de calidad de superficie, como fuentes de luz eléctrica, recubrimientos al vacío y componentes electrónicos. El proceso de lavado cáustico generalmente utiliza una solución de hidróxido de sodio, que se lava y seca después de eliminar la capa de óxido para evitar la oxidación secundaria.

El alambre de molibdeno limpio es costoso de producir, pero su excelente calidad superficial y su bajo contenido de impurezas lo hacen dominante en aplicaciones de alta gama. Por ejemplo, en recubrimientos de semiconductores, el alambre de molibdeno limpio reduce los defectos de impurezas en la película.

## 2.4 Clasificación por método de procesamiento

El método de procesamiento del alambre de molibdeno afecta su microestructura y propiedades, y se divide en alambre de molibdeno estirado en caliente, alambre de molibdeno estirado en frío y alambre de molibdeno de precisión de acuerdo con el proceso de estirado y el tratamiento posterior.

### 2.4.1 Alambre de molibdeno estirado en caliente

El alambre de molibdeno estirado en caliente está hecho de trefilado de varias pasadas a alta temperatura (800-1200 °C), con estructura de grano grueso y resistencia a la tracción de 700-1000 MPa, que es adecuado para la producción de alambre de molibdeno grueso (diámetro > 1,0 mm). El proceso de estirado en caliente puede reducir la resistencia al estirado y reducir el desgaste del molde, pero la calidad de la superficie es deficiente y la mayoría de ellos son alambres de molibdeno negro.

El alambre de molibdeno estirado en caliente se usa comúnmente en componentes de hornos de alta temperatura y aplicaciones de pulverización debido a su bajo costo e idoneidad para el mecanizado de gran diámetro. Chinatungsten Online informó que la temperatura de calentamiento debe controlarse con precisión en el proceso de estirado en caliente para evitar granos de gran tamaño.

### 2.4.2 Alambre de molibdeno estirado en frío

El alambre de molibdeno estirado en frío se estira a temperatura ambiente o a baja temperatura (<300 °C), el grano se refina y la resistencia a la tracción puede alcanzar los 1200-1800 MPa, lo que es adecuado para el alambre de molibdeno con un diámetro de 0,05-1,0 mm. El proceso de estirado en frío, que requiere el uso de lubricantes de alto rendimiento y herramientas de precisión para reducir los arañazos en la superficie, se usa comúnmente en electroerosión por hilo y componentes electrónicos.

El acabado de la superficie y la precisión dimensional del alambre de molibdeno estirado en frío son más altos que los del alambre de molibdeno estirado en caliente, que es adecuado para el procesamiento de alta precisión. Las revistas internacionales han señalado que el proceso de estirado en frío puede optimizar la tenacidad del alambre de molibdeno a través de múltiples pasadas de

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

recocido.

### 2.4.3 Alambre de molibdeno de precisión

El alambre de molibdeno de precisión se fabrica a través de múltiples procesos de estirado en frío y recocido, con tolerancias de diámetro y rugosidad superficiales bien controladas, lo que lo hace adecuado para recubrimientos microelectrónicos, médicos y de vacío. La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno de precisión puede alcanzar más de 2000 MPa, y se requieren máquinas de trefilado de alta precisión y equipos de prueba en línea.

Según la información pública, las empresas chinas han logrado avances en la tecnología de trefilado de alambre de molibdeno de precisión, y el alambre de molibdeno de precisión ultrafina (diámetro <0,02 mm) se ha utilizado en la fabricación de chips y biosensores.

## 2.5 Clasificación por especificación

Las especificaciones del alambre de molibdeno se distinguen principalmente por su diámetro, y existen diferencias significativas en el rendimiento, el proceso de producción y el campo de aplicación del alambre de molibdeno con diferentes diámetros. Según el diámetro, el alambre de molibdeno se puede dividir en alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,05 mm), alambre de molibdeno fino estándar (0,05-0,3 mm), alambre de molibdeno grueso medio (0,3-1,0 mm) y alambre de molibdeno grueso (diámetro > 1,0 mm). Estas especificaciones reflejan las diversas necesidades del alambre de molibdeno en mecanizado de precisión, aplicaciones de alta temperatura y entornos de servicio pesado.

### 2.5.1 Alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,05 mm)

El alambre de molibdeno ultrafino se refiere al alambre de molibdeno con un diámetro de menos de 0,05 mm, generalmente en el rango de 0,01 a 0,05 mm, y es el tipo con la mayor precisión y el más difícil de fabricar entre las especificaciones del alambre de molibdeno. La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno ultrafino es extremadamente alta, hasta 2000-3500 MPa, que es mucho más alta que la de los alambres metálicos ordinarios, debido a su tamaño de grano nanométrico y al refinamiento del grano logrado mediante un proceso de estirado en frío y múltiples recocidos. Su rugosidad superficial extremadamente baja y sus tolerancias de diámetro de  $\pm 0,001$  mm garantizan la fiabilidad para aplicaciones de alta precisión. La conductividad eléctrica (aprox. 20% IACS) y la conductividad térmica (aprox. 130 W/(m·K)) del alambre de molibdeno ultrafino son ligeramente inferiores a las del alambre de molibdeno grueso, pero su alta resistencia y excelente ductilidad (alargamiento de hasta 8-12%) le confieren ventajas únicas en el campo de la miniaturización y la alta precisión.

#### Proceso de producción

El proceso de producción de alambre de molibdeno ultrafino es extremadamente complejo y requiere tecnología de estirado en frío de alta precisión y un proceso de recocido de varias etapas. Primero, a partir de la pieza en bruto de molibdeno de alta pureza (pureza  $\geq 99,95\%$ ), la pieza en bruto fina se prepara mediante pulvimetalurgia y luego se realiza un estirado de varias pasadas a baja temperatura (<300 °C), utilizando matrices de diamante para garantizar la precisión

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

dimensional. Se utilizan lubricantes de alto rendimiento (por ejemplo, emulsiones de grafito) durante el proceso de embutición para reducir los arañazos en la superficie, y se realiza un recocido intermedio (500-800 °C, atmósfera inerte) después de cada pasada de estirado para aliviar la tensión y restaurar la ductilidad. Además, el pulido de superficies y los procesos de limpieza ultralimpios, como la limpieza ultrasónica, son pasos necesarios en la producción de alambre de molibdeno ultrafino para eliminar trazas de impurezas y defectos superficiales.

#### Escenarios de aplicación

El alambre de molibdeno ultrafino se utiliza principalmente en los campos de la microelectrónica, los dispositivos médicos y el corte de alambre de precisión. En la industria microelectrónica, el alambre de molibdeno ultrafino se utiliza para los cables de conexión de los paquetes de chips y los cables de los sensores en miniatura, y su alta resistencia y no magnético (permeabilidad  $\approx 1$ ) garantizan la estabilidad del dispositivo en el entorno electromagnético. Por ejemplo, se puede utilizar un alambre de molibdeno de 0,02 mm de diámetro para la unión de cables de chips semiconductores con precisión nanométrica. En el campo de la medicina, el alambre de molibdeno ultrafino se utiliza en la fabricación de guías quirúrgicas mínimamente invasivas y objetivos de rayos X, y su biocompatibilidad y alta resistencia lo hacen adecuado para la implantación in vivo o dispositivos de imagen de alta precisión. Según el International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, el alambre ultrafino de molibdeno y lantano funciona bien en sensores en miniatura de alta temperatura debido a su mayor temperatura de recristalización (alrededor de 1800 °C). En la electroerosión por hilo, el hilo de molibdeno ultrafino se utiliza para procesar moldes de tamaño micrométrico y geometrías complejas con una precisión de corte de  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ .

#### 2.5.2 Alambre de molibdeno fino estándar (0,05–0,3 mm)

El alambre de molibdeno fino estándar tiene un rango de diámetro de 0,05 a 0,3 mm y es la especificación más común en aplicaciones de alambre de molibdeno y se usa ampliamente en el corte de alambre, fuentes de luz eléctrica y fabricación de componentes electrónicos. El alambre de molibdeno fino estándar combina alta resistencia con maquinabilidad moderada y es adecuado para la producción industrial a gran escala. El alambre de molibdeno puro y el alambre de lantano y molibdeno son los tipos principales de esta especificación, y el alambre de lantano y molibdeno es ventajoso en aplicaciones de alta temperatura debido a su mayor temperatura de recristalización (1500-1800 °C).

#### Proceso de producción

El alambre fino de molibdeno estándar se produce mediante un proceso de estirado en frío, comenzando con la pieza bruta de molibdeno y reduciendo progresivamente el diámetro a través de múltiples pasadas (generalmente de 10 a 15 pasadas). La máquina de trefilado está equipada con un troquel de carburo o diamante, y el lubricante es una solución a base de aceite o agua para reducir la fricción. El recocido intermedio (600-900 °C, protección de argón) se utiliza para eliminar el endurecimiento por trabajo, y el tiempo y la temperatura del recocido deben controlarse con precisión para equilibrar la resistencia y la tenacidad. En cuanto al tratamiento de la superficie, el alambre de molibdeno limpio se somete a un lavado con álcali (solución de hidróxido de sodio, 80-100 °C) para eliminar la capa de óxido, y el alambre de molibdeno negro retiene una fina capa de

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

óxido para mejorar la lubricidad.

#### Escenarios de aplicación

El alambre de molibdeno fino estándar es el material de batalla para la electroerosión por hilo y se usa ampliamente en la fabricación de moldes, piezas aeroespaciales y mecanizado de precisión. Por ejemplo, un alambre de molibdeno de 0,18 mm de diámetro alcanza una precisión de mecanizado de  $\pm 3 \mu\text{m}$  en máquinas de electroerosión por hilo de alta velocidad y es adecuado para cortar aleaciones de carburo y titanio. En el campo de las fuentes de luz eléctrica, los hilos de molibdeno fino estándar (0,1-0,2 mm de diámetro) se utilizan como hilos de soporte y cables para lámparas halógenas y fluorescentes, y su bajo coeficiente de expansión térmica ( $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) garantiza un sellado fiable con vidrio. En los componentes electrónicos, el alambre de molibdeno fino estándar se utiliza para las conexiones de cátodo entre los cables de termopar y la electrónica de vacío, cumpliendo con los requisitos de alta conductividad (alrededor del 20% IACS) y bajas impurezas.

#### 2.5.3 Alambre de molibdeno medianamente grueso (0,3–1,0 mm de diámetro)

El alambre de molibdeno de grado medio grueso está disponible en diámetros que van desde 0,3 a 1,0 mm, combinando alta resistencia con una dificultad de procesamiento moderada, con una resistencia a la tracción de 800 a 1500 MPa y un alargamiento de 3 a 8%. Este grado de alambre de molibdeno es adecuado para aplicaciones que requieren alta rigidez y durabilidad, como componentes de hornos de alta temperatura, elementos calefactores y recubrimientos al vacío. La conductividad térmica (alrededor de  $135 \text{ W} / (\text{m}\cdot\text{K})$ ) y la estabilidad a alta temperatura (puede soportar  $2000^{\circ}\text{C}$ ) del alambre de molibdeno medio y grueso lo hacen excelente en entornos de alta temperatura, y el alambre de molibdeno y lantano y el alambre de molibdeno renio se usan ampliamente en esta especificación.

#### Proceso de producción

La producción de alambre de molibdeno de grado medio grueso combina procesos de estirado en caliente y en frío. El diámetro de la pieza en bruto inicial se reduce a 1,5-2,0 mm mediante estirado en caliente ( $800\text{-}1200^{\circ}\text{C}$ ) y luego se procesa hasta el tamaño objetivo mediante estirado en frío. El proceso de estirado en caliente reduce el desgaste del molde y es adecuado para la producción en masa; El proceso de estirado en frío mejora la precisión dimensional y la calidad de la superficie. El proceso de recocido ( $700\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ , atmósfera inerte) se utiliza para optimizar la estructura del grano y mejorar la tenacidad. El tratamiento de la superficie incluye lavado cáustico o pulido electrolítico para garantizar el alto acabado del alambre de molibdeno limpio.

#### Escenarios de aplicación

El alambre de molibdeno grueso medio es ampliamente utilizado en componentes de hornos de alta temperatura y elementos calefactores. En el horno de crecimiento de silicio monocristalino, se utiliza alambre de lantano y molibdeno de 0,5 mm de diámetro como línea de sujeción de semillas y miembro de soporte, que puede funcionar a  $1700^{\circ}\text{C}$  durante mucho tiempo. En el recubrimiento al vacío, el alambre de molibdeno de grado medio grueso (0,4-0,8 mm de diámetro) actúa como fuente de evaporación para depositar películas ópticas y semiconductoras, y su alta pureza ( $\geq 99,99\%$ ) garantiza la calidad de la película. En el campo de la electrónica, el alambre de molibdeno medio y

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

grueso se utiliza para cables de cátodo y manguitos protectores de termopar para tubos de rayos X, que cumplen con los requisitos de entornos de alta temperatura y vacío.

#### 2.5.4 Alambre de molibdeno grueso (diámetro > 1,0 mm)

**Definición y características** El diámetro del alambre de molibdeno grueso es superior a 1,0 mm, generalmente en el rango de 1,0 a 3,2 mm, y es el más rígido y menos difícil de procesar entre los alambres de molibdeno. El alambre de molibdeno grueso es principalmente alambre de molibdeno puro o alambre de molibdeno y lantano, que es adecuado para aplicaciones de alta temperatura y servicio pesado, como rociado térmico y miembros de soporte de hornos de alta temperatura. Su estabilidad a altas temperaturas (hasta 2000 °C) y su moderada conductividad térmica (aprox. 130 W/(m·K)) lo hacen ampliamente utilizado en aplicaciones industriales.

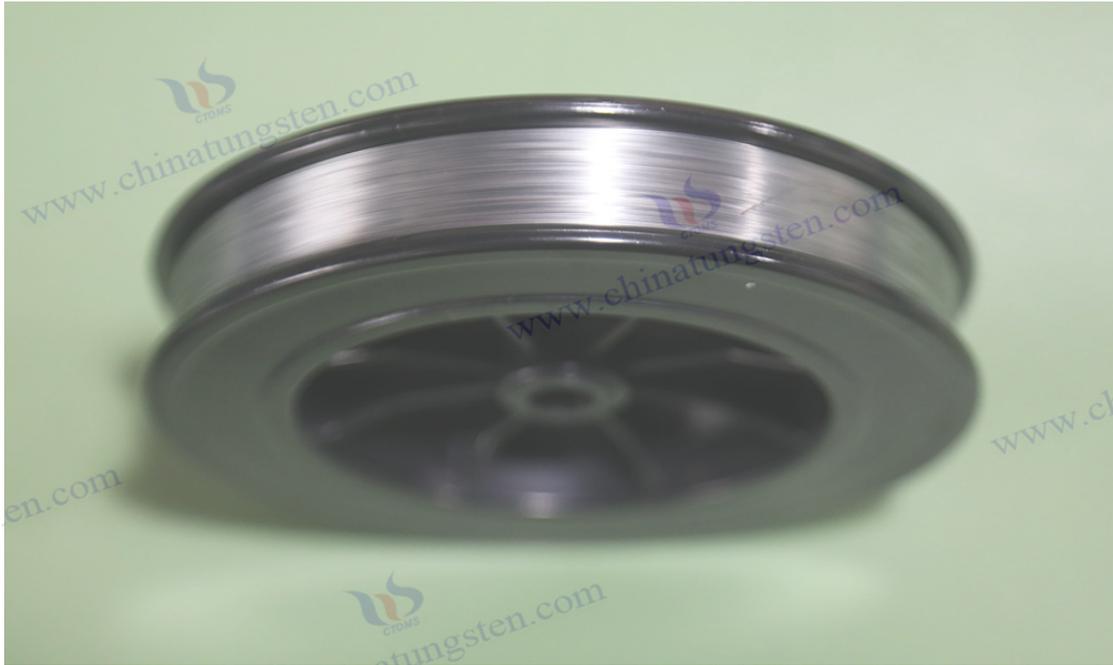
#### Proceso de producción

El alambre de molibdeno grueso se produce principalmente mediante un proceso de estirado en caliente, a partir de la pieza en bruto de molibdeno (5-10 mm de diámetro) y el estirado a través de una matriz de gran diámetro a altas temperaturas (1000-1200 °C) con una reducción del diámetro de una sola pasada de hasta el 20-30%. El proceso de estirado en caliente reduce la dificultad de procesamiento y reduce el costo de los moldes, pero la calidad de la superficie es deficiente y la mayoría de ellos son alambres de molibdeno negro. Algunos alambres de molibdeno grueso deben estirarse en frío y pulirse para hacer alambres de molibdeno limpios para satisfacer las necesidades de aplicaciones específicas. El proceso de recocido (800-1100 °C, protección de argón) se utiliza para eliminar las tensiones residuales y optimizar las propiedades mecánicas.

#### Escenarios de aplicación

El alambre de molibdeno grueso se utiliza principalmente para la pulverización térmica y los componentes de hornos de alta temperatura. En la pulverización térmica, los alambres de molibdeno grueso con un diámetro de 1,6 a 3,2 mm se rocían con plasma para formar un recubrimiento resistente al desgaste para el fortalecimiento de la superficie de los anillos de pistón de automóviles, las palas de los motores aeronáuticos y los moldes industriales. En los hornos de alta temperatura, el alambre de molibdeno grueso (diámetro de 1,0 a 2,0 mm) se utiliza como elementos de soporte y conductores, como fijaciones para hornos de crecimiento de zafiro, que pueden funcionar de manera estable a 1800 °C.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno limpio

### Capítulo 3 Características del alambre de molibdeno

#### 3.1 Propiedades físicas del alambre de molibdeno

Las propiedades físicas del alambre de molibdeno son la base de su amplia gama de aplicaciones en alta temperatura, mecanizado de precisión y electrónica, cubriendo parámetros clave como el punto de fusión, la densidad, el coeficiente de expansión térmica, la conductividad eléctrica, la conductividad térmica y la dureza. Estas propiedades están determinadas por la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC) del molibdeno y la regulación de los elementos dopantes, que confieren al alambre de molibdeno un excelente rendimiento en entornos extremos. El siguiente es un análisis detallado de las propiedades físicas del alambre de molibdeno, incluido su mecanismo microscópico, método de medición e impacto en la aplicación.

##### 3.1.1 Punto de fusión y punto de ebullición del alambre de molibdeno

Con un punto de fusión de 2623 °C (2896 K), el alambre de molibdeno se encuentra entre los más altos entre todos los metales, detrás del tungsteno (3422 °C), el renio (3186 °C) y el osmio (3033 °C). Este alto punto de fusión se debe a los fuertes enlaces metálicos entre los átomos de molibdeno y la estabilidad de la estructura cúbica centrada en el cuerpo, lo que permite que el alambre de molibdeno mantenga su integridad estructural sin fundirse en entornos de temperatura extremadamente alta, como 1700-2000 °C en un horno de crecimiento de silicio monocristalino. Su alto punto de ebullición de 4639 °C (4912 K) corresponde a una presión de vapor muy baja (aprox.  $10^{-7}$  Pa a 2000 °C), lo que garantiza una pérdida mínima de material de alambre de molibdeno en aplicaciones de recubrimiento al vacío y hornos de alta temperatura. El alambre de molibdeno puro aún puede mantener la resistencia mecánica a 2000 °C, mientras que el alambre de lantano y molibdeno dopado y el alambre de renio de molibdeno mejoran aún más el rendimiento a alta temperatura al aumentar la temperatura de recristalización (hasta 1800 °C y 2000 °C, respectivamente).

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El punto de fusión generalmente se mide utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC) de alta temperatura o pirómetros ópticos con una precisión de  $\pm 10$  °C. Las mediciones del punto de ebullición requieren el uso de un analizador termogravimétrico (TGA) en un entorno de vacío para controlar la pérdida de masa. En aplicaciones prácticas, el alto punto de fusión del alambre de molibdeno lo convierte en un material ideal para calentar elementos en hornos de alta temperatura, como en hornos de crecimiento de cristal de zafiro, donde el alambre de molibdeno puede soportar el calentamiento circulante a 1800 °C sin deformación. Sin embargo, los filamentos de molibdeno tienden a reaccionar con el oxígeno para formar óxidos volátiles ( $\text{MoO}_3$ ) a altas temperaturas, por lo que deben funcionar en vacío ( $<10^{-3}$  Pa) o en una atmósfera inerte (por ejemplo, argón, helio) para proteger su rendimiento. Debido a la adición de renio, el alambre de renio de molibdeno puede aumentar ligeramente el punto de fusión a 2650 °C y, al mismo tiempo, reducir la tasa de evaporación a alta temperatura, que es adecuada para componentes aeroespaciales de alta temperatura.

### 3.1.2 Densidad del alambre de molibdeno

Con una densidad de 10,28 g/cm<sup>3</sup> (20 °C), el alambre de molibdeno se encuentra entre hierro (7,87 g/cm<sup>3</sup>) y tungsteno (19,25 g/cm<sup>3</sup>), que es ligero y de alta resistencia. La densidad disminuye ligeramente con la temperatura, a 10,15 g/cm<sup>3</sup> a 1000 °C, con un cambio de solo alrededor del 1,3%, lo que refleja la excelente estabilidad térmica del alambre de molibdeno. La baja densidad le da al alambre de molibdeno una ventaja de peso en la industria aeroespacial y electrónica, como en las piezas estructurales de satélites, donde reduce la masa total al tiempo que proporciona suficiente rigidez.

Las mediciones de densidad se realizan mediante el método de drenaje de Arquímedes o un densitómetro de rayos X con una precisión de  $\pm 0,01$  g/cm<sup>3</sup>. La densidad del alambre de molibdeno tiene una influencia importante en su proceso de trefilado: la menor densidad reduce el desgaste de la matriz durante el proceso de trefilado y facilita la producción de alambre de molibdeno ultrafino (diámetro  $<0,05$  mm). En el campo de las fuentes de luz eléctrica, la densidad del alambre de molibdeno garantiza una rigidez suficiente cuando se usa como cable de soporte de bombilla, al tiempo que evita la complicación del diseño estructural causada por un peso excesivo. La densidad del alambre de lantano y molibdeno y del alambre de renio molibdeno varía ligeramente (10,3-10,5 g/cm<sup>3</sup>) debido a la influencia de los elementos dopantes, pero aún mantiene características de ligereza y es adecuada para entornos de alta temperatura y carga dinámica.

### 3.1.3 Coeficiente de dilatación térmica del alambre de molibdeno

El coeficiente de expansión térmica del alambre de molibdeno es de  $4,8-5,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  (20-1000 °C), que es muy comparable al vidrio ( $4-6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) y la cerámica ( $3-7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ). Lo convierte en un material de sellado ideal para fuentes de luz eléctrica y dispositivos de vacío. Por ejemplo, en lámparas halógenas y tubos de rayos X, el alambre de molibdeno actúa como un cable conductor para formar una conexión confiable con el sello de vidrio y evitar grietas durante el ciclo térmico. El coeficiente de expansión térmica se mide utilizando un dilatómetro o interferometría láser con una precisión de  $\pm 0,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El bajo coeficiente de expansión térmica garantiza una alta estabilidad dimensional del alambre de molibdeno en ciclos de alta temperatura y reduce la deformación causada por el estrés térmico. En aplicaciones de hornos de alta temperatura, el bajo coeficiente de expansión térmica del alambre de molibdeno le permite soportar aumentos rápidos de temperatura (hasta 50 °C/min) sin deformaciones significativas. El alambre de lantano y molibdeno puede optimizar el coeficiente de expansión térmica a  $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  a través del efecto de fijación de partículas de óxido de lantano, que es adecuado para componentes de alta temperatura y alta precisión. El alambre de renio y molibdeno tiene un coeficiente de expansión térmica ligeramente más alto ( $5,0-5,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ), pero su excelente tenacidad compensa esta diferencia, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos aeroespaciales dinámicos.

### 3.1.4 Conductividad del alambre de molibdeno

La conductividad del alambre de molibdeno es 18-20% IACS (estándar internacional para cobre recocido, 100% IACS es la conductividad del cobre puro), lo que corresponde a una resistividad de  $5,2-5,7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  ( $20^\circ\text{C}$ ). Aunque la conductividad es menor que la del cobre (100% IACS) y la plata (105% IACS), la conductividad del alambre de molibdeno es excelente a altas temperaturas y la resistividad solo aumenta a aproximadamente  $20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  a  $1000^\circ\text{C}$ , que es menor que la del cobre (aproximadamente  $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ). La conductividad se midió utilizando el método de cuatro sondas con una precisión de  $\pm 0,1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ . La estabilidad de la conductividad a alta temperatura del alambre de molibdeno lo hace excelente en electroerosión por hilo cortado (WEDM) y hornos eléctricos de alta temperatura, y puede soportar corrientes de pulso de alta frecuencia (10-100 kHz) sin daños térmicos significativos.

El alambre de molibdeno y lantano puede aumentar la conductividad hasta en un 22% a través del refinamiento de grano IACS para componentes electrónicos de alta precisión, como cables de termopar y cables microelectrónicos. El alambre de molibdeno limpio tiene una ventaja en las fuentes de luz eléctrica y los dispositivos de vacío porque se elimina la capa de óxido de la superficie y la resistencia de contacto es menor que la del alambre de molibdeno negro (reducción de aproximadamente el 10%). En el corte en línea, la conductividad del alambre de molibdeno garantiza un arco eléctrico eficiente a velocidades de corte de hasta  $10-15 \text{ mm}^2/\text{min}$ . La conductividad del alambre de molibdeno-renio es ligeramente inferior a la del alambre de molibdeno puro (alrededor del 16-18% IACS), pero su estabilidad a alta temperatura lo hace ampliamente utilizado en conectores eléctricos aeroespaciales.

### 3.1.5 Conductividad térmica del alambre de molibdeno

La conductividad térmica del alambre de molibdeno es de  $138 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  ( $20^\circ\text{C}$ ), que es el nivel más alto entre los metales, solo superado por el cobre ( $401 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) y la plata ( $429 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ). A  $1000^\circ\text{C}$ , la conductividad térmica se reduce a aproximadamente  $100 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , que aún puede conducir el calor de manera efectiva, lo que es adecuado para hornos de alta temperatura y equipos de recubrimiento al vacío. La conductividad térmica se mide utilizando el método de flash láser con una precisión de  $\pm 5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . La alta conductividad térmica del filamento de molibdeno permite una rápida disipación de calor en aplicaciones de alta potencia y reduce la degradación del rendimiento causada por el sobrecalentamiento localizado, como en las fuentes de luz eléctrica,

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

donde el filamento de molibdeno conduce el calor del filamento al exterior y prolonga la vida útil de la lámpara (hasta más de 2000 horas).

En el corte de alambre, la alta conductividad térmica del alambre de molibdeno reduce el daño al alambre a alta temperatura de arco (>6000 °C) y prolonga la vida útil (hasta más de 100 horas). La conductividad térmica del alambre de molibdeno y lantano es cercana a la del alambre de molibdeno puro, mientras que el alambre de molibdeno y renio funciona bien en componentes aeroespaciales de alta temperatura, como boquillas, optimizando el contenido de renio hasta 150 W/(m·K). La condición de la superficie tiene poco efecto sobre la conductividad térmica, pero la eficiencia de la conductividad térmica del alambre de molibdeno limpio es ligeramente mejor que la del alambre de molibdeno negro (aproximadamente un 5% de aumento) debido a su alto acabado superficial.

### 3.1.6 Dureza de Mohs del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno tiene una dureza de 5,5-6,0 en la escala de Mohs, cercana al acero (5-6,5), una dureza Vickers (HV) de 200-250 y el alambre de molibdeno estirado en frío de hasta 300-350 HV. La dureza se midió utilizando un durómetro Vickers con una carga aplicada de 5 a 10 kg y una precisión de  $\pm 5$  HV. La dureza del alambre de molibdeno garantiza que sea resistente al desgaste durante el trefilado y el procesamiento, al tiempo que mantiene la tenacidad suficiente para evitar la fragilidad. El alambre de molibdeno y lantano está dopado con óxido de lantano para aumentar la dureza hasta 350-400 HV y el alambre de molibdeno-renio hasta 400 HV, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta resistencia al desgaste.

En la electroerosión por hilo, la dureza del alambre de molibdeno reduce el desgaste causado por la erosión del arco, con una tasa de desgaste inferior a 0,01 mm/h. En la pulverización térmica, la dureza adecuada garantiza que el alambre de molibdeno permanezca estructuralmente intacto antes de fundirse, lo que da como resultado una dureza del recubrimiento de hasta HV 800-1000. La dureza está estrechamente relacionada con el tamaño del grano, y el alambre de molibdeno ultrafino (<0,05 mm de diámetro) logra una mayor dureza con granos a nanoescala (10-50 nm) para satisfacer las necesidades de los campos de la microelectrónica y la medicina.

## 3.2 Propiedades químicas del alambre de molibdeno

Las propiedades químicas del alambre de molibdeno determinan su estabilidad en entornos corrosivos y condiciones de alta temperatura, incluida la estabilidad química, la resistencia a la corrosión, las propiedades de oxidación y el comportamiento de la reacción química. Estas propiedades se derivan de la estructura electrónica y las propiedades de la superficie del molibdeno, que le dan ventajas únicas en entornos químicos, médicos y de alta temperatura.

### 3.2.1 Estabilidad química del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno exhibe una excelente estabilidad química a temperatura ambiente y es inerte a los ácidos no oxidantes (por ejemplo, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido fosfórico), bases (por ejemplo, solución de hidróxido de sodio) y solventes orgánicos (por ejemplo, etanol, acetona). En una solución de ácido clorhídrico al 10% o hidróxido de sodio al 5% a 20 °C, la tasa de corrosión del alambre de molibdeno es inferior a 0,001 mm/año casi sin pérdida de masa. Esta

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

estabilidad lo hace adecuado para su uso en reactores químicos, sensores electroquímicos y dispositivos médicos. Por ejemplo, en los sensores electroquímicos, el alambre de molibdeno actúa como un electrodo para el funcionamiento a largo plazo en una solución de pH 2-12 sin degradación.

La estabilidad química se verificó mediante pruebas de inmersión y pruebas electroquímicas de corrosión, y el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) medido por un potencióstato fue de aproximadamente  $-0,2$  V (en comparación con un electrodo de hidrógeno estándar). A altas temperaturas ( $>400$  °C), la estabilidad química del alambre de molibdeno disminuye y es fácil de reaccionar con oxígeno, nitrógeno o halógeno, y debe operarse en vacío o atmósfera inerte (como argón, nitrógeno) para mantener el rendimiento. El alambre de molibdeno y lantano forma una capa protectora a través de la pasivación de la superficie, y su estabilidad química es ligeramente mejor que la del alambre de molibdeno puro.

### 3.2.2 Resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno tiene una excelente resistencia a la corrosión a ácidos no oxidantes (por ejemplo, 10% de ácido clorhídrico, 20% de ácido fosfórico) y soluciones salinas neutras (por ejemplo, cloruro de sodio al 3,5%), con una tasa de corrosión de menos de  $0,01$  mm / año, que es mejor que la del acero inoxidable 316L (aproximadamente  $0,05$  mm / año). En el entorno de agua de mar, la resistencia a las picaduras del alambre de molibdeno es mejor que la del acero ordinario, que es adecuado para equipos químicos y de ingeniería marina. El alambre de renio y molibdeno se mejora aún más con la adición de renio (5-41 % en peso), y la velocidad de corrosión es inferior a  $0,005$  mm/año en entornos que contienen ácido sulfúrico o ácido nítrico diluido, lo que lo hace adecuado para reactores químicos de alta temperatura.

El alambre de molibdeno es sensible a los ácidos oxidantes fuertes (como el ácido nítrico concentrado, el ácido sulfúrico caliente) y la velocidad de corrosión puede alcanzar  $0,1$  mm/h en ácido nítrico concentrado a  $60$  °C. La resistencia a la corrosión se probó mediante una prueba de niebla salina y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), y el valor de impedancia del alambre de molibdeno y lantano fue mayor que el del alambre de molibdeno puro (alrededor de  $10^5$   $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ), lo que indica que la capa de pasivación superficial es más densa. Los recubrimientos superficiales, como el siliciuro de molibdeno o el zirconio, pueden reducir aún más la tasa de corrosión y prolongar la vida útil.

### 3.2.3 Características de oxidación del alambre de molibdeno

El filamento de molibdeno es propenso a la oxidación en una atmósfera oxidante a alta temperatura para generar trióxido de molibdeno volátil ( $\text{MoO}_3$ ), la temperatura de oxidación inicial es de aproximadamente  $400$  °C y la tasa de oxidación aumenta significativamente por encima de  $600$  °C. En aire a  $800$  °C, se formó rápidamente una capa de óxido amarillo en la superficie del alambre de molibdeno, y la tasa de pérdida de masa pudo alcanzar los  $0,1$   $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ . El comportamiento de la oxidación se midió utilizando un analizador termogravimétrico (TGA) a diferentes temperaturas y atmósferas con una precisión de  $\pm 0,01$  mg. El alambre de molibdeno evita la oxidación en vacío ( $<10^{-3}$  Pa) o atmósferas inertes (por ejemplo, argón, helio, contenido de oxígeno  $<10$  ppm) y funciona durante miles de horas a  $2000$  °C sin pérdidas de masa significativas.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El alambre de molibdeno y lantano aumenta la temperatura de oxidación inicial a 600-700 °C a través del efecto de fijación de las partículas de óxido de lantano, y el alambre de molibdeno renio puede alcanzar los 800 °C. Las tecnologías de recubrimiento de superficies, como los recubrimientos de siliciuro de molibdeno con un espesor de 5 a 10 μm, pueden reducir la velocidad de oxidación a 0,01 mg/cm<sup>2</sup>·h (en aire a 1000 °C) y prolongar significativamente la vida útil a alta temperatura. En aplicaciones de hornos de alta temperatura, se requiere alambre de molibdeno con una bomba de vacío o un sistema de protección de gas inerte para evitar la oxidación.

### 3.2.4 Valencia y reacción química del alambre de molibdeno

El molibdeno es un metal polivalente con valencias de +2, +3, +4 y +6 que exhibe diversidad en las reacciones químicas. A temperatura ambiente, el alambre de molibdeno no reacciona con el oxígeno, el nitrógeno, el agua o los disolventes orgánicos comunes, y se forma una fina capa de pasivación (de aproximadamente 1-2 nm de grosor) en la superficie para inhibir otras reacciones. A alta temperatura (>700 °C), el alambre de molibdeno reacciona con el oxígeno para formar MoO<sub>3</sub>, con el nitrógeno para formar nitruro de molibdeno (Mo<sub>2</sub>N) y con cloro para formar cloruro de molibdeno (MoCl<sub>5</sub>). La naturaleza volátil de estos productos de reacción puede provocar pérdidas de material y debe evitarse mediante el control atmosférico (por ejemplo, protección contra argón).

En una solución altamente alcalina a alta temperatura (por ejemplo, hidróxido de sodio fundido, > 500 °C), el alambre de molibdeno se disuelve para formar molibdato (por ejemplo, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>) a una velocidad de disolución de aproximadamente 0,05 mm/h. El comportamiento de la reacción química se analizó mediante espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS) y espectroscopia infrarroja (FTIR) para confirmar la composición de los compuestos de la superficie. Debido a la inercia química del renio, el alambre de renio de molibdeno es más resistente a los halógenos y a los ácidos de alta temperatura, y la tasa de corrosión es inferior a 0,01 mm/h en un entorno de cloro de 1000 °C, que es adecuado para entornos químicos extremos.

### 3.3 Propiedades mecánicas del alambre de molibdeno

Las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, incluida la resistencia a la tracción, la ductilidad, la tenacidad y las propiedades de fatiga, afectan directamente su rendimiento en el procesamiento y la aplicación. Estas propiedades se optimizan mediante dopaje, procesos de trefilado y tratamiento térmico para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones.

#### 3.3.1 Resistencia a la tracción del alambre de molibdeno

La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno varía según la composición y el proceso de procesamiento. La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno puro es de 800 a 1200 MPa, que se puede aumentar a 1500 a 1800 MPa en el proceso de estirado en frío. La resistencia a la tracción del alambre de lantano y molibdeno se incrementa a 1500-2000 MPa mediante dopaje de óxido de lantano (0,3-1,0 % en peso), el alambre de renio y molibdeno (contenido de renio 5-41 % en peso) puede alcanzar 2000-3000 MPa, y el alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,05 mm) se puede refinar a 3500 MPa mediante granos nanocristalinos. La resistencia a la tracción se mide utilizando una máquina de ensayo de tracción universal con una velocidad de carga de 0,5 mm/min y una precisión de ± 1 MPa.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La resistencia a la tracción disminuye con el aumento de la temperatura, y a 1000 °C, la resistencia del alambre de molibdeno puro disminuye a aproximadamente 500 MPa, y el alambre de molibdeno-lantano y el alambre de molibdeno-renio permanecen a 1000 MPa y 1500 MPa, respectivamente. En la electroerosión por hilo, la alta resistencia a la tracción (tensión de 10 a 20 N) garantiza que el hilo de molibdeno no se rompa y que la precisión de corte alcance los  $\pm 3 \mu\text{m}$ . La alta resistencia del alambre de molibdeno ultrafino lo hace excelente en cables de conexión microelectrónicos y guías médicas, y puede soportar tensiones complejas sin deformación.

### 3.3.2 Ductilidad del alambre de molibdeno

La ductilidad del alambre de molibdeno se expresa en términos de elongación, y el alargamiento del alambre de molibdeno puro es del 2-5%, que se puede aumentar al 8-10% después del estirado en frío. El alambre de lantano y molibdeno y el alambre de renio molibdeno se fortalecen mediante el refinamiento del grano y el dopaje con un alargamiento del 10-15%, lo que los hace adecuados para el procesamiento de formas complejas. La ductilidad se midió mediante una prueba de tracción que registró el porcentaje de elongación antes de la fractura con una precisión de  $\pm 0,1\%$ . A altas temperaturas ( $>500 \text{ }^\circ\text{C}$ ), la ductilidad del alambre de molibdeno mejora significativamente, con un alargamiento del 15-20%, lo cual es conveniente para el procesamiento térmico.

El alambre de molibdeno con alta ductilidad puede soportar múltiples flexiones y estiramientos, por ejemplo, en fuentes de luz eléctrica, el alambre de molibdeno debe doblarse en geometrías complejas como alambre de soporte; En los hornos de alta temperatura, el alambre de molibdeno como plomo debe adaptarse a la deformación causada por la expansión térmica. El alambre de renio y molibdeno tiene una excelente ductilidad a baja temperatura y aún se puede procesar a  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$  sin fragilidad, lo que es adecuado para entornos aeroespaciales de baja temperatura.

### 3.3.3 Tenacidad del alambre de molibdeno

La tenacidad del alambre de molibdeno refleja su capacidad para absorber energía de impacto, y la tenacidad a la fractura ( $K_{IC}$ ) del alambre de molibdeno puro es de 10 a 15  $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ , porque la estructura cúbica centrada en el cuerpo es propensa a la transformación quebradiza a baja temperatura. El alambre de molibdeno-lantano y el alambre de molibdeno-renio aumentan la tenacidad a la fractura a 20-30  $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  mediante el dopaje y el refinamiento del grano, reduciendo significativamente el riesgo de fragilidad. La tenacidad se midió mediante una prueba de flexión de tres puntos o una prueba de impacto de Charlais con una precisión de  $\pm 1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ .

El alambre de molibdeno altamente resistente es adecuado para entornos de carga dinámica, como vibraciones de alta frecuencia (10-100 Hz) en el corte de alambre o ciclos térmicos en hornos de alta temperatura ( $50 \text{ }^\circ\text{C} / \text{min}$ ). El alambre de molibdeno ultrafino optimiza la resistencia a través del recocido de múltiples etapas para cumplir con los requisitos de flexibilidad de las guías quirúrgicas mínimamente invasivas. La tenacidad del alambre de molibdeno-renio es mejor que la del alambre de molibdeno puro a baja temperatura ( $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y alta temperatura ( $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ), que es adecuado para componentes dinámicos aeroespaciales.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

### 3.3.4 Propiedades de fatiga del alambre de molibdeno

Las propiedades de fatiga del alambre de molibdeno se refieren a su durabilidad bajo tensión cíclica, y el límite de fatiga del alambre de molibdeno puro es de 400 a 600 MPa ( $10^7$  ciclos). El alambre de molibdeno-lantano y el alambre de molibdeno-renio se fortalecen mediante el refinamiento del grano y el dopaje hasta límites de fatiga de 800-1000 MPa. El comportamiento a fatiga se midió mediante un ensayo de fatiga por flexión rotacional con una frecuencia de 50 Hz y una precisión de  $\pm 10$  MPa. En el corte de alambre, el alambre de molibdeno se somete a ciclos de tensión de alta frecuencia (10-20 N), y el alambre de molibdeno limpio tiene una vida útil a fatiga de aproximadamente un 20% más larga que el alambre de molibdeno negro debido a su alto acabado superficial ( $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ ).

Las propiedades de fatiga son críticas para los componentes de alta temperatura y la electroerosión por hilo. La vida útil del ciclo térmico del alambre de molibdeno y lantano en un horno de alta temperatura puede alcanzar más de 5000 veces, y la vida a fatiga del alambre de molibdeno renio en boquillas aeroespaciales puede alcanzar los  $10^8$  ciclos. La optimización de la matriz de trefilado (rugosidad superficial  $R_a < 0,05 \mu\text{m}$ ) y del proceso de recocido (700-900 °C, protección contra argón) mejora aún más las propiedades de fatiga y reduce las microfisuras superficiales.

### 3.4 Propiedades especiales del alambre de molibdeno

Las propiedades especiales del alambre de molibdeno incluyen rendimiento a alta temperatura, resistencia al desgaste y no magnetismo, lo que lo hace excepcionalmente ventajoso en campos específicos para satisfacer las necesidades de entornos sensibles electromagnéticamente, tribológicos y de alta temperatura.

#### 3.4.1 Rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno

El rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno es su característica más destacada, el alambre de molibdeno puro mantiene la integridad estructural a 2000 °C y la resistencia a la tracción es de aproximadamente 500 MPa. La temperatura de recristalización del alambre de molibdeno y lantano es de hasta 1800 °C, y la temperatura de recristalización del alambre de molibdeno y renio es de hasta 2000 °C, lo que inhibe el crecimiento del grano a través del dopaje y mejora la resistencia a la fluencia en más del 50%. La prueba de rendimiento a alta temperatura adopta una prueba de tracción a alta temperatura y una prueba de fluencia, y la precisión del control de temperatura es de  $\pm 5$  °C. En los hornos de crecimiento de silicio monocristalino, el alambre de lantano y molibdeno puede funcionar a 1700 °C durante miles de horas como elemento calefactor con una tasa de deformación inferior al 0,1%.

El alambre de renio y molibdeno exhibe una excelente resistencia al choque térmico en la boquilla del motor espacial a 2500 °C y soporta 1000 ciclos térmicos (velocidad de calentamiento de 100 °C / s) sin grietas. El rendimiento a altas temperaturas se ve afectado por la atmósfera y debe funcionar en vacío ( $< 10^{-3}$  Pa) o en un gas inerte (contenido de oxígeno  $< 10$  ppm) para evitar la oxidación. Los recubrimientos superficiales, como el zirconio con un espesor de 5 a 10  $\mu\text{m}$ , prolongan la vida útil a alta temperatura a más de 5000 horas.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 3.4.2 Resistencia a la abrasión del alambre de molibdeno

La resistencia al desgaste del alambre de molibdeno está relacionada con su dureza y calidad superficial, y el alambre de molibdeno con una dureza Vickers de 200-400 HV resiste la erosión por arco en electroerosión por hilo con una tasa de desgaste de menos de 0,01 mm/h. El alambre de molibdeno, lantano y renio aumenta la dureza a 350-400 HV a través del refinamiento del grano y aumenta la resistencia al desgaste en un 30%. La resistencia a la abrasión se prueba utilizando una máquina de prueba de fricción y desgaste con un par de metal duro y una carga de 10 N. En la pulverización térmica, los alambres de molibdeno forman recubrimientos con una dureza de HV 800-1000 y un coeficiente de fricción de menos de 0,3, lo que mejora significativamente la resistencia al desgaste de sustratos como los anillos de pistón de automóviles.

Debido a su alto acabado superficial ( $Ra < 0,1 \mu\text{m}$ ) y la resistencia al desgaste del alambre de molibdeno limpio, el alambre de molibdeno limpio es adecuado para entornos de vibración de alta frecuencia. Los filamentos ultrafinos de molibdeno se mejoran aún más con granos nanocristalinos (10-50 nm) para satisfacer las necesidades de microelectrónica y guías médicas. La optimización del proceso de embutición (por ejemplo, con matrices de diamante) y el pulido de la superficie reducen las tasas de desgaste a 0,005 mm/h.

### 3.4.3 Propiedades no magnéticas del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno es un material no magnético con una permeabilidad relativa cercana a 1 (lo mismo que el vacío), no se magnetiza en un campo magnético y es adecuado para entornos electromagnéticamente sensibles, como equipos de resonancia magnética nuclear (MRI) y sistemas de navegación aeroespacial. El no magnético se mide utilizando un magnetómetro de muestra vibratoria (VSM) con una magnetización de  $< 10^{-6}$  emu/g. La naturaleza no magnética del alambre de molibdeno se deriva de su estructura cúbica centrada en el cuerpo y su bajo contenido de impurezas, y los elementos dopados (como el lantano y el renio) no cambian esta característica.

En los equipos de resonancia magnética, el alambre de molibdeno se utiliza como material de alambre para evitar la interferencia del campo magnético y garantizar la precisión de la imagen (resolución  $< 1$  mm). En la industria aeroespacial, el cable de molibdeno se utiliza en los cables de conexión de sensores satelitales y soporta fuertes campos magnéticos ( $> 1$  T) sin cambios en el rendimiento. La naturaleza no magnética también le da al alambre de molibdeno una ventaja en instrumentos de precisión como los espectrómetros de masas, donde los campos magnéticos interfieren con las trayectorias de los iones.

## 3.5 CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno MSDS

La hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS) proporciona una guía detallada para el uso, almacenamiento y eliminación seguros del alambre de molibdeno de tungsteno y China, que cubre la composición química, la identificación de peligros, las medidas de protección, las propiedades físicas y químicas, etc., para garantizar la seguridad operativa y el cumplimiento ambiental.

### 1. Nombre del producto

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Nombre: alambre de molibdeno

Número CAS: 7439-98-7 (Molibdeno), 7440-15-5 (Renio), 1317-33-5 (Óxido de lantano)

## 2. Composición e información de composición

Alambre de molibdeno puro: molibdeno  $\geq 99,95\%$ , impurezas (C  $< 0,01\%$ , O  $< 0,005\%$ , N  $< 0,003\%$ , Fe  $< 0,005\%$ )

Alambre de lantano y molibdeno:  $\geq$  de molibdeno 99,0%, óxido de lantano (LO<sub>3</sub>) 0,3–1,0%

Alambre de renio y molibdeno: molibdeno 59-95%, renio 5-41%

Forma física: filamento metálico de color blanco plateado o gris negro, de 0,03 a 3,2 mm de diámetro

Olor: Inodoro

## 3. Identificación de peligros

A temperatura ambiente: el alambre de molibdeno es un metal estable, no tóxico, no radiactivo, no presenta riesgos significativos para la salud y no irrita el contacto con la piel.

Alta temperatura ( $>400$  °C): Se puede liberar polvo volátil de óxido de molibdeno (MoO<sub>3</sub>), que puede causar irritación respiratoria (por ejemplo, tos, irritación de garganta) si se inhala.

Mecanizado: El alambre cortado, esmerilado o trefilado puede producir polvo metálico, que puede causar irritación pulmonar si se inhala, y la fibrosis pulmonar leve puede ser causada por la exposición a largo plazo.

Peligro de incendio: El alambre de molibdeno en sí no es inflamable, pero los óxidos inflamables (MoO<sub>3</sub>) se forman en una atmósfera oxidante a alta temperatura, lo que puede representar un riesgo de incendio.

Peligros ambientales: el alambre de molibdeno en sí no tiene un daño significativo para el medio ambiente, y el alambre de molibdeno de desecho debe reciclarse adecuadamente para evitar desechos.

## 4. Medidas de primeros auxilios

Inhalación: Traslade a la persona a un área bien ventilada para proporcionar aire fresco, busque atención médica inmediata y proporcione soporte de oxígeno si tiene dificultad para respirar.

Contacto con la piel: Enjuague el contacto con jabón y abundante agua durante al menos 15 minutos, consulte a un dermatólogo si se presenta enrojecimiento, hinchazón o irritación.

Contacto visual: Enjuague sus ojos con abundante agua o solución salina durante al menos 15 minutos, abra los párpados superior e inferior para asegurarse de que se laven bien y busque atención médica de inmediato si las molestias persisten.

Ingesta: La posibilidad de ingerir alambre de molibdeno por error es muy baja, si sucede, busque atención médica de inmediato, no induzca el vómito, mantenga al paciente despierto y proporcione información MSDS.

## 5. Medidas de protección contra incendios

### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Medio extintor de incendios: use extintores de incendios de polvo seco, arena seca o dióxido de carbono, y está prohibido usar agentes extintores de incendios de agua o espuma.

Riesgos especiales: Los vapores de óxido de molibdeno se generan a altas temperaturas, y los bomberos deben usar aparatos de respiración de presión positiva y ropa protectora para todo el cuerpo.

Precauciones contra incendios: controle la fuente del incendio, evite la propagación del humo, mantenga la ventilación y evite inhalar gases tóxicos.

## 6. Tratamiento de emergencia de fugas

Recoja los cables de molibdeno dispersos y use herramientas antiestáticas para evitar que el polvo vuele.

Use una aspiradora (equipada con un filtro HEPA) o humedece para limpiar el polvo metálico para evitar la inhalación.

Los residuos de alambre de molibdeno recogidos se almacenan en un contenedor hermético y se entregan a una agencia de reciclaje profesional para su eliminación de acuerdo con las normativas locales.

El área de la fuga debe estar aislada y se debe usar equipo de protección para evitar el contacto con personal no capacitado.

## 7. Manipulación y almacenamiento

Precauciones para la manipulación: Use guantes protectores (nitrilo o cuero), gafas protectoras y máscaras contra el polvo (N95 o superior) y use equipos de escape locales (volumen de aire > 500 m<sup>3</sup>/h) durante el mecanizado.

Condiciones de almacenamiento: Almacene en un almacén seco (humedad < 60%), ventilado (temperatura 20-25 °C), evite las altas temperaturas (>400 °C) y el ambiente húmedo para evitar la oxidación de la superficie.

Sustancias incompatibles: Evite el contacto con agentes oxidantes fuertes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado, peróxido de hidrógeno), oxígeno a alta temperatura y álcali fundido.

Requisitos de embalaje: Utilice bolsas de plástico a prueba de humedad o latas de metal para sellar el empaque y evitar daños físicos y oxidación.

## 8. Control de la exposición y protección personal

Control de ingeniería: Equipado con un sistema de escape local (velocidad del viento > 0,5 m/s) y un dispositivo de recolección de polvo para mantener la concentración de polvo de molibdeno en el aire en el lugar de trabajo por debajo de 5 mg/m<sup>3</sup>.

Equipo de protección individual: gafas de protección (según EN 166), mascarilla contra el polvo (según NIOSH N95), guantes de protección y monos de manga larga.

Límites de exposición: polvo de molibdeno OSHA PEL es de 5 mg/m<sup>3</sup> (partículas respirables), ACGIH TLV es de 10 mg/m<sup>3</sup> (polvo total) y el estándar GBZ 2.1 de China es de 6 mg/m<sup>3</sup>.

Método de monitoreo: Detecte regularmente la concentración de polvo en el lugar de trabajo con

### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

una precisión de  $\pm 0,1 \text{ mg/m}^3$ .

## 9. Propiedades fisicoquímicas

Aspecto: filamento metálico de color blanco plateado (alambre de molibdeno limpio) o negro-gris (alambre de molibdeno negro)

Punto de fusión: 2623 °C (alambre de molibdeno puro), 2650 °C (alambre de molibdeno-renio)

Punto de ebullición: 4639 °C

Densidad: 10,28 g/cm<sup>3</sup> (20°C)

Solubilidad: insoluble en agua, ácido diluido y álcali, soluble en ácido nítrico concentrado a alta temperatura o hidróxido de sodio fundido

Presión de vapor: 10<sup>-7</sup> Pa (2000°C).

Punto de inflamación: Ninguno (no inflamable)

Estabilidad: Estable a temperatura ambiente, el MoO<sub>3</sub> es fácil de formar en una atmósfera oxidante a alta temperatura (>400 °C)

Coefficiente de expansión térmica: 4,8–5,2×10<sup>-6</sup>/°C (20–1000°C).

Conductividad térmica: 138 W/(m·K)(20°C)

Resistividad: 5,2–5,7 μΩ·cm (20°C)

## 10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Químicamente estable a temperatura ambiente, no reacciona con el agua, el aire o los disolventes comunes.

Reactividad: La alta temperatura (>400 °C) reacciona con el oxígeno, el nitrógeno y los halógenos para formar MoO<sub>3</sub>, Mo<sub>2</sub>N o MoCl<sub>5</sub>.

Evite las condiciones: atmósfera oxidante a alta temperatura, agente oxidante fuerte, álcali fundido.

Productos de descomposición peligrosos: polvo de óxido de molibdeno (MoO<sub>3</sub>), altamente volátil a altas temperaturas.

## 11. Información toxicológica

Toxicidad aguda: baja toxicidad, DL50 (rata, oral) > 2000 mg/kg, CL50 (rata, inhalación) >5 mg/L (4 horas).

Irritación de la piel: No hay irritación significativa, la exposición prolongada puede causar un ligero enrojecimiento e hinchazón.

Irritación ocular: El polvo puede causar irritación mecánica y no es químicamente corrosivo.

Toxicidad crónica: la inhalación a largo plazo de altas concentraciones de polvo de molibdeno (>10 mg/m<sup>3</sup>) puede causar irritación pulmonar o fibrosis leve, y no se ha observado toxicidad sistémica.

Carcinogenicidad: No clasificado como cancerígeno por la IARC, el NTP o la OSHA.

Toxicidad reproductiva: no hay datos de toxicidad reproductiva o del desarrollo.

## 12. Información ecológica

### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Impacto ambiental: El alambre de molibdeno en sí mismo no tiene daños significativos para el agua, el suelo y la atmósfera, y el alambre de molibdeno de desecho debe reciclarse para evitar la acumulación ambiental.

Bioacumulación: No hay una bioacumulación significativa, el molibdeno es un oligoelemento y las plantas y los animales pueden metabolizar trazas de molibdeno.

Ecotoxicidad: Sin toxicidad aguda para organismos acuáticos (como peces), CL50 (96 horas) > 100 mg/L.

Persistencia y degradabilidad: El alambre de molibdeno es un metal no degradable que debe reciclarse.

### 13. Eliminación y reciclaje

Método de eliminación: El alambre de molibdeno residual se recupera por disolución química (ácido nítrico o solución alcalina) o electrólisis, y la tasa de recuperación puede alcanzar el 90-95%.

Proceso de reciclaje: La seda de desecho se recoge → se limpia químicamente → se disuelve y se purifica → y se vuelven a preparar los espacios en blanco de molibdeno, que deben operarse en una instalación profesional.

Requisitos ambientales: No lo desecho en vertederos o cuerpos de agua a voluntad, y entréguelo a instituciones autorizadas para su eliminación de acuerdo con las regulaciones locales de desechos peligrosos.

Beneficios del reciclaje: Se pueden recuperar alrededor de 950 kg de molibdeno por tonelada de alambre de molibdeno residual, lo que reduce el desperdicio de recursos y la contaminación ambiental.

### 14. Información de envío

Clasificación de mercancías peligrosas: mercancías no peligrosas, transportadas como mercancías ordinarias.

Requisitos de transporte: Utilice embalajes a prueba de humedad y golpes (como bolsas de plástico selladas o latas de metal) para evitar daños o humedad durante el transporte.

Identificación del transporte: marcado con "alambre de molibdeno" y especificaciones, marcado con "a prueba de humedad" y "maneje con cuidado".

Normas Internacionales: Cumple con los estándares de transporte IATA, IMDG y ADR.

### 15. Información reglamentaria

Regulaciones chinas: cumplan con GB/T 4182-2003 "Alambre de molibdeno" y GBZ 2.1 "Límites de exposición ocupacional para factores nocivos en el lugar de trabajo".

Regulaciones internacionales: Cumple con la norma ASTM B387 para varillas, tiras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno, los requisitos de gestión de productos químicos de REACH y OSHA.

Normativa medioambiental: La eliminación de residuos de alambre de molibdeno deberá cumplir con la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos y la

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Directiva RoHS de la UE.

Certificación de seguridad: sistema de gestión de calidad ISO 9001 y certificación del sistema de gestión ambiental ISO 14001.

16. Información del proveedor

Proveedor: CTIA GROUP LTD

Tel: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

#### Capítulo 4 Tecnología de preparación y producción de alambre de molibdeno

La preparación del alambre de molibdeno es un proceso complejo de varios pasos, que implica múltiples pasos desde la purificación de la materia prima hasta el moldeo final, incluida la preparación de la materia prima, la pulvimetalurgia, el procesamiento de trefilado, el tratamiento de superficies, el tratamiento térmico y la preparación de alambre de molibdeno de aleación especial. Los parámetros técnicos y la selección del equipo de cada enlace afectan directamente el rendimiento, las especificaciones y el rango de aplicación del alambre de molibdeno. En los últimos años, la introducción de tecnologías de automatización, protección del medio ambiente y ahorro de energía ha mejorado significativamente la eficiencia de la producción y la calidad del producto. El siguiente es un análisis detallado de los enlaces del proceso y los detalles técnicos de la preparación del alambre de molibdeno.

##### 4.1 Preparación de las materias primas

La preparación de la materia prima es la base de la producción de alambre de molibdeno, que implica el beneficio y la purificación del concentrado de molibdeno, la producción de polvo de molibdeno y la adición de elementos de aleación. Estos pasos garantizan que el alambre de molibdeno tenga una alta pureza y una composición química uniforme que cumpla con los estrictos requisitos del

##### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

mecanizado de precisión y las aplicaciones de alta temperatura.

#### 4.1.1 Beneficio y purificación del concentrado de molibdeno

El concentrado de molibdeno se extrae principalmente de la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ), el mineral de molibdeno más común que se encuentra en la naturaleza, que suele contener entre un 50 y un 60% de molibdeno. El proceso de beneficio separa la molibdenita de los minerales asociados (por ejemplo, cobre, sulfuros de hierro) por flotación. Después de la trituración (tamaño de partícula < 10 mm) y la molienda (tamaño de partícula < 0,074 mm, lo que representa el 80%), el concentrado de molibdeno se separó en la máquina de flotación con la adición de colectores (como xantato) y agentes espumantes (como el aceite de terpineol), y el contenido de molibdeno se incrementó al 55-58%, y las impurezas (como Si, Fe, Cu) se redujeron al <1%.

La purificación se lleva a cabo mediante procesos de tostado y lixiviación química. El tostado se lleva a cabo en un horno rotatorio (temperatura 600-700 °C, atmósfera de oxígeno), oxida el  $\text{MoS}_2$  a  $\text{MoO}_3$  y el azufre se libera en forma de  $\text{SO}_2$ , con una unidad de tratamiento de gases de escape (eficiencia de desulfuración >95%). Posteriormente, la solución de molibdato de amonio se genera por lixiviación de amoníaco (concentración de  $\text{NH}_4\text{OH}$  10-15%, temperatura 60-80 °C), filtración para eliminar impurezas (Fe, Si, etc.) y luego cristalización y descomposición térmica (500-600 °C) para producir  $\text{MoO}_3$  de alta pureza (pureza > 99,9%). Este proceso garantiza que el contenido de impurezas de la materia prima de molibdeno sea inferior al 0,01%, lo que satisface las necesidades de producción de alambre de molibdeno de alta pureza.

#### 4.1.2 Producción de polvo de molibdeno

El polvo de molibdeno se prepara por reducción de hidrógeno mediante  $\text{MoO}_3$  de alta pureza. El proceso de reducción consta de dos etapas: la primera etapa reduce el  $\text{MoO}_3$  a  $\text{MoO}_2$  a 450-600 °C, y la segunda etapa reduce el  $\text{MoO}_2$  a polvo de molibdeno metálico a 900-1100 °C. El horno de reducción utiliza un horno tubular con hidrógeno de alta pureza (pureza >99,999% de pureza, punto de rocío <-40 °C) y un caudal de gas controlado (0,5-1,0  $\text{m}^3/\text{h}$ ) para garantizar una reacción homogénea. El polvo de molibdeno obtenido tiene un tamaño de partícula de 1-5  $\mu\text{m}$ , una pureza  $\geq 99,95\%$ , un contenido de oxígeno de <0,005% y un contenido de carbono de <0,01%.

La distribución del tamaño de partícula y la morfología del polvo de molibdeno se detectan mediante un analizador láser de tamaño de partícula y microscopía electrónica de barrido (SEM), y las partículas esféricas uniformes pueden mejorar la densidad y el rendimiento de sinterización de la compresión posterior. La temperatura de reducción y la pureza del hidrógeno deben controlarse estrictamente en la producción para evitar la oxidación del polvo o la aglomeración de partículas. El polvo de molibdeno ultrafino (tamaño de partícula < 1  $\mu\text{m}$ ) se utiliza para producir alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,05 mm), que debe optimizarse aún más mediante la tecnología de esferoidización por plasma.

#### 4.1.3 Adición de elementos de aleación

El alambre de molibdeno de aleación (como el alambre de lantano de molibdeno, el alambre de renio y molibdeno) necesita agregar elementos de aleación al polvo de molibdeno para mejorar el

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

rendimiento. El alambre de lantano y molibdeno se incrementó agregando óxido de lantano ( $\text{La}_2\text{O}_3$ , 0.3–1.0 % en peso) para aumentar la temperatura de recristalización y la resistencia, y se adoptó el proceso de dopaje húmedo: la solución de  $\text{La}(\text{NO}_3)_3$  se mezcló con polvo de molibdeno, y se formó un polvo dopado uniforme después del secado por aspersión, y la temperatura de secado fue de 120–150 °C. El alambre de renio y molibdeno mejora la tenacidad y la resistencia a la corrosión al agregar polvo de renio (Re, 5-41 % en peso), y adopta un método de mezcla mecánica o fusión por plasma con un tiempo de mezcla de 2 a 4 horas para garantizar una distribución uniforme de las partículas de renio.

El proceso de dopaje debe controlar la uniformidad de la distribución de los elementos y evitar la segregación. Se utilizaron difracción de rayos X (DRX) y espectroscopia de energía (EDS) para detectar el contenido y la distribución de los elementos dopados con una precisión del  $\pm 0,01$  % en peso. Los elementos de aleación se añaden en una atmósfera inerte (argón o nitrógeno) para evitar la oxidación del polvo. Los niveles de dosificación excesivos pueden dificultar la sinterización, y las proporciones de dopaje deben optimizarse para equilibrar el rendimiento y el costo.

#### 4.2 Proceso de pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia es el proceso central de la preparación de la pieza en bruto de alambre de molibdeno, que incluye el prensado y moldeo de polvo de molibdeno, la sinterización y la preparación de palanquilla, lo que garantiza que la pieza en bruto tenga una microestructura uniforme y de alta densidad, lo que proporciona una base para el trefilado posterior.

##### 4.2.1 Prensado y moldeo de polvo de molibdeno

El polvo de molibdeno se forma en una varilla en blanco por prensado isostático en frío o compresión. El prensado isostático en frío (CIP) se realiza a presiones de 200-300 MPa, utilizando moldes de caucho, tiempos de prensado de 5-10 minutos y densidades de palanquilla de 6,0-6,5  $\text{g}/\text{cm}^3$  (60-65% de la densidad teórica). Moldeado en acero con una presión de 100-150 MPa, es adecuado para la producción de lotes pequeños. Durante el proceso de prensado se añade una pequeña cantidad de aglutinante (por ejemplo, alcohol polivinílico, 0,5-1,0 % en peso) para aumentar la resistencia de la palanquilla, que debe volatilizarse por completo en la sinterización posterior.

Las dimensiones de la pieza en bruto prensada deben controlarse con un diámetro de 10 a 20 mm, una longitud de 100 a 500 mm y una superficie plana sin grietas. El equipo de prensado está equipado con un agitador para reducir los vacíos de polvo, la uniformidad de la densidad se verifica mediante pruebas ultrasónicas y el tamaño del defecto  $<$  de 0,1 mm. El proceso de prensado se lleva a cabo en una sala limpia (clase ISO 7) para evitar la contaminación por polvo.

##### 4.2.2 Proceso de sinterización

La palanquilla prensada se densifica mediante sinterización a alta temperatura y se utiliza un horno de inducción de frecuencia intermedia protegido con hidrógeno, con una temperatura de sinterización de 1800-2000 °C, un tiempo de retención de 2-4 horas y un caudal de gas hidrógeno de 0,5-1,0  $\text{m}^3/\text{h}$ . La sinterización se divide en presinterización (800-1000 °C, para eliminar los

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

aglutinantes y la humedad) y sinterización a alta temperatura (1800-2000 °C, lo que promueve la unión del grano). Después de la sinterización, la densidad de la palanquilla es de 9,8-10,0 g/cm<sup>3</sup> (95-98% de la densidad teórica) y el tamaño de grano es de 20-50 µm.

Durante el proceso de sinterización, la velocidad de calentamiento (5-10 °C/min) debe controlarse para evitar el agrietamiento por tensión térmica, y la velocidad de enfriamiento debe controlarse a 10-20 °C/min para evitar granos de gran tamaño. Durante la sinterización de hilos de molibdeno y lantano, la distribución de partículas de óxido de lantano debe controlarse adicionalmente para evitar la aglomeración. La calidad de la sinterización se detectó mediante densímetro y microscopio metalográfico, y la porosidad fue de <2%. El horno de sinterización debe estar equipado con un sistema de tratamiento de gases de escape para recuperar hidrógeno y tratar las impurezas volátiles.

#### 4.2.3 Preparación de la pieza en bruto

La pieza en bruto sinterizada se procesa en una pieza en bruto para el trefilado mediante forja en caliente o laminado en caliente. La forja en caliente se lleva a cabo a 1200-1400 °C utilizando una máquina de forja hidráulica con una deformación del 30-50% y una reducción del diámetro de la palanquilla a 5-10 mm. El laminado en caliente se lleva a cabo en un molino de varios rodillos a una temperatura de 1100-1300 °C con una deformación del 10-15% por pasada, lo que da como resultado una barra con un diámetro de 2-5 mm. La superficie de la pieza en bruto se gira o muele para eliminar la capa de óxido, y la rugosidad de la superficie es Ra<1.0 µm.

La microestructura de la pieza en bruto se analiza mediante microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X para garantizar que los granos sean uniformes y estén libres de defectos internos. Las piezas en bruto de alambre de renio y molibdeno deben controlar adicionalmente la distribución de los elementos de renio para evitar la volatilización a altas temperaturas. La preparación de la pieza en bruto se lleva a cabo en una atmósfera inerte para evitar la oxidación, y la pieza en bruto terminada se almacena en una bolsa sellada al vacío para mantener la calidad.

### 4.3 Trefilado

El trefilado es un paso clave en el procesamiento de piezas en bruto en alambre de molibdeno, que involucra estirado en caliente, estirado en frío, trefilado de múltiples pasadas, lubricación y tecnología de enfriamiento, que determina directamente la precisión dimensional y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno.

#### 4.3.1 Tecnología de trefilado en caliente

El estirado en caliente se utiliza para la producción de alambre de molibdeno grueso (diámetro > 1,0 mm) a 800-1200 °C utilizando equipos de calentamiento por inducción de alta frecuencia. La pieza en bruto se estira a través de una matriz de metal duro con una reducción de diámetro del 15-20% por pasada y una velocidad de estirado de 2-5 m/s. La temperatura de calentamiento debe controlarse con precisión (±10 °C) para evitar granos de gran tamaño u oxidación de la superficie. El estirado en caliente reduce el desgaste de la matriz y prolonga la vida útil de la herramienta (hasta 1000 m), pero la calidad de la superficie es mala y a menudo se forma alambre de molibdeno negro (espesor de la capa de óxido de 0,1 a 1,0 µm).

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La máquina de termoestirado está equipada con un termómetro infrarrojo y un sistema de control de tensión (tensión 20-50 N) para garantizar la estabilidad dimensional. La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno grueso es de 700 a 1200 MPa, lo que es adecuado para la pulverización térmica y los componentes de hornos de alta temperatura. El trefilado en caliente debe realizarse bajo la protección de hidrógeno o argón para evitar la oxidación a altas temperaturas.

#### 4.3.2 Tecnología de estirado en frío

El estirado en frío se utiliza para producir alambre de molibdeno fino estándar (0,05-0,3 mm) y alambre de molibdeno ultrafino (<0,05 mm) a temperatura ambiente (20-50 °C) o baja temperatura (<300 °C) utilizando matrices de diamante (tolerancia de apertura  $\pm 0,001$  mm). El diámetro de cada pasada se reduce en un 5-10% y la velocidad de estirado es de 0,5-2 m/s. El estirado en frío mejora la resistencia a la tracción (1500-3500 MPa) y el acabado superficial ( $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ ) para componentes electrónicos y de electroerosión por hilo.

Se requieren lubricantes de alto rendimiento (por ejemplo, emulsiones de grafito, viscosidad de 10 a 20 mPa·s) para el estirado en frío para reducir la fricción y una vida útil de la herramienta de unos 500 m. La tensión (5-15 N) y la temperatura (<100 °C) se controlan durante el proceso de trefilado para evitar la rotura del hilo. La máquina de estirado en frío está equipada con un calibrador láser para detectar tolerancias de diámetro ( $\pm 0,001$  mm) en tiempo real.

#### 4.3.3 Dibujo de varias pasadas

El trefilado de múltiples pasadas es el proceso principal de procesamiento gradual de la pieza en bruto hasta el diámetro objetivo, que requiere de 5 a 10 pasadas para el alambre de molibdeno grueso, de 10 a 20 pasadas para el alambre de molibdeno fino estándar y de 20 a 30 pasadas para el alambre de molibdeno ultrafino. Recocido intermedio (600-900 °C, protección de argón, incubación durante 10-30 minutos) después de cada pasada para eliminar el endurecimiento por trabajo y restaurar la ductilidad. La máquina trefiladora adopta un equipo de trefilado continuo multimodo, equipado con control automático de tensión (precisión  $\pm 0,1$  N) y detección de defectos en línea (detección de defectos por corrientes de Foucault, precisión de detección de 0,01 mm).

El diseño del molde debe optimizarse para el trefilado de alambre de varias pasadas, y la tasa de disminución de la apertura debe controlarse entre el 5 y el 15% para evitar la concentración de tensión. El trefilado de alambre de molibdeno ultrafino requiere el uso de troqueles de diamante a nanoescala (apertura < 0,05 mm), que es costoso pero preciso  $\pm 0,0005$  mm. La superficie del alambre de molibdeno después del trefilado se inspecciona con un microscopio y un medidor de rugosidad para garantizar que no haya microgrietas ni arañazos.

#### 4.3.4 Tecnología de lubricación y refrigeración

La lubricación y el enfriamiento son clave para el proceso de trefilado, lo que afecta la vida útil del troquel y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno. El lubricante es una emulsión a base de agua (que contiene grafito o  $\text{MoS}_2$ , viscosidad de 10 a 20 mPa·s) o un lubricante a base de aceite (viscosidad de 20 a 50 mPa·s) con un espesor de recubrimiento de 0,01 a 0,05 mm y un coeficiente de fricción reducido a 0,05 a 0,1. El enfriamiento se lleva a cabo mediante un sistema de circulación

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de agua (temperatura de 15 a 25 °C, caudal de 1 a 2 L/min) o enfriamiento por pulverización para mantener la temperatura del molde y el alambre de molibdeno por debajo de 100 °C.

El lubricante debe filtrarse regularmente (precisión de 1 µm) para eliminar las impurezas y evitar araños en la superficie. El trefilado ultrafino de molibdeno requiere el uso de lubricantes de baja volatilidad para reducir los residuos. El sistema de enfriamiento está equipado con un sensor de temperatura y un medidor de flujo para garantizar un enfriamiento uniforme. Según los datos de Chinatungsten Online, la tecnología optimizada de lubricación y enfriamiento puede aumentar la vida útil del molde en un 30% y reducir la tasa de rotura del alambre al 0,05%.

#### 4.4 Tratamiento superficial

Los tratamientos superficiales mejoran la calidad de la superficie y el rendimiento del alambre de molibdeno, incluidos los tratamientos de lavado, pulido y recubrimiento cáusticos, para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones, como fuentes de luz eléctrica, corte de alambre y recubrimiento al vacío.

##### 4.4.1 Proceso de lavado cáustico (alambre de molibdeno limpio)

El proceso de lavado cáustico se utiliza para producir alambre de molibdeno limpio, eliminar la capa superficial de óxido ( $\text{MoO}_3$ , espesor 0,1-1,0 µm) y mejorar el acabado superficial ( $R_a < 0,2$  µm). El proceso utiliza una solución de hidróxido de sodio (concentración 10-20%, temperatura 80-100 °C) remojada durante 1-5 minutos, seguida de un enjuague con agua desionizada (conductividad  $< 1$  µS/cm) durante 5-10 minutos y un secado con aire caliente (60-80 °C). La planta de lavado cáustico es una línea de limpieza continua equipada con una unidad de limpieza ultrasónica (frecuencia 28-40 kHz) para eliminar las partículas finas.

El lavado alcalino debe controlar el pH (12-14) y la temperatura ( $\pm 2$  °C) de la solución para evitar una corrosión excesiva. La baja resistencia de contacto (reducción del 10-15%) y el bajo contenido de impurezas ( $< 0,005\%$ ) del alambre de molibdeno limpio lo hacen adecuado para fuentes de luz eléctrica y aplicaciones microelectrónicas. El líquido residual debe neutralizarse y precipitarse (pH ajustado a 6-8) para cumplir con los requisitos ambientales.

##### 4.4.2 Proceso de pulido

El pulido mejora aún más el acabado de la superficie del alambre de molibdeno limpio, mediante pulido electroquímico o pulido mecánico. El pulido electroquímico utiliza una mezcla de ácido fosfórico-electrolito de ácido sulfúrico (relación 3:1, densidad de corriente 0,5-1,0 A/cm<sup>2</sup>) con un tiempo de pulido de 30-60 segundos y se realiza en una campana extractora. El pulido mecánico utiliza una muela abrasiva de diamante (tamaño de grano de 1 a 5 µm) a 1000 a 2000 rpm y un tiempo de pulido de 1 a 2 minutos.

Después del pulido, la superficie del alambre de molibdeno se inspecciona mediante microscopía de fuerza atómica (AFM). El proceso de pulido mejora la precisión de corte del alambre ( $\pm 2$  µm) y la calidad de la película recubierta al vacío (densidad de defectos  $< 10/\text{cm}^2$ ). El líquido residual de pulido debe reciclarse para evitar la contaminación por metales pesados.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

#### 4.4.3 Tratamiento del recubrimiento

Los tratamientos de recubrimiento mejoran la resistencia a la oxidación y abrasión del alambre de molibdeno, y los recubrimientos comunes incluyen siliciuro de molibdeno ( $\text{MoSi}_2$ ) y zirconio ( $\text{ZrO}_2$ ). El recubrimiento de siliciuro de molibdeno se preparó por deposición química de vapor (CVD) a una temperatura de deposición de 1000-1200 °C, un espesor de recubrimiento de 5-10  $\mu\text{m}$  y una tasa de oxidación de 0,01  $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{h}$  en aire a 1000 °C. El recubrimiento de zirconio se prepara mediante pulverización por plasma con una potencia de pulverización de 20-30 kW, un espesor de recubrimiento de 10-20  $\mu\text{m}$  y un aumento del 50% en la resistencia al desgaste.

La calidad del recubrimiento se detectó mediante microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de fotoelectrones de rayos X, y la adhesión del recubrimiento fue de  $> 50$  MPa. El alambre de molibdeno recubierto se utiliza en hornos de alta temperatura y componentes aeroespaciales para prolongar la vida útil a más de 5000 horas. El proceso de recubrimiento requiere velocidades de deposición controladas (0,1-0,5  $\mu\text{m}/\text{min}$ ) y atmósferas (vacío  $< 10^{-2}$  Pa) para garantizar la uniformidad.

#### 4.5 Tratamiento térmico y recocido

El tratamiento térmico y el recocido optimizan la microestructura y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, eliminan la tensión de trefilado y mejoran la ductilidad y la tenacidad.

##### 4.5.1 Parámetros del proceso de recocido

El recocido se lleva a cabo bajo la protección de hidrógeno o argón a una temperatura de 600-1000 °C, un tiempo de retención de 10-60 minutos, una velocidad de calentamiento de 5-10 °C/min y una velocidad de enfriamiento de 10-20 °C/min. La temperatura de recocido es de 600-800 °C para el alambre de molibdeno ultrafino ( $< 0,05$  mm de diámetro) y de 800-1000 °C para el alambre de molibdeno grueso ( $> 1,0$  mm de diámetro). Después del recocido, la resistencia a la tracción disminuye en un 10-20% y el alargamiento aumenta al 8-15%. El alambre de molibdeno, lantano y molibdeno, renio, requieren una temperatura de recocido más alta (800-1200 °C) para optimizar la distribución del elemento dopante.

El proceso de recocido se verificó mediante microscopía metalúrgica y prueba de tracción, y el tamaño de grano se controló a 10-50  $\mu\text{m}$ , y la tenacidad a la fractura se incrementó a 20-30  $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ . Los parámetros de recocido deben optimizarse de acuerdo con las especificaciones y aplicaciones del alambre de molibdeno, por ejemplo, el alambre de molibdeno para el corte de alambre debe ser de alta resistencia y el tiempo de recocido es corto (10-20 minutos).

##### 4.5.2 Equipos de tratamiento térmico

El tratamiento térmico se lleva a cabo mediante hornos de recocido tubulares o líneas de recocido continuo con sistemas de protección de hidrógeno (pureza  $> 99,999\%$ ) o argón (contenido de oxígeno  $< 10$  ppm) de alta pureza. Con una precisión de control de temperatura de  $\pm 5$  °C y una longitud de horno de 1-2 m, el horno tubular es adecuado para la producción de lotes pequeños. La línea de recocido continuo está equipada con calentamiento multizona (zonas 3-5 con un gradiente de temperatura de 10 °C/cm) y una velocidad de estirado de 0,5 a 2 m/min, lo que la hace adecuada

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

para la producción a gran escala.

El equipo debe estar equipado con un termómetro infrarrojo y un analizador de atmósfera (precisión de detección del contenido de oxígeno  $\pm 1$  ppm) para garantizar un entorno de recocido estable. Los gases de escape son tratados por un dispositivo de combustión catalítica y la tasa de conversión es  $> 99\%$ . El equipo de tratamiento térmico se mantiene regularmente para evitar que la contaminación del horno afecte la calidad del alambre de molibdeno.

#### 4.6 Preparación de alambre de molibdeno de aleación especial

El alambre de molibdeno de aleación especial (como el alambre de molibdeno y lantano, el alambre de molibdeno renio) se prepara mediante dopaje y procesos especiales para satisfacer las necesidades de altas temperaturas y entornos extremos.

##### 4.6.1 Proceso de dopaje del alambre de molibdeno y lantano

El alambre de lantano y molibdeno se prepara añadiendo óxido de lantano ( $\text{La}_2\text{O}_3$ , 0,3-1,0 % en peso) al polvo de molibdeno, que se dopa en húmedo o en seco. El dopaje húmedo mezcla la solución de  $\text{La}(\text{NO}_3)_3$  con polvo de molibdeno y se seca por pulverización (temperatura de 120 a 150 °C) para formar un polvo homogéneo con un tamaño de partícula de 1 a 3  $\mu\text{m}$ . El dopaje en seco se realiza mezclando polvo de molibdeno y polvo de óxido de lantano en un molino de bolas de alta velocidad (300-500 rpm, 2-4 horas). El polvo dopado se convirtió en un blanco mediante prensado isostático en frío y sinterización (1900-2000 °C), y el tamaño de partícula de óxido de lantano se controló a 0,1-0,5  $\mu\text{m}$  y la uniformidad de distribución fue  $>95\%$ .

El proceso de estirado y recocido del alambre de lantano y molibdeno debe optimizarse, con una temperatura de recocido de 800 a 1000 °C, 20 a 30 pasadas de trefilado, una resistencia a la tracción de 1500 a 2000 MPa y una temperatura de recristalización de 1800 °C. El proceso de dopaje se verificó mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión (TEM), y el efecto de fijación de las partículas de óxido de lantano mejoró significativamente el rendimiento a alta temperatura.

##### 4.6.2 Producción de alambre de aleación de molibdeno-renio

El alambre de renio y molibdeno se prepara mediante la adición de polvo de renio (5-41 % en peso) mediante fusión por plasma o procesos de mezcla mecánica. La fusión por plasma se lleva a cabo en plasma de argón (potencia de 10 a 20 kW) a una temperatura de fusión de 2500 a 3000 °C con una uniformidad de distribución de renio del  $>98\%$ . La mezcla mecánica utiliza un molino planetario (200-400 rpm, 4-6 horas) para garantizar una dispersión uniforme de las partículas de renio (1-5  $\mu\text{m}$ ). El polvo mezclado se convierte en un blanco mediante prensado isostático en frío (250 MPa) y sinterización a alta temperatura (2000-2200 °C) con una densidad de  $> 10,3$  g/cm<sup>3</sup>.

El proceso de trefilado del alambre de renio y molibdeno se lleva a cabo mediante un proceso de estirado en frío, la tolerancia del diámetro del orificio de la matriz es de  $\pm 0,001$  mm y la temperatura de recocido es de 900 a 1200 °C. Con una resistencia a la tracción de 2000-3000 MPa y un aumento del 50% en la tenacidad, es adecuado para aplicaciones aeroespaciales y médicas. La

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

producción debe llevarse a cabo en vacío o argón para evitar la volatilización del renio, y el equipo está equipado con un sistema de recuperación de condensación de gases de escape.

#### 4.7 Optimización de procesos e innovación tecnológica

La optimización de procesos y la innovación tecnológica para mejorar la eficiencia de la producción, la calidad y el rendimiento ambiental del alambre de molibdeno implican procesos automatizados de producción y ahorro de energía.

##### 4.7.1 Tecnología de producción automatizada

La tecnología de automatización se utiliza en el trefilado, el recocido y la inspección. La línea de trefilado está equipada con una máquina trefiladora CNC multieje, que ajusta automáticamente la tensión (precisión  $\pm 0,1$  N) y la velocidad (0,1-5 m/s), y la tasa de rotura del hilo se reduce al 0,05%. La inspección en línea utiliza un calibrador láser (precisión  $\pm 0,0005$  mm) y detección de defectos por corrientes de Foucault (detección de defectos  $< 0,01$  mm) para monitorear la calidad del alambre de molibdeno en tiempo real. La línea de recocido utiliza PLC para controlar la temperatura ( $\pm 2$  °C) y la atmósfera (contenido de oxígeno  $< 5$  ppm) para una producción continua.

El sistema de automatización integra MES (Manufacturing Execution System) para registrar los datos de producción (por ejemplo, velocidad de estirado, tiempo de recocido) en tiempo real para mejorar la consistencia de los lotes. La producción automatizada aumentará la eficiencia en un 30% y reducirá el costo de mano de obra en un 20%, lo que es adecuado para la producción a gran escala de alambre de molibdeno ultrafino y alambre de molibdeno aleado.

##### 4.7.2 Protección del medio ambiente y procesos de ahorro de energía

Los procesos respetuosos con el medio ambiente incluyen el tratamiento de gases residuales, la recuperación de líquidos residuales y los equipos de ahorro de energía. El horno de sinterización y recocido está equipado con un sistema de recuperación de hidrógeno (tasa de recuperación  $> 90\%$ ) y una unidad de combustión catalítica de gases de escape (tasa de conversión  $> 99\%$ ) para reducir las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{MoO}_3$ . El molibdato se recuperó por neutralización (pH 6-8) y precipitación de los residuos de lavado cáustico con una tasa de recuperación del  $> 95\%$ . El lubricante de trefilado es a base de agua, respetuoso con el medio ambiente y reduce las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en un 80%.

Las tecnologías de ahorro de energía incluyen un horno de inducción de frecuencia intermedia (15% menos de consumo de energía) y un sistema de enfriamiento eficiente (tasa de reciclaje de agua  $> 90\%$ ). La fabricación ecológica cumple con las normas ISO 14001 y promueve el desarrollo sostenible de la industria del alambre de molibdeno.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

## Capítulo 5 Usos del alambre de molibdeno

Con su excelente estabilidad a altas temperaturas, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica, el alambre de molibdeno ha demostrado una amplia gama de valor de aplicación en los campos de fuentes de luz eléctrica, corte de alambre y pulverización. Diferentes aplicaciones plantean requisitos específicos para la especificación, pureza y tratamiento superficial del alambre de molibdeno, cubriendo una variedad de escenarios, desde el mecanizado de precisión a nivel de micras hasta entornos de alta temperatura y servicio pesado. La siguiente es una descripción de texto detallada para analizar las aplicaciones específicas del alambre de molibdeno en la fabricación de fuentes de luz eléctrica, electroerosión por hilo y pulverización térmica, y explicar sus ventajas de rendimiento, flujo de proceso y desafíos técnicos.

### 5.1 Alambre de molibdeno para fuente de luz eléctrica

El alambre de molibdeno es un material indispensable en la industria de las fuentes de luz eléctrica y se usa ampliamente en la fabricación de bombillas, estructuras de soporte, cables y piezas de conexión para lámparas halógenas, fluorescentes y LED. Su bajo coeficiente de expansión térmica está muy adaptado al vidrio y la cerámica, y su excelente conductividad y estabilidad a altas temperaturas le permiten soportar altas temperaturas y ciclos térmicos frecuentes en dispositivos de fuente de luz eléctrica, al tiempo que garantiza la fiabilidad en el funcionamiento a largo plazo.

#### 5.1.1 Cables y cables de soporte en la fabricación de bombillas

En la fabricación de bombillas tradicionales como las lámparas incandescentes, se utilizan filamentos de molibdeno como cables y cables de soporte, que se encargan de sujetar los filamentos de alta temperatura e introducir corriente en la bombilla. El alambre de molibdeno puede formar una conexión hermética con el sello de vidrio, lo que puede mantener un rendimiento de sellado

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

estable incluso a altas temperaturas y evitar el agrietamiento causado por la expansión térmica y la contracción en frío. Como filamento de soporte, el alambre de molibdeno soporta el peso del filamento, evitando que se hunda debido a la alta temperatura cuando se enciende, asegurando que el filamento se coloque con precisión, manteniendo así la uniformidad de la luz. Como cable, el cable de molibdeno conecta la fuente de alimentación externa al filamento, conduce la corriente de manera eficiente, reduce la pérdida de energía y prolonga la vida útil de la bombilla.

En el proceso de producción, el alambre de molibdeno generalmente está hecho de material de alta pureza, y el proceso de estirado en frío fino se utiliza para hacer alambre de diámetro fino, y luego la capa de óxido de la superficie se elimina mediante lavado alcalino para hacer alambre de molibdeno limpio con una superficie lisa. La calidad de la superficie del alambre de molibdeno limpio es crítica, y las trazas de impurezas deben eliminarse mediante limpieza ultrasónica para garantizar que no haya burbujas ni grietas cuando se sellan con vidrio. En la fabricación, el alambre de molibdeno se recoce bajo la protección del hidrógeno para aliviar el estrés del procesamiento, mejorar la tenacidad y facilitar el doblado y la formación posteriores. El desafío técnico es garantizar que la superficie del alambre de molibdeno esté libre de defectos y evitar la oxidación durante el proceso de sellado a alta temperatura, que requiere un control estricto de la limpieza y la pureza atmosférica del entorno de producción.

### 5.1.2 Materiales de electrodos para lámparas halógenas y fluorescentes

El alambre de molibdeno se utiliza como cable conductor de electrodo en lámparas halógenas y fluorescentes para conectar el filamento o el recubrimiento de fósforo a un circuito externo, y se somete a altas temperaturas y entornos químicamente corrosivos. En las lámparas halógenas, el filamento de molibdeno está expuesto a una atmósfera altamente corrosiva de gases halógenos, y su excelente resistencia a la corrosión garantiza que no se erosione para un funcionamiento a largo plazo, al tiempo que permite que el filamento brille de manera estable a altas temperaturas. En las lámparas fluorescentes, el alambre de molibdeno se utiliza como cable de cátodo, que participa en el proceso de descarga de alta frecuencia, y el rendimiento conductor garantiza la estabilidad del arco, mejorando así la eficiencia luminosa y la vida útil de la lámpara.

El proceso de fabricación requiere un alto acabado superficial y consistencia dimensional del alambre de molibdeno, generalmente utilizando un proceso de estirado en frío, a través de múltiples pasadas de trefilado y recocido intermedio, para garantizar que el alambre sea flexible y esté libre de tensiones internas. La superficie se trata mediante lavado con álcalis y limpieza ultralimpia para eliminar la capa de óxido y las partículas, y reducir la interferencia de impurezas durante la descarga del electrodo. El alambre de molibdeno a menudo se dopa con oligoelementos (por ejemplo, silicio, aluminio, potasio) para mejorar la capacidad de resistir la flacidez y adaptarse al ciclo térmico de cambio frecuente de lámparas. El reto es controlar la homogeneidad de los elementos dopados y evitar la oxidación durante la soldadura a alta temperatura, garantizando una conexión fiable de los electrodos.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

### 5.1.3 Base de la lámpara LED y material de conexión

En la fabricación de lámparas LED, el alambre de molibdeno se utiliza para el soporte de la base y la conexión del electrodo, la fijación del chip LED y la corriente conductora. Su bajo coeficiente de expansión térmica está muy adaptado al sustrato cerámico para evitar el agrietamiento por tensión causado por el ciclo térmico. La conductividad y las propiedades no magnéticas del alambre de molibdeno garantizan la estabilidad de corriente y la compatibilidad electromagnética de los LED de alta potencia, que son particularmente adecuados para la iluminación de alto brillo y los equipos electrónicos de precisión. El acabado superficial del alambre de molibdeno tiene un impacto significativo en la resistencia de contacto, y es necesario garantizar una baja resistencia para reducir la generación de calor y mejorar la eficiencia energética y la vida útil de las lámparas LED.

En la producción, el alambre de molibdeno adopta un proceso de estirado en frío ultrafino, con pulido y limpieza ultralimpio, para garantizar que no haya arañazos ni impurezas en la superficie. La soldadura láser se utiliza para fijar el alambre de molibdeno a la base, lo que requiere que las juntas de soldadura sean fuertes y estén libres de impurezas. El proceso de recocido optimiza la dureza del alambre de molibdeno y permite doblarlo en formas complejas para adaptarse al diseño de la base. Los desafíos técnicos incluyen lograr una precisión dimensional a nivel de micras y mantener un vacío durante el proceso de soldadura para evitar que la oxidación afecte la conductividad.

## 5.2 Alambre de molibdeno para cortar alambre

El alambre de molibdeno es el material central del electrodo de las máquinas herramienta de descarga eléctrica de corte de alambre (WEDM), y es ampliamente utilizado para cortar metales y fabricar moldes de precisión debido a su alta resistencia, resistencia al arco y excelente conductividad eléctrica. Su alta tenacidad y calidad superficial permiten un mecanizado de alta precisión para cumplir con los requisitos de formas complejas y tolerancias a nivel de micras.

### 5.2.1 Alambre de alambre para máquinas herramienta de electroerosión por hilo

En las máquinas de electroerosión por hilo, el alambre de molibdeno se utiliza como alambre de electrodo para producir una incrustación microscópica en la pieza de trabajo a través de una descarga de pulso de alta frecuencia, lo que permite un corte de alta precisión. El alambre de molibdeno es capaz de soportar altas temperaturas de tensión y arco, manteniendo un rendimiento de descarga estable, lo que garantiza un proceso de corte continuo y eficiente. Su conductividad admite la conducción rápida de corriente y reduce la pérdida de energía, mientras que su alta resistencia evita que el cable se rompa durante el funcionamiento a alta velocidad. Debido a su superficie lisa y baja resistencia de contacto, el alambre de molibdeno limpio es particularmente adecuado para cortes de alta precisión, lo que reduce la pérdida de arco y prolonga la vida útil.

El proceso de producción adopta la tecnología de estirado en frío, a través de múltiples pasadas de trefilado y recocido intermedio, para garantizar que el diámetro del alambre de molibdeno sea uniforme y la superficie sea lisa. Los lubricantes reducen la fricción y evitan los arañazos en la superficie durante el trefilado, mientras que el equipo de inspección en línea supervisa el tamaño y los defectos del cable para garantizar una calidad constante. Los filamentos de molibdeno deben

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

operarse en un medio acuoso desionizado con un sistema de control de tensión de alta precisión para mantener una descarga estable. El reto consistía en reducir el riesgo de rotura del hilo, optimizar los sistemas de lubricación y refrigeración, y garantizar que el troquel de trefilado fuera preciso para cumplir con las tolerancias de micras.

### 5.2.2 Corte de metales no ferrosos, acero y carburo cementado

El alambre de molibdeno se utiliza para cortar metales no ferrosos (como cobre, aluminio), acero y carburo cementado (como la aleación de tungsteno-cobalto), y se usa ampliamente en el mecanizado y la fabricación de moldes. Su alta resistencia y resistencia a la abrasión le permiten cortar materiales de alta dureza manteniendo una calidad de corte estable. El alambre de molibdeno resiste la erosión del arco a alta temperatura durante la descarga, una excelente conductividad térmica y una rápida disipación de calor, lo que reduce la pérdida de alambre y prolonga la vida útil. El alambre de molibdeno dopado, como el alambre de lantano y molibdeno, mejora aún más la eficiencia del corte de carburo cementado al mejorar la resistencia al desgaste y la estabilidad a altas temperaturas.

En la producción, el alambre de molibdeno se prepara mediante un proceso de estirado y pulido en frío para garantizar una superficie lisa y reducir la inestabilidad del arco. El proceso de corte se enfría con agua desionizada de alta pureza para evitar el sobrecalentamiento de la pieza de trabajo y el alambre. La seda de desecho se recicla a través de la disolución química para reducir el desperdicio de recursos. El desafío técnico radica en optimizar los parámetros de descarga y el control de tensión para equilibrar la velocidad y la precisión de corte y, al mismo tiempo, reducir el desgaste del alambre en el corte de carburo.

### 5.2.3 Moldes de precisión y procesamiento de formas complejas

El alambre de molibdeno logra una precisión a nivel de micras en moldes de precisión y procesamiento de formas complejas, y es adecuado para el procesamiento de acero para moldes, aleaciones de titanio y otros materiales, satisfaciendo las necesidades de las industrias aeroespacial y automotriz para geometrías complejas. El alambre de molibdeno ultrafino es capaz de cortar características finas como moldes de engranajes en miniatura o superficies curvas complejas, y su alta tenacidad permite un funcionamiento a alta velocidad sin romperse. El acabado de la superficie es fundamental para la precisión del corte, y el alambre de molibdeno limpio reduce los defectos de la superficie a través de un proceso de pulido para garantizar un corte suave y sin rebabas.

El proceso de fabricación incluye múltiples pasadas de estirado en frío y un estricto control de recocido para garantizar que el alambre sea flexible y esté libre de tensiones internas. Las máquinas CNC multieje se utilizan para mecanizar formas complejas, y los alambres de molibdeno deben operarse bajo un control de tensión preciso para evitar vibraciones. El sistema de circulación de refrigerante mantiene la estabilidad del proceso y evita la distorsión térmica. El desafío es lograr consistencia dimensional y estabilidad al mecanizar formas complejas con alambres de molibdeno ultrafinos, utilizando herramientas de alta precisión y tecnología de monitoreo en línea.

## 5.3 Alambre de molibdeno para pulverización

El alambre de molibdeno se utiliza en la pulverización térmica para formar recubrimientos

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

resistentes al desgaste y a la corrosión y se usa ampliamente en las industrias automotriz, mecánica y aeroespacial para el fortalecimiento y la reparación de superficies. Su alto punto de fusión y resistencia mecánica garantizan un excelente rendimiento en entornos extremos.

### 5.3.1 Recubrimientos resistentes al desgaste para piezas de automóviles

El alambre de molibdeno se rocía sobre la superficie de las piezas automotrices (como anillos de pistón, cigüeñales) para formar un recubrimiento resistente al desgaste, lo que mejora significativamente la durabilidad y la capacidad antidesgaste de los componentes. El alambre de molibdeno se funde por pulverización de plasma o llama y se deposita sobre la superficie del sustrato para formar un recubrimiento denso que puede soportar entornos de alta fricción y alta temperatura, lo que prolonga la vida útil de los componentes. El alambre de molibdeno negro se usa a menudo para la pulverización con llama porque su capa superficial de óxido es fácil de derretir en la pulverización, con alta eficiencia y bajo costo.

En la producción, el alambre de molibdeno se convierte en alambre de diámetro más grueso mediante un proceso de estirado en caliente, y no es necesario pulir la superficie para retener la capa de óxido. El equipo de pulverización está equipado con una pistola de plasma de alta potencia, y la temperatura y la distancia de pulverización deben controlarse para garantizar un recubrimiento uniforme. La calidad del recubrimiento se inspecciona microscópicamente para garantizar que no haya porosidad ni grietas. El desafío es optimizar los parámetros de pulverización para mejorar la adherencia del recubrimiento y, al mismo tiempo, controlar las emisiones de polvo para cumplir con los requisitos ambientales.

### 5.3.2 Reparación de superficies y refuerzo de componentes mecánicos

El alambre de molibdeno se utiliza para reparar piezas mecánicas desgastadas (por ejemplo, cojinetes, ejes) o mejorar sus propiedades superficiales, y se rocía para formar un recubrimiento espeso, resistente al desgaste y a la corrosión. El alambre de molibdeno se derrite en la pulverización de plasma y se deposita en las superficies desgastadas, restaurando el tamaño de los componentes y mejorando la resistencia a la corrosión, lo que lo hace particularmente adecuado para componentes en equipos químicos e ingeniería en alta mar. El alambre de molibdeno dopado, como el alambre de lantano y molibdeno, prolonga la vida útil de las piezas reparadas en entornos de alta temperatura al mejorar la resistencia a la oxidación del recubrimiento.

El proceso de producción incluye estirado en caliente y limpieza de superficies para garantizar que el alambre esté libre de impurezas. El proceso de pulverización se lleva a cabo bajo la protección de un gas inerte (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación. El recubrimiento se verifica mediante pruebas de desgaste para garantizar un bajo coeficiente de fricción y una alta durabilidad. Los desafíos técnicos incluyen garantizar la fuerza de la unión entre el recubrimiento y el sustrato, así como controlar las tensiones térmicas durante el proceso de pulverización para evitar la deformación del sustrato.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 5.3.3 Pulverización térmica de componentes de motores aeronáuticos

El alambre de molibdeno se rocía con recubrimientos resistentes al desgaste y a altas temperaturas en los componentes de los motores aeronáuticos (como cuchillas y boquillas) para cumplir con los requisitos de entornos corrosivos y de alta temperatura, alta presión. El alambre de molibdeno renio se usa a menudo en la pulverización de plasma debido a su excelente resistencia al choque térmico y a la corrosión, formando un recubrimiento que puede funcionar durante mucho tiempo en corrientes de gas a alta temperatura. El recubrimiento mejora la resistencia al desgaste y a la oxidación de las palas y prolonga los intervalos de mantenimiento del motor.

En la producción, el alambre de molibdeno renio se prepara mediante estirado en frío y recocido a alta temperatura para garantizar la dureza y resistencia del alambre. La pulverización se realiza en vacío o en atmósfera inerte y requiere un control preciso de los parámetros de pulverización para crear un recubrimiento homogéneo. La calidad del recubrimiento se verifica mediante pruebas de ciclos térmicos y análisis microscópicos para garantizar que no haya grietas ni descamaciones. El desafío era lograr un recubrimiento de alta adherencia y, al mismo tiempo, reducir la pérdida de material y el impacto ambiental del alambre de molibdeno durante el proceso de pulverización.

### 5.4 Alambre de molibdeno para recubrimiento al vacío

El alambre de molibdeno se utiliza como material fuente de evaporación clave en la industria del recubrimiento al vacío para depositar películas delgadas de alto rendimiento en una amplia gama de recubrimientos ópticos, decorativos y funcionales. Su alto punto de fusión, excelente conductividad térmica y estabilidad química garantizan una evaporación estable en un entorno de vacío a alta temperatura, formando una película uniforme y densa, que cumple con los estrictos requisitos de calidad y confiabilidad de los dispositivos de precisión.

#### 5.4.1 Materiales fuente de evaporación en deposición de película delgada

El alambre de molibdeno se utiliza como material fuente de evaporación en el proceso de deposición física de vapor (PVD), donde un metal o compuesto se funde y se evapora por calor para formar una película delgada en el sustrato. El alambre de molibdeno es capaz de soportar temperaturas extremadamente altas sin derretirse ni deformarse, lo que lo hace adecuado para el funcionamiento a largo plazo en un entorno de vacío para garantizar la estabilidad de la deposición de película delgada. Tiene una excelente conductividad térmica y es capaz de transferir el calor de manera uniforme para evitar la evaporación desigual causada por el sobrecalentamiento local. La estabilidad química del alambre de molibdeno garantiza que no se introduzcan impurezas durante el proceso de evaporación, manteniendo la alta pureza y rendimiento de la película.

En la producción, el alambre de molibdeno generalmente está hecho de materiales de alta pureza, y el alambre de diámetro fino se fabrica mediante un proceso de estirado en frío, y la superficie se pule y se limpia ultra limpia para lograr un acabado muy alto y reducir el impacto de la porosidad o defectos en la calidad de la película. El alambre de molibdeno de la fuente de evaporación debe calentarse mediante un haz de electrones o resistencia en un entorno de vacío, y el proceso de calentamiento debe controlarse con precisión para garantizar una tasa de evaporación estable. El proceso de fabricación incluye múltiples pasadas de trefilado y recocido para aliviar la tensión y mejorar la tenacidad, lo que facilita una fuente de evaporación que se enrolla en una forma específica.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El desafío técnico es garantizar que la superficie del alambre de molibdeno esté libre de trazas de contaminación y, al mismo tiempo, evitar la pérdida prematura del alambre durante el proceso de evaporación a alta temperatura, que requiere un equipo de vacío ultra alto y un proceso de limpieza de alta calidad.

#### 5.4.2 Recubrimientos ópticos y decorativos

El alambre de molibdeno se utiliza en recubrimientos ópticos (por ejemplo, lentes, filtros) y recubrimientos decorativos (por ejemplo, relojes, carcasas de joyas) para depositar óxido o películas metálicas para alta reflectividad o necesidades estéticas. Su estabilidad a altas temperaturas favorece la deposición de materiales con altos puntos de fusión, como la sílice o el dióxido de titanio, lo que garantiza excelentes propiedades ópticas y durabilidad de la película. La baja presión de vapor del alambre de molibdeno garantiza que no se liberen gases nocivos al evaporarse en un entorno de vacío, manteniendo el equipo de recubrimiento limpio y la película pura. Debido a su superficie lisa y bajo contenido de impurezas, el alambre de molibdeno limpio es particularmente adecuado para recubrimientos ópticos de alta precisión, lo que reduce la dispersión de la luz y los defectos.

El proceso de producción requiere que el alambre de molibdeno tenga una calidad superficial extremadamente alta, con óxidos y partículas superficiales eliminados por estirado en frío, pulido y limpieza ultrasónica. Durante el proceso de recubrimiento, el alambre de molibdeno se enrolla en una estructura espiral o escafoides, que se calienta mediante un haz de electrones y se evapora en una cámara de vacío. El proceso requiere un control preciso de la potencia de calentamiento y el nivel de vacío para garantizar que el espesor de la película sea uniforme y sin agujeros. Los desafíos técnicos incluyen lograr la homogeneidad de la película y controlar la tasa de evaporación de los alambres de molibdeno, lo que requiere un sistema de monitoreo de espesor de alta precisión y un equipo de calentamiento estable.

#### 5.4.3 Recubrimientos de semiconductores y células solares

El alambre de molibdeno se utiliza en recubrimientos de semiconductores y células solares para depositar películas conductoras o funcionales como cobre, plata u óxidos conductores transparentes para cumplir con los requisitos de alto rendimiento de chips y dispositivos fotovoltaicos. Su conductividad y estabilidad a altas temperaturas favorecen una deposición eficiente, lo que garantiza una baja resistencia y una buena adherencia de la película. Debido a su alta resistencia y tamaño preciso, el alambre de molibdeno ultrafino es adecuado para la deposición de películas delgadas con espesor de micras, satisfaciendo las necesidades de la industria de semiconductores para la miniaturización y la alta precisión. La naturaleza no magnética del alambre de molibdeno evita la interferencia con dispositivos sensibles electromagnéticos durante el proceso de deposición, y es especialmente adecuada para circuitos integrados y electrodos fotovoltaicos.

En la fabricación, el alambre de molibdeno ultrafino se prepara mediante múltiples pasadas de estirado en frío y un estricto proceso de recocido para garantizar la consistencia del diámetro y el acabado de la superficie. La superficie debe limpiarse para eliminar las trazas de impurezas y evitar la contaminación de la película. El equipo de recubrimiento utiliza un sistema de ultra alto vacío, y el alambre de molibdeno se calienta mediante un láser o un haz de electrones para depositar el

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

material. Las tasas de vacío y deposición están estrictamente controladas para garantizar las propiedades eléctricas y ópticas de la película. El desafío técnico es lograr la homogeneidad de la película ultradelgada y evitar la microevaporación del alambre de molibdeno a altas temperaturas, y es necesario optimizar el método de calentamiento y el entorno de vacío.

### **5.5 Alambre de molibdeno para elementos calefactores**

El alambre de molibdeno se utiliza como elemento calefactor en hornos eléctricos de alta temperatura, hornos de vacío y equipos de tratamiento térmico, y con su alto punto de fusión y baja presión de vapor, puede funcionar de manera estable a temperaturas extremas para satisfacer las necesidades de calentamiento industrial y manejo de materiales. Su excelente conductividad térmica y resistencia mecánica garantizan una transferencia de calor eficiente y una fiabilidad a largo plazo.

#### **5.5.1 Alambre calefactor para horno eléctrico de alta temperatura**

El alambre de molibdeno se utiliza como cable calefactor en un horno eléctrico de alta temperatura para generar calor directamente mediante electricidad, que se utiliza en la fundición de metales, la sinterización de cerámica y otros procesos. Su estabilidad a altas temperaturas le permite funcionar a temperaturas cercanas al punto de fusión sin deformación ni fusión, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren un aumento rápido y un control preciso de la temperatura. La conductividad del alambre de molibdeno admite el paso de grandes corrientes, generando un campo térmico uniforme para garantizar que los materiales en el horno se calienten de manera constante. El alambre de lantano y molibdeno está dopado con óxido de lantano, que tiene una mayor resistencia a la fluencia y es adecuado para el funcionamiento a alta temperatura a largo plazo.

En la producción, el alambre de molibdeno se convierte en alambre de diámetro medio mediante un proceso de estirado en caliente, y la superficie se lava o pule cáustica para reducir la resistencia desigual. El alambre calefactor se enrolla en una forma específica (por ejemplo, espiral o malla) y se suelda al cuerpo del horno. El proceso de fabricación incluye recocido para aliviar la tensión y garantizar que el alambre sea flexible y fácil de formar. El desafío técnico consistía en evitar la oxidación a altas temperaturas, operar bajo vacío o protección de gas inerte y optimizar el diseño del devanado para evitar el sobrecalentamiento local.

#### **5.5.2 Elementos calefactores en hornos de vacío y hornos de atmósfera**

En hornos de vacío y hornos de atmósfera (por ejemplo, protección contra argón o nitrógeno), el alambre de molibdeno actúa como elemento calefactor para proporcionar un entorno estable a alta temperatura para procesos como el crecimiento de cristales, la sinterización de aleaciones, etc. Su baja presión de vapor garantiza que no se libere gas durante el funcionamiento en un entorno de vacío, manteniendo el horno limpio. Debido a su excelente tenacidad y resistencia al choque térmico, el alambre de renio y molibdeno es adecuado para hornos con ciclos térmicos frecuentes y puede soportar un rápido aumento y caída de temperatura sin agrietarse. La conductividad térmica del alambre de molibdeno favorece una transferencia de calor eficiente y una menor pérdida de energía.

El proceso de producción utiliza estirado en frío y recocido a alta temperatura para garantizar la resistencia y tenacidad del alambre. La capa de óxido debe eliminarse mediante un lavado alcalino

#### **Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal**

en la superficie para reducir la influencia de las impurezas en el rendimiento de la calefacción. Los elementos calefactores están soldados al vacío o fijados mecánicamente para garantizar una conexión segura. Los desafíos técnicos incluyen mantener el contenido de oxígeno ultra bajo del horno de vacío, evitar la oxidación del alambre de molibdeno y optimizar la geometría de los elementos calefactores para lograr un campo térmico uniforme.

### 5.5.3 Aplicaciones en equipos de tratamiento térmico

El alambre de molibdeno se utiliza como elemento calefactor en equipos de tratamiento térmico (como hornos de recocido, hornos de enfriamiento) para procesos de tratamiento térmico de metales o aleaciones. Su estabilidad a altas temperaturas y su resistencia a la fluencia garantizan que su forma y rendimiento se mantengan durante largos períodos de funcionamiento, lo que lo hace adecuado para procesos de tratamiento térmico controlados con precisión. El alambre de molibdeno responde rápidamente a los cambios de temperatura, apoya los procesos dinámicos de tratamiento térmico y mejora la uniformidad de las propiedades del material. Debido a su baja resistencia y superficie lisa, el alambre de molibdeno limpio reduce la pérdida de calor y prolonga la vida útil del equipo.

En la fabricación, el alambre de molibdeno se prepara a través de un proceso de estirado y recocido de múltiples pasadas para garantizar la flexibilidad y la resistencia. La superficie se pule o se lava cáustica para mejorar la eficiencia conductora. Los elementos calefactores están soldados o sujetados al cuerpo del horno, y los puntos de conexión deben ser resistentes a altas temperaturas y tensiones mecánicas. El desafío técnico es garantizar la estabilidad del alambre de molibdeno durante el ciclo térmico, optimizando el proceso de recocido y el control de la atmósfera del horno para evitar la oxidación o la deformación.

## 5.6 Alambre de molibdeno para componentes de hornos de alta temperatura

El alambre de molibdeno es ampliamente utilizado en hornos de vacío y hornos de crecimiento de cristales como componentes de soporte, fijación, conducción y blindaje en hornos de alta temperatura. Su alta resistencia, bajo coeficiente de expansión térmica y resistencia a altas temperaturas le permiten soportar tensiones mecánicas y térmicas en entornos extremos y satisfacer las demandas de estructuras de hornos complejas.

### 5.6.1 Componentes de soporte y fijación de hornos de alta temperatura

El alambre de molibdeno se utiliza como elemento de soporte y fijación en un horno de alta temperatura (como un horno de crecimiento de silicio monocristalino) para sostener cristales semilla, crisoles o elementos calefactores para soportar el peso y el estrés térmico a altas temperaturas. Su alta resistencia y bajo coeficiente de expansión térmica aseguran que los componentes no se relajen ni deformen a altas temperaturas, manteniendo la estabilidad de la estructura del horno. Debido a su excelente resistencia a la fluencia, el alambre de molibdeno y lantano es particularmente adecuado para hornos que funcionan durante mucho tiempo y pueden soportar ciclos térmicos repetidos sin fallas.

En la producción, el alambre de molibdeno se convierte en un alambre de diámetro medio mediante

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

un proceso de estirado en frío, y la superficie se pule para reducir la concentración de tensión. Los componentes se fijan mediante soldadura láser y las uniones de soldadura se someten a altas temperaturas y cargas mecánicas. El proceso de fabricación incluye el recocido para mejorar la tenacidad y facilitar el procesamiento en formas complejas. El desafío técnico es garantizar la calidad de las soldaduras y la precisión dimensional de los componentes, utilizando equipos de soldadura de alta precisión y un estricto control de tolerancia.

### 5.6.2 Cables y partes de blindaje de los hornos de vacío

El alambre de molibdeno se utiliza como plomo y escudo en un horno de vacío para conducir la corriente y proteger la radiación térmica para proteger otros componentes del horno. Su conductividad y estabilidad a altas temperaturas soportan el paso de altas corrientes, lo que lo hace adecuado para sistemas de calefacción de alta potencia. La baja presión de vapor del alambre de molibdeno garantiza que no se libere gas en un entorno de vacío, manteniendo limpio el horno. Debido a su superficie lisa y bajo contenido de impurezas, el alambre de molibdeno limpio reduce la resistencia al contacto y mejora el efecto de protección.

El proceso de producción adopta el estirado en frío y la limpieza ultralimpia para garantizar que la superficie del alambre esté libre de impurezas. Los cables se fijan mediante soldadura fuerte al vacío o soldadura por plasma, y las piezas de blindaje deben procesarse en una estructura de malla o placa para aumentar el área de blindaje. El proceso de recocido optimiza la tenacidad del alambre y evita el agrietamiento durante la soldadura. Los desafíos técnicos incluyen mantener la pureza del entorno de vacío y garantizar la confiabilidad a largo plazo de las conexiones de cables, lo que requiere sistemas de vacío ultra alto y tecnología de soldadura de alta calidad.

### 5.6.3 Materiales estructurales para hornos de crecimiento de cristales

El alambre de molibdeno se utiliza en hornos de crecimiento de cristales (por ejemplo, hornos de zafiro o silicio monocristalino) como líneas de sujeción de semillas y materiales estructurales para mantener los cristales de semillas en su lugar y soportar los componentes internos del horno. Su alta resistencia y resistencia a altas temperaturas garantizan la estabilidad a temperaturas cercanas al punto de fusión, lo que lo hace adecuado para procesos de crecimiento de cristales de larga duración. Debido a su alta temperatura de recristalización, el alambre de lantano y molibdeno puede soportar el choque térmico de la rampa y la temperatura rápidas, lo que reduce el riesgo de deformación o fractura.

En la producción, el alambre de molibdeno se prepara mediante un proceso de estirado y pulido en frío para garantizar un acabado superficial y consistencia dimensional. Los componentes se cortan y sueldan con láser, con tolerancias precisas para adaptarse a formas complejas de hornos. El proceso de recocido mejora la flexibilidad del alambre y facilita el enrollado o la fijación. Los desafíos técnicos son garantizar la resistencia a la oxidación y la estabilidad estructural del alambre de molibdeno a altas temperaturas, operar en un entorno de vacío o gas inerte y optimizar el diseño del componente para reducir el estrés térmico.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

## 5.7 Alambre de molibdeno para componentes electrónicos

El alambre de molibdeno desempeña un papel clave en la fabricación de componentes electrónicos y se usa ampliamente en electrónica de vacío, termopares, sensores y piezas de conexión para microelectrónica y circuitos integrados. Su alta conductividad eléctrica, ausencia de magnetismo, estabilidad a alta temperatura y características de coincidencia de expansión térmica con la cerámica y el vidrio lo hacen insustituible en aplicaciones electrónicas de alta precisión y alta confiabilidad. El alambre de molibdeno es capaz de soportar entornos electromagnéticos complejos y condiciones de alta temperatura mientras mantiene propiedades mecánicas y eléctricas estables, cumpliendo con los estrictos requisitos de precisión y durabilidad en la industria electrónica.

### 5.7.1 Electrónica de vacío (tubos, tubos de rayos X)

El alambre de molibdeno se utiliza como cable de cátodo, estructura de soporte y material de electrodo en electrónica de vacío, como tubos de electrones y tubos de rayos X, para conducir la corriente y asegurar componentes críticos. En el tubo de electrones, el cable de molibdeno se utiliza como cable para conectar el cátodo y el circuito externo, que debe soportar altas temperaturas y pulsos de corriente frecuentes en un entorno de vacío para garantizar una emisión de electrones y una transmisión de señal estables. Su naturaleza no magnética evita la interferencia con los campos electromagnéticos, lo que lo hace particularmente adecuado para aplicaciones de tubos de alta frecuencia. En los tubos de rayos X, el alambre de molibdeno se utiliza como soporte o cable de cátodo, que debe mantenerse estructuralmente intacto en condiciones de alta temperatura y alto vacío para evitar fallas debido a la expansión térmica o al daño del arco. Su conductividad y resistencia a la corrosión garantizan un rendimiento estable del electrodo durante el funcionamiento a largo plazo y prolongan la vida útil del dispositivo.

El proceso de producción requiere que el alambre de molibdeno tenga una pureza y un acabado superficial extremadamente altos, generalmente utilizando un proceso de estirado en frío ultrafino, a través de trefilado y recocido de múltiples pasadas para preparar alambre de diámetro fino, la superficie a través del lavado alcalino y la limpieza ultrasónica para eliminar la capa de óxido y las partículas, para garantizar que no interfieran las impurezas con el rendimiento eléctrico. El alambre de molibdeno debe fijarse en el dispositivo mediante soldadura fuerte al vacío o soldadura láser, y las juntas de soldadura deben ser resistentes a altas temperaturas y estrés mecánico. El alambre de molibdeno limpio es especialmente adecuado para dispositivos de alta precisión debido a su baja resistencia al contacto y su superficie lisa. El desafío técnico es garantizar la resistencia a la oxidación y la estabilidad dimensional del alambre de molibdeno en un entorno de vacío a alta temperatura, lo que requiere equipos de ultra alto vacío y rigurosos procesos de tratamiento de superficies, así como optimizar la tecnología de soldadura para evitar la introducción de microfisuras o impurezas.

### 5.7.2 Fabricación de termopares y sensores

El alambre de molibdeno se utiliza como plomo o elemento sensor en la fabricación de termopares y sensores de alta temperatura, y se usa ampliamente en la medición de temperatura en hornos industriales, aeroespaciales e investigación científica. Su estabilidad a altas temperaturas le permite funcionar en temperaturas extremas durante largos períodos de tiempo sin degradarse, lo que lo hace

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

adecuado para medir datos precisos en entornos de alta temperatura. La conductividad del alambre de molibdeno garantiza una transmisión de señal confiable del sensor, mientras que su bajo coeficiente de expansión térmica se adapta a un sustrato cerámico o metálico para evitar el agrietamiento o aflojamiento causado por el ciclo térmico. El alambre de lantano y molibdeno está dopado con óxido de lantano, que tiene una mayor resistencia a la fluencia, lo que puede mantener la estabilidad en entornos dinámicos de alta temperatura y prolongar la vida útil del sensor.

Durante el proceso de fabricación, el alambre de molibdeno se convierte en un diámetro fino a través de un proceso de estirado en frío, que se recoce para eliminar el estrés del procesamiento y mejorar la flexibilidad para el bobinado o la fijación. La superficie debe pulirse y limpiarse para garantizar que ningún defecto en la superficie afecte a la calidad de la señal. Los cables de molibdeno generalmente se mantienen en su lugar en la estructura del sensor mediante soldadura láser o sujeción mecánica, y los puntos de conexión deben mantenerse de baja resistencia y alta resistencia. En la producción, es necesario operar en un entorno de gas inerte o vacío para evitar la oxidación a alta temperatura. Los desafíos técnicos incluyen garantizar la estabilidad química del alambre de molibdeno a temperaturas extremas y optimizar el proceso de unión para reducir la resistencia de contacto, lo que requiere equipos de soldadura de alta precisión y un estricto control del proceso.

### 5.7.3 Materiales de conexión para microelectrónica y circuitos integrados

El cable de molibdeno se utiliza como cable de conexión o cable de unión en microelectrónica y circuitos integrados para conectar chips con circuitos externos para satisfacer las necesidades de miniaturización y alta confiabilidad. Sus características de alta resistencia y no magnéticas garantizan que la transmisión de señales no se interfiera en entornos electromagnéticos complejos, lo que lo hace adecuado para circuitos integrados de alta densidad y sistemas microelectromecánicos (MEMS). La conductividad del alambre de molibdeno permite una transferencia de corriente eficiente, mientras que su acabado superficial afecta directamente la calidad de la unión, reduciendo la resistencia de contacto y la atenuación de la señal. El alambre de molibdeno ultrafino puede adaptarse a los requisitos del procesamiento a nivel de micras para satisfacer las necesidades de la industria de semiconductores para conexiones de precisión.

El proceso de producción adopta la tecnología de estirado en frío ultrafina, y el alambre de diámetro ultrafino se prepara a través de trefilado de múltiples pasadas y recocido intermedio para garantizar la consistencia dimensional y la alta tenacidad. La superficie se pule y limpia electroquímicamente para lograr un acabado de grado espejo y evitar la contaminación por partículas u óxido. El alambre de molibdeno se fija a la matriz mediante unión ultrasónica o soldadura láser para garantizar que el punto de unión sea fuerte y no dañe la estructura del chip. El desafío técnico es lograr la precisión dimensional y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno ultrafino, utilizando troqueles de trefilado de alta precisión y un entorno de sala limpia, al tiempo que se optimiza el proceso de unión para mejorar la fuerza y la confiabilidad de la conexión.

### 5.8 Alambre de molibdeno para uso médico y aeroespacial

El alambre de molibdeno se utiliza en los campos médico y aeroespacial para componentes biocompatibles, resistentes a la corrosión y de alta temperatura que satisfacen las necesidades de

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

entornos extremos y aplicaciones de alta precisión. Su alta resistencia, resistencia a la corrosión y estabilidad a altas temperaturas le dan una ventaja única en dispositivos médicos y naves espaciales, especialmente en escenarios que requieren confiabilidad a largo plazo y mecanizado complejo.

### **5.8.1 Componentes de alta temperatura en productos sanitarios (por ejemplo, objetivos de rayos X)**

El alambre de molibdeno se utiliza en dispositivos médicos para objetivos de rayos X, elementos calefactores y estructuras de soporte, especialmente en equipos de imágenes de rayos X. Su estabilidad a altas temperaturas le permite soportar altas temperaturas y el bombardeo de electrones dentro del tubo de rayos X, manteniendo la estructura intacta y el rendimiento estable. La conductividad y el bajo coeficiente de expansión térmica del alambre de molibdeno aseguran que el objetivo no se agriete durante el ciclo térmico rápido, lo que lo hace adecuado para equipos de imágenes de alta potencia. Debido a su excelente tenacidad y resistencia a la corrosión, el alambre de renio y molibdeno es especialmente adecuado para objetivos de alta carga y puede funcionar en entornos corrosivos durante mucho tiempo. La biocompatibilidad del alambre de molibdeno ha sido rigurosamente probada para garantizar un uso seguro en dispositivos médicos.

En la producción, el alambre de molibdeno se prepara mediante procesos de estirado y pulido en frío para garantizar una superficie lisa y sin defectos. Las piezas objetivo se sueldan mediante haz de electrones y funcionan en vacío para evitar la oxidación. El proceso de fabricación incluye el recocido para mejorar la tenacidad y facilitar el procesamiento en formas complejas. El desafío técnico es garantizar la estabilidad y biocompatibilidad del alambre de molibdeno en condiciones de alta temperatura y alto vacío, utilizando materiales de ultra alta pureza y tecnología de soldadura de precisión, al tiempo que se garantiza que no haya microfisuras o impurezas a través de rigurosas pruebas de calidad.

### **5.8.2 Partes estructurales de vehículos espaciales resistentes a altas temperaturas y a la corrosión**

El alambre de molibdeno se utiliza en naves espaciales para piezas estructurales resistentes a la corrosión y a altas temperaturas, como boquillas de motor, escudos térmicos y piezas de conexión para cumplir con los requisitos de corrosión química y temperatura extrema del entorno espacial. Su alto punto de fusión y resistencia al choque térmico le permiten permanecer estable en corrientes de gas a alta temperatura, lo que lo hace adecuado para componentes de motores de cohetes y naves espaciales de reentrada. Debido a la adición de renio, el alambre de renio y molibdeno mejora significativamente la tenacidad y la resistencia a la corrosión, y puede funcionar durante mucho tiempo en entornos ácidos o que contienen azufre, prolongando el intervalo de mantenimiento de las naves espaciales. Su bajo coeficiente de expansión térmica asegura que las partes estructurales no se deformen durante el ciclo térmico, manteniendo la integridad estructural de la nave espacial.

El proceso de producción utiliza estirado en frío y recocido a alta temperatura para preparar alambres de alta resistencia, y la superficie se pule o recubre para mejorar la resistencia a la oxidación. Las piezas estructurales se forman mediante soldadura fuerte al vacío o soldadura por plasma, y los puntos de conexión deben ser resistentes a altas temperaturas y vibraciones. Es

#### **Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal**

necesario operar en un entorno de gas inerte o vacío durante la fabricación para evitar la oxidación del material. Los desafíos técnicos incluyen la optimización del recubrimiento antioxidante y el proceso de soldadura del alambre de molibdeno para hacer frente a las condiciones extremas del entorno aeroespacial, al tiempo que se garantiza la ligereza y la alta fiabilidad de los componentes.

### 5.8.3 Herramientas quirúrgicas mínimamente invasivas y materiales de implantes

El alambre de molibdeno se utiliza como material clave en herramientas quirúrgicas mínimamente invasivas (por ejemplo, guías) e implantes (por ejemplo, stents) para satisfacer las necesidades de precisión del campo médico debido a su alta resistencia, flexibilidad y biocompatibilidad. El alambre de molibdeno ultrafino se puede procesar en diámetros muy finos y es adecuado para guiar catéteres a través de estructuras vasculares complejas, y su flexibilidad permite el funcionamiento sin romperse en un radio de curvatura pequeño. La resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno garantiza la estabilidad a largo plazo en el entorno interno sin causar reacciones adversas. Debido a su excelente tenacidad y biocompatibilidad, el alambre de renio y molibdeno es especialmente adecuado para la fabricación de implantes de alta precisión que pueden soportar tensiones mecánicas complejas.

En la producción, el alambre de molibdeno ultrafino se prepara mediante estirado en frío de varias pasadas y un estricto proceso de recocido para garantizar la precisión dimensional y el acabado de la superficie. La superficie está pulida electroquímicamente y ultra limpia para cumplir con los estándares de limpieza de grado médico y evitar la contaminación por partículas. Las guías están cortadas con láser y micromecanizadas para garantizar bordes lisos y evitar daños en los tejidos. El desafío técnico consistía en lograr la consistencia dimensional y la biocompatibilidad de los alambres de molibdeno ultrafinos, lo que requería un equipo de trefilado de alta precisión y un riguroso entorno de sala limpia, al tiempo que se garantizaba la seguridad mediante pruebas de biocompatibilidad.



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

## Capítulo 6 Equipo de producción de alambre de molibdeno

La producción de alambre de molibdeno se basa en una gama de equipos de alta precisión, desde el manejo de materias primas hasta la pulvimetalurgia y el trefilado, cada paso del cual requiere alta confiabilidad, control preciso y adaptabilidad ambiental. Estos dispositivos garantizan la alta pureza, uniformidad y propiedades mecánicas del alambre de molibdeno para satisfacer las necesidades de diversas aplicaciones, como fuentes de luz eléctrica, corte de alambre, pulverización, etc. La siguiente es una descripción de texto detallada para analizar las funciones, los requisitos del proceso y los desafíos operativos de los equipos de manejo de materias primas, equipos de pulvimetalurgia y equipos de trefilado involucrados en la producción de alambre de molibdeno.

### 6.1 Equipos de manipulación de materias primas

El equipo de procesamiento de materias primas se utiliza para extraer materias primas de molibdeno de alta pureza de molibdenita y preparar polvo de molibdeno, que es el eslabón básico en la producción de alambre de molibdeno. El equipo debe estar equipado con una separación eficiente, un control preciso y un rendimiento ambiental para garantizar la pureza de la materia prima y la eficiencia de la producción, al tiempo que reduce el desperdicio de recursos y la contaminación ambiental.

#### 6.1.1 Equipos de procesamiento de minerales

El equipo de beneficio se utiliza para separar el concentrado de molibdeno de la molibdenita, eliminar los minerales asociados (como cobre, sulfuros de hierro) y proporcionar materias primas de alta calidad para su posterior purificación. El equipo principal incluye trituradoras, molinos de bolas y celdas de flotación. La trituradora tritura el mineral en bruto en partículas pequeñas para garantizar la eficiencia de la molienda posterior, y debe tener una alta resistencia al desgaste y una gran capacidad de procesamiento, que puede manejar mineral con alta dureza. El molino de bolas muele aún más el mineral triturado en partículas finas, que son adecuadas para el proceso de flotación, y el equipo debe estar equipado con un medio de molienda eficiente y un control de velocidad preciso para evitar partículas desiguales causadas por la molienda excesiva. La máquina de flotación separa la molibdenita y las impurezas en el medio líquido mediante la adición de un colector y un agente espumante, y debe tener una generación de burbujas estable y un sistema de agitación para garantizar una alta recuperación del concentrado de molibdeno.

Durante la operación, el equipo de beneficio debe combinarse con un sistema de control de parámetros de proceso preciso para monitorear la concentración de lodo y la distribución de burbujas en tiempo real para optimizar la eficiencia de la separación. El material del equipo debe ser resistente a la corrosión y adaptarse al entorno corrosivo de los reactivos químicos. El sistema de tratamiento de relaves se utiliza para reciclar materiales de desecho y tratar aguas residuales, reduciendo la contaminación ambiental. El desafío técnico consistía en mejorar la eficiencia y la pureza del beneficio, al tiempo que se reducía el consumo de energía y el uso de reactivos químicos, e integrar controles automatizados y unidades de tratamiento de gases de escape para cumplir con los requisitos ambientales.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 6.1.2 Equipos de producción de polvo de molibdeno

El equipo de producción de polvo de molibdeno convierte el concentrado de molibdeno purificado en polvo de molibdeno de alta pureza, que incluye principalmente un horno de tostado y un horno de reducción de hidrógeno. El tostador oxida la molibdenita a óxido de molibdeno, que debe tener capacidad de calentamiento a alta temperatura y una distribución uniforme del campo térmico para garantizar que la reacción de oxidación sea completa y libre de sulfuro residual. El equipo está equipado con un sistema de tratamiento de gases de escape para recuperar los óxidos de azufre y reducir la contaminación ambiental. El horno de reducción de hidrógeno convierte el óxido de molibdeno en polvo metálico de molibdeno a través de un proceso de reducción de varias etapas, que debe operarse en un entorno de hidrógeno de alta pureza, con un control preciso de la temperatura y una regulación del flujo de aire para garantizar un tamaño de partícula uniforme y un bajo contenido de oxígeno del polvo.

En la producción, el tostador debe estar equipado con materiales resistentes a la corrosión y a altas temperaturas para evitar que el cuerpo del horno se dañe durante el funcionamiento a largo plazo. El horno está protegido por una atmósfera inerte para evitar la oxidación del polvo de molibdeno, y está equipado con un medidor de flujo de alta precisión y un sistema de purificación de gas para mantener la pureza del hidrógeno. El sistema de monitoreo automático detecta el tamaño de partícula y la composición química del polvo en tiempo real para garantizar la consistencia de la calidad. El desafío técnico consistió en controlar la estabilidad de la atmósfera y la morfología del polvo durante el proceso de reducción, optimizar la distribución del flujo de gas y el gradiente de temperatura en el horno, y equipar el horno con un dispositivo de recolección de polvo para mejorar la seguridad y el respeto al medio ambiente.

## 6.2 Equipos de pulvimetalurgia

El equipo de pulvimetalurgia se utiliza para prensar y sinterizar polvo de molibdeno en piezas en bruto de alta densidad, proporcionando una base sólida para el trefilado posterior. El equipo debe estar equipado con alta presión, control preciso y alta confiabilidad para garantizar la uniformidad de la densidad y la estabilidad microestructural de los blancos.

### 6.2.1 Prensas

Las prensas se utilizan para prensar polvo de molibdeno en varillas o placas en bruto, y los tipos comunes incluyen prensas isostáticas en frío y prensas de moldeo. La prensa isostática en frío ejerce una presión uniforme a través del medio líquido para prensar el polvo de molibdeno en espacios en blanco de alta densidad, lo cual es adecuado para la producción de formas complejas de espacios en blanco, y el equipo debe estar equipado con moldes de caucho de alta resistencia y un sistema de control de presión estable para garantizar que los espacios en blanco no tengan grietas ni vacíos. La máquina de moldeo utiliza un molde de acero para prensar el polvo de molibdeno en una forma regular, que es adecuada para la producción de bajo volumen y requiere un marco altamente rígido y una alineación precisa del molde para evitar desviaciones en el proceso de prensado.

Durante el funcionamiento, la prensa debe combinarse con una mesa vibratoria o un dispositivo de extracción al vacío para reducir el vacío de aire en el polvo y aumentar la densidad de la pieza en

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

bruto. El equipo debe funcionar en un entorno limpio para evitar la contaminación por polvo y afectar la calidad de la sinterización posterior. Se utiliza un sistema de control automatizado para monitorear la presión y el tiempo de prensado para garantizar la consistencia del lote. El desafío técnico es lograr una densidad uniforme de la pieza en bruto y evitar el desgaste, lo que requiere un mantenimiento regular del molde y la optimización del proceso de prensado para reducir los defectos.

### 6.2.2 Sintering furnaces

El horno de sinterización se utiliza para calentar la pieza en bruto prensada a alta temperatura, de modo que las partículas de molibdeno se combinen para formar una palanquilla de alta densidad, y se usa comúnmente en el horno de inducción de frecuencia media o en el horno de calentamiento por resistencia. El horno de sinterización debe tener una capacidad de calentamiento a alta temperatura y un control preciso de la temperatura para garantizar que la pieza en bruto se densifique uniformemente a altas temperaturas sin agrietarse. El equipo está protegido por hidrógeno o gas inerte para evitar la oxidación de los blancos de molibdeno, y debe estar equipado con un sistema eficiente de circulación y purificación de gas para mantener la pureza de la atmósfera en el horno. Los hornos de sinterización generalmente se dividen en dos zonas, presinterización y sinterización a alta temperatura, para eliminar los aglutinantes y promover la unión del grano, respectivamente, y requieren calentamiento multizona para optimizar la distribución de la temperatura.

En la producción, el horno de sinterización debe estar equipado con material de horno resistente a altas temperaturas para soportar el funcionamiento a alta temperatura a largo plazo. El sistema de control automático supervisa las velocidades de calentamiento y enfriamiento para evitar que el estrés térmico deforme la pieza en bruto. El dispositivo de tratamiento de gases de escape recupera las impurezas volátiles y cumple con los estándares de protección del medio ambiente. El reto técnico es garantizar la homogeneidad microestructural y la alta densidad de la palanquilla sinterizada, para optimizar el perfil de calentamiento y el control de la atmósfera, al tiempo que se reduce el consumo de energía y las emisiones de escape.

### 6.3 Equipos de trefilado

El equipo de trefilado se utiliza para procesar la pieza en bruto sinterizada en alambre de molibdeno de diámetro fino, que es un eslabón clave en la producción de alambre de molibdeno. El equipo debe tener alta precisión, estabilidad y funciones eficientes de lubricación y enfriamiento para garantizar la precisión dimensional y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno y satisfacer las necesidades de las aplicaciones de precisión.

#### 6.3.1 Trefiladoras

La máquina trefiladora se utiliza para estirar gradualmente la pieza en bruto de molibdeno en un alambre fino a través del molde, que se divide en máquina trefiladora caliente y máquina trefiladora fría. La máquina trefiladora de alambre caliente se utiliza para producir alambre de molibdeno de diámetro más grueso, equipada con un dispositivo de calentamiento por inducción de alta frecuencia, que ablanda la pieza en bruto a alta temperatura y reduce la resistencia a la tracción, y es adecuada para la producción de alambre de molibdeno para rociar o calentar elementos. Las máquinas de

estirado en frío se utilizan para producir alambres de molibdeno de diámetro fino y ultrafinos, que requieren un control de tensión de alta precisión y un ajuste de velocidad para garantizar que el diámetro del alambre sea constante e ininterrumpido. Las máquinas trefiladoras modernas están diseñadas con trefilado continuo multimodo, que es capaz de estirarse simultáneamente en varias pasadas y aumentar la eficiencia de la producción.

Durante el funcionamiento, la máquina trefiladora debe estar equipada con un sistema de monitoreo en línea para detectar el diámetro y los defectos superficiales del alambre en tiempo real para garantizar una calidad estable. El sistema de control automático de tensión mantiene una fuerza de tracción constante para evitar que el cable se deforme o se rompa. El equipo debe calibrarse regularmente para mantener la precisión del diámetro del orificio del molde y la velocidad de tracción. El desafío técnico consistía en lograr un estiramiento continuo y un control de alta precisión de los hilos de molibdeno ultrafinos, con servomotores de alto rendimiento y calibradores láser, al tiempo que se optimizaba la velocidad de estirado para equilibrar la eficiencia y la calidad.

### 6.3.2 Moldes y sistemas de lubricación

El troquel de trefilado y el sistema de lubricación son los componentes principales de la máquina de trefilado, que afectan directamente la calidad de la superficie y la precisión dimensional del alambre de molibdeno. El molde generalmente está hecho de carburo cementado o material de diamante, el molde de carburo cementado es adecuado para el trefilado de molibdeno en bruto y el molde de diamante es adecuado para el mecanizado de precisión de alambre de molibdeno ultrafino debido a su dureza ultra alta y resistencia al desgaste. El molde debe tener un diseño de apertura de alta precisión y una pared interior lisa para reducir la fricción y los arañazos en la superficie. El sistema de lubricación proporciona un lubricante a base de agua o aceite que reduce la fricción entre el troquel y el alambre de molibdeno, prolongando la vida útil del troquel y mejorando el acabado superficial del alambre. El sistema de enfriamiento controla la temperatura del troquel y el alambre mediante la circulación de agua o el enfriamiento por pulverización para evitar la deformación causada por el sobrecalentamiento.

Durante la producción, el molde debe pulirse y reemplazarse regularmente para mantener la consistencia del tamaño del orificio. El sistema de lubricación está equipado con un dispositivo de filtración para eliminar las impurezas del lubricante y evitar rayar la superficie del alambre de molibdeno. El sistema de enfriamiento debe mantener una temperatura y un caudal de agua estables para garantizar un enfriamiento uniforme. El desafío técnico consistió en optimizar el material del molde y la formulación del lubricante para reducir el riesgo de rotura del alambre en el estiramiento del alambre de molibdeno ultrafino y, al mismo tiempo, equiparlo con un sistema de recuperación eficiente para reducir el desperdicio de lubricante y el impacto ambiental.

### 6.4 Equipo de tratamiento térmico

El equipo de tratamiento térmico se utiliza para el recocido y el tratamiento a alta temperatura del alambre de molibdeno, aliviando el estrés del procesamiento, optimizando la microestructura y mejorando la tenacidad y la ductilidad para garantizar que el alambre de molibdeno satisfaga las necesidades de las aplicaciones de precisión. Estos dispositivos deben tener un control de

temperatura de alta precisión, una protección de atmósfera estable y una distribución eficiente del campo térmico para garantizar que el alambre de molibdeno no se oxide y funcione de manera uniforme a altas temperaturas.

#### 6.4.1 Hornos de recocido

El horno de recocido se utiliza para el tratamiento térmico del alambre de molibdeno, que elimina la tensión generada durante el proceso de trefilado y restaura la ductilidad del alambre mediante el calentamiento y la conservación del calor, y es adecuado para aplicaciones de alta precisión como el corte de alambre y la fuente de luz eléctrica. Los hornos de recocido suelen estar disponibles en diseños tubulares o continuos y pueden funcionar bajo la protección de hidrógeno o gases inertes como el argón para evitar la oxidación de la superficie del alambre de molibdeno. El equipo está equipado con un sistema de calefacción multizona para garantizar un campo térmico uniforme y evitar granos desiguales causados por el sobrecalentamiento local. Los hornos de recocido tubulares son adecuados para la producción de lotes pequeños, lo que permite un ajuste flexible de los parámetros de recocido, mientras que los hornos de recocido continuo permiten el procesamiento a alta velocidad a través de cintas transportadoras o sistemas de tracción, lo que los hace adecuados para la producción a gran escala.

Durante el funcionamiento, el horno de recocido debe controlar con precisión las velocidades de calentamiento y enfriamiento para evitar que el estrés térmico cause deformación o agrietamiento del alambre de molibdeno. La atmósfera dentro del horno debe ser de alta pureza y está equipado con un sistema de purificación y circulación de gases para eliminar trazas de oxígeno y agua. El sistema de control automático monitorea las condiciones de temperatura y atmósfera para garantizar un rendimiento constante de un lote a otro. El desafío técnico consistía en optimizar el proceso de recocido para equilibrar la tenacidad y la resistencia, al tiempo que reducía el consumo de energía y gas, lo que requería la integración de sistemas eficientes de recuperación de calor y dispositivos de monitoreo en tiempo real.

#### 6.4.2 Hornos de vacío

Los hornos de vacío se utilizan para el tratamiento térmico a alta temperatura del alambre de molibdeno, especialmente en escenarios donde se requiere una pureza extremadamente alta y un entorno libre de oxidación, como el recocido de alambre de molibdeno y lantano o alambre de molibdeno-renio. El horno de vacío evita la oxidación del alambre de molibdeno a altas temperaturas a través de un entorno de alto vacío, al tiempo que admite procesos complejos de tratamiento térmico, como el refinamiento del grano y la optimización de la distribución de elementos dopados. El equipo está equipado con una bomba de vacío de alto rendimiento y un sistema de sellado para mantener un entorno de presión de aire ultra baja y garantizar que la superficie del alambre de molibdeno esté libre de impurezas. El sistema de calefacción utiliza calentamiento por resistencia o inducción, que puede calentarse rápidamente y mantener un campo térmico estable, y es adecuado para procesar alambre de molibdeno ultrafino o alambre de aleación de alto rendimiento.

En la producción, los hornos de vacío deben estar equipados con materiales de horno resistentes a

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

altas temperaturas para soportar la carga de calor del funcionamiento a largo plazo. El sistema de control automático monitorea el grado de vacío y la temperatura en tiempo real para garantizar que los parámetros del proceso sean estables. El dispositivo de tratamiento de gases de escape recupera las impurezas volátiles y cumple con los requisitos de protección del medio ambiente. El desafío técnico es mantener un vacío ultra alto y evitar microfugas, lo que requiere el uso de manómetros de alta precisión y tecnología de sellado, al tiempo que optimiza la eficiencia de calentamiento para reducir el consumo de energía.

## 6.5 Equipos de tratamiento de superficies

El equipo de tratamiento de superficies se utiliza para limpiar, pulir y recubrir el alambre de molibdeno, mejorar el acabado de la superficie, la resistencia a la corrosión y la funcionalidad, y cumplir con los requisitos de alta calidad de la fuente de luz eléctrica, el recubrimiento al vacío y otras aplicaciones. El equipo debe estar equipado con capacidades de limpieza eficientes y funciones precisas de modificación de superficies, al tiempo que garantiza la protección y la seguridad del medio ambiente.

### 6.5.1 Equipos de lavado cáustico

El equipo de lavado de álcalis se utiliza para eliminar la capa de óxido y las impurezas en la superficie del alambre de molibdeno y preparar el alambre de molibdeno limpio, que es adecuado para escenarios con altos requisitos de calidad de superficie, como fuente de luz eléctrica y corte de alambre. El equipo suele ser una línea de limpieza continua con un baño de lejía, una unidad de limpieza ultrasónica y un sistema de lavado con agua desionizada. El baño de lejía utiliza una solución de hidróxido de sodio para limpiar el alambre de molibdeno y eliminar la capa de óxido de molibdeno, y debe estar equipado con un sistema de calentamiento y agitación para garantizar la eficiencia de la limpieza. El dispositivo de limpieza ultrasónica utiliza vibraciones de alta frecuencia para eliminar partículas finas y residuos y mejorar la limpieza de la superficie. El sistema de lavado con agua desionizada elimina por completo los residuos de lejía y evita la contaminación secundaria.

Durante el funcionamiento, el equipo de lavado cáustico debe controlar con precisión la concentración y la temperatura de la solución para garantizar una limpieza uniforme sin dañar la superficie del alambre de molibdeno. El sistema de tratamiento de líquidos residuales reduce la contaminación ambiental al neutralizar y precipitar la recuperación de molibdato. El sistema de control automático monitorea el tiempo de limpieza y el nivel de líquido para mejorar la eficiencia de la producción. El desafío técnico fue optimizar el proceso de limpieza para evitar una corrosión excesiva y al mismo tiempo aumentar la recuperación del efluente, lo que requería dispositivos de filtración y neutralización de alta eficiencia.

### 6.5.2 Equipos de pulido y recubrimiento

El equipo de pulido y recubrimiento se utiliza para mejorar el acabado superficial del alambre de molibdeno o para aplicar recubrimientos funcionales, como recubrimientos de silicio de molibdeno o zirconio, para mejorar la resistencia al desgaste y la resistencia a la oxidación. El equipo de pulido incluye una máquina pulidora electroquímica y una máquina pulidora mecánica, la máquina pulidora electroquímica utiliza un electrolito ácido para alisar la superficie del alambre

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de molibdeno a través de una reacción electroquímica, y debe estar equipada con una fuente de alimentación estable y una celda electrolítica para garantizar un pulido uniforme. Las pulidoras mecánicas utilizan muelas abrasivas de diamante o correas de pulido y son adecuadas para el pulido de alta precisión en lotes pequeños, lo que requiere altas velocidades de rotación y un control de alimentación preciso. El equipo de recubrimiento incluye equipos de deposición química de vapor (CVD) y pulverización de plasma, capaces de depositar una capa protectora uniforme en la superficie del alambre de molibdeno, equipados con una cámara de vacío y un sistema de control de gases para garantizar la calidad del recubrimiento.

En la producción, el equipo de pulido debe operarse en un entorno limpio para evitar la contaminación por partículas, y la calidad de la superficie se inspecciona microscópicamente para garantizar que no haya arañazos. El equipo de recubrimiento debe controlar con precisión la velocidad de deposición y la atmósfera para evitar que el recubrimiento sea desigual o se descame. El desafío técnico consistía en lograr un acabado de alto acabado y un recubrimiento de fuerte adherencia, optimizar la formulación del electrolito y los parámetros de deposición, y equipar la unidad de tratamiento de gases de escape para cumplir con los estándares ambientales.

## 6.6 Equipos de ensayo y control de calidad

Los equipos de inspección y control de calidad se utilizan para evaluar la precisión dimensional, la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno para garantizar que los productos cumplan con los estándares para aplicaciones como electroerosión por hilo, componentes electrónicos y más. Estos dispositivos deben ser altamente precisos, sensibles y no destructivos para respaldar una producción eficiente y una gestión de calidad.

### 6.6.1 Equipo de detección de defectos por corrientes de Foucault

El equipo de detección de defectos por corrientes de Foucault se utiliza para detectar microgrietas, inclusiones y defectos internos en la superficie del alambre de molibdeno, y es adecuado para la inspección en línea en la producción continua. A través del principio de inducción electromagnética, el equipo genera corrientes parásitas en la superficie del cable de molibdeno para detectar los cambios en la señal eléctrica causados por defectos, y tiene una alta sensibilidad y una capacidad de escaneo rápida. Los detectores de defectos por corrientes de Foucault suelen estar equipados con sensores multicanal y sistemas de escaneo automatizados que pueden analizar la longitud total del cable de molibdeno en tiempo real para identificar defectos menores. El equipo debe integrarse con la línea de trefilado para respaldar la inspección a alta velocidad sin interrumpir la producción.

Durante el funcionamiento, el equipo de prueba de corrientes de Foucault debe calibrarse para adaptarse a diferentes diámetros de alambre de molibdeno para garantizar la precisión de la detección. El sistema de procesamiento de datos registra la ubicación y el tipo de defectos en tiempo real y genera informes de calidad. El reto técnico consiste en mejorar la sensibilidad de detección para identificar defectos a escala micrométrica y evitar falsas alarmas, y optimizar el diseño de los sensores y los algoritmos de procesamiento de señales.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

### 6.6.2 Máquinas de ensayo de tracción

Las máquinas de prueba de tracción se utilizan para probar las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, como la resistencia y la ductilidad, para garantizar que el alambre satisfaga las necesidades de la aplicación. El equipo mide el comportamiento de deformación y fractura del alambre de molibdeno durante el proceso de estiramiento mediante la aplicación de una fuerza de tracción controlada, que es adecuada para evaluar el rendimiento del alambre de molibdeno grueso y el alambre de molibdeno ultrafino. Las máquinas de prueba de tracción están equipadas con agarres de alta precisión y transductores de fuerza que pueden agarrar con precisión alambres de molibdeno de diámetro pequeño sin causar daños. El sistema de control automático registra la curva de tracción y analiza las propiedades mecánicas del material.

En la producción, las máquinas de ensayos de tracción deben funcionar en un entorno de temperatura constante para evitar que los cambios de temperatura afecten a los resultados de las pruebas. El equipo se calibra regularmente para garantizar la precisión del sensor de fuerza y las mediciones de desplazamiento. El desafío técnico es evitar daños por sujeción al probar alambres de molibdeno ultrafinos, diseñar accesorios especiales y optimizar los parámetros de prueba para mejorar la repetibilidad.

### 6.6.3 Microscopios y espectrómetros

Los microscopios y espectrómetros se utilizan para analizar la microestructura, la topografía de la superficie y la composición química de los alambres de molibdeno para garantizar una calidad y un rendimiento constantes del producto. La microscopía óptica y la microscopía electrónica de barrido (SEM) se utilizan para observar arañazos, grietas y estructuras de grano en la superficie de los alambres de molibdeno, y son adecuadas para evaluar los resultados de dibujo y pulido. Los espectrómetros (como los espectrómetros de fotoelectrones de rayos X o los analizadores de dispersión de energía) detectan la composición elemental y el contenido de impurezas de los cables de molibdeno para garantizar una alta pureza y una distribución uniforme de los elementos dopados. El equipo debe tener una alta resolución y capacidades de análisis rápido, y ser adecuado para la inspección de lotes.

Durante el funcionamiento, el microscopio debe estar equipado con una lente objetivo de gran aumento y un sistema de procesamiento de imágenes para producir imágenes microscópicas claras. El espectrómetro debe funcionar en un entorno limpio para evitar la contaminación de la muestra, y el software de análisis de datos se utiliza para evaluar cuantitativamente la composición química. El desafío técnico es lograr un análisis rápido y de alta precisión, optimizando el sistema de iluminación del microscopio y el proceso de calibración del espectrómetro, al tiempo que se garantiza la idoneidad del dispositivo para hilos de molibdeno ultrafinos.

## 6.7 Automatización y equipos inteligentes

La automatización y los equipos inteligentes mejoran la eficiencia, la consistencia y la trazabilidad de la producción de alambre de molibdeno, cubriendo el trefilado, la inspección y el control de procesos. Estos dispositivos permiten una producción eficiente y la optimización de la calidad mediante la integración de sensores, sistemas de control y tecnologías de análisis de datos.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 6.7.1 Línea de producción automática de trefilado

La línea de producción automática de trefilado integra una máquina de trefilado multimodo, un sistema de control de tensión y un dispositivo de detección en línea para realizar un procesamiento continuo desde el hilo de molibdeno en blanco hasta el terminado. A través de servomotores y sistemas de control PLC, el equipo ajusta con precisión la velocidad y la tensión de estirado para garantizar que el diámetro del cable sea constante y no se rompa. La línea de producción está equipada con un sistema automático de lubricación y cambio de molde para reducir la intervención manual y mejorar la eficiencia de la producción. El dispositivo de recocido continuo está integrado con la máquina de trefilado para aliviar el estrés del procesamiento en tiempo real y optimizar la tenacidad del alambre de molibdeno.

Durante el funcionamiento, la línea de producción debe estar equipada con sensores de alta precisión para controlar el diámetro del alambre y la calidad de la superficie, y los datos se retroalimentan al sistema de control en tiempo real para ajustar los parámetros del proceso. La línea de producción automatizada admite la producción de alambre de molibdeno de diversas especificaciones con alta flexibilidad. El desafío técnico consistía en lograr la estabilidad de múltiples pasadas de trefilado y el procesamiento continuo de alambres de molibdeno ultrafinos, optimizando los algoritmos de control y la integración de equipos, al tiempo que se reducía el tiempo de inactividad.

### 6.7.2 Sistema de seguimiento en línea

El sistema de monitoreo en línea se utiliza para detectar parámetros clave en el proceso de producción de alambre de molibdeno, como el diámetro, los defectos de la superficie y las propiedades mecánicas en tiempo real, para garantizar una calidad constante del producto. El sistema incluye un calibrador láser, un detector de defectos por corrientes de Foucault y un sensor de temperatura para recopilar datos en tiempo real durante el trefilado, el recocido y el tratamiento de superficies. El calibrador láser detecta pequeños cambios en el diámetro del alambre de molibdeno a través de la medición sin contacto, lo que lo hace adecuado para entornos de producción de alta velocidad. El sistema de procesamiento de datos integra MES (Manufacturing Execution System) para registrar los parámetros de producción y generar informes de calidad para respaldar la trazabilidad y la optimización de procesos.

En la producción, el sistema de monitoreo en línea debe integrarse a la perfección con la línea de producción y transmitir datos al centro de control en tiempo real. El sistema debe calibrarse regularmente para garantizar la precisión del sensor y la fiabilidad de los datos. El desafío técnico es mejorar la capacidad de respuesta y la sensibilidad del sistema de monitoreo, optimizar el diseño del sensor y los algoritmos de procesamiento de datos, y garantizar la estabilidad del sistema en entornos de alta temperatura y alto vacío.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

## Capítulo 7 Normas de alambre de molibdeno

Como material de alto rendimiento, la producción y aplicación de alambre de molibdeno están sujetas a estrictos estándares para garantizar la calidad, el rendimiento y la consistencia. Los estándares nacionales, los estándares internacionales y los estándares de la industria estandarizan la composición química, las propiedades mecánicas, la precisión dimensional y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno de diferentes niveles para satisfacer las necesidades de aplicaciones diversificadas como fuente de luz eléctrica, corte de alambre, recubrimiento al vacío, etc. Estos estándares proporcionan una base unificada para la producción, las pruebas y el comercio a través de requisitos técnicos y métodos de prueba claros y, al mismo tiempo, promueven el progreso tecnológico y el desarrollo internacional de la industria. La siguiente es una descripción de texto detallada para analizar los estándares nacionales, internacionales y de la industria del alambre de molibdeno, así como la comparación y aplicabilidad de los estándares.

### 7.1 Norma nacional para el alambre de molibdeno

Como el mayor productor mundial de alambre de molibdeno, China ha formulado una serie de normas nacionales (GB/T) para regular la producción, prueba y aplicación de alambre de molibdeno y sus productos relacionados. Estas normas son emitidas por la Administración de Normalización de la República Popular China, que cubren las propiedades del material, los requisitos de procesamiento y el control de calidad del alambre de molibdeno, las barras de molibdeno y los desbastes de molibdeno, y son ampliamente utilizadas en los fabricantes nacionales de alambre de molibdeno y en las industrias de aplicaciones posteriores.

#### 7.1.1 GB/T 4182-2003 《Alambre de molibdeno》

GB/T 4182-2003 es el principal estándar nacional para alambre de molibdeno en China, que es

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

adecuado para alambre de molibdeno en aplicaciones como fuente de luz eléctrica, corte de alambre y horno de alta temperatura. Esta norma especifica la clasificación, la composición química, las propiedades mecánicas, la precisión dimensional y los requisitos de calidad de la superficie del alambre de molibdeno, que cubre el alambre de molibdeno puro y el alambre de molibdeno dopado (como el alambre de molibdeno y lantano). La norma requiere que el alambre de molibdeno tenga una alta pureza y una microestructura uniforme para garantizar la estabilidad en entornos corrosivos y de alta temperatura. Los métodos de inspección incluyen análisis químicos, pruebas de tracción e inspección de superficies para garantizar que el alambre de molibdeno cumpla con los requisitos de rendimiento de diferentes aplicaciones, como la resistencia a la tracción del corte del alambre y la conductividad de las fuentes de luz eléctrica.

La norma también regula el proceso de producción de alambre de molibdeno, como el trefilado, el recocido y el tratamiento de superficies, y requiere que los fabricantes operen en un entorno limpio para evitar la contaminación. Los requisitos de embalaje y almacenamiento garantizan que el alambre de molibdeno no esté sujeto a la humedad ni a la oxidación durante el transporte y mantenga la calidad de la superficie. El desafío técnico es equilibrar los requisitos de alto rendimiento con los costos de producción y optimizar el proceso de inspección para garantizar una aplicación eficiente y consistente de la norma. Esta norma proporciona una base técnica unificada para la industria nacional de alambre de molibdeno y promueve la mejora de la calidad del producto y la competitividad en el mercado.

#### 7.1.2 GB/t 3462-2007

GB/T 3462-2007 regula las barras de molibdeno y los desbastes de molibdeno utilizados en la producción de alambre de molibdeno, que son adecuados para materias primas para los procesos de pulvimetalurgia y trefilado. La norma especifica en detalle la composición química, la densidad, la calidad de la superficie y las tolerancias dimensionales de las barras de molibdeno y las losas de molibdeno, y requiere materiales con alta pureza y bajo contenido de impurezas, adecuados para el procesamiento posterior en alambres de molibdeno de alto rendimiento. La norma cubre los requisitos de rendimiento de los diferentes tipos de barras de molibdeno (por ejemplo, sinterizadas, forjadas) para garantizar que la pieza en bruto tenga una microestructura y una resistencia mecánica uniformes antes del estirado.

Los requisitos del proceso de producción incluyen prensado de polvo, sinterización y procesamiento térmico, que deben llevarse a cabo en un entorno de hidrógeno o vacío para evitar la oxidación. Los métodos de prueba incluyen medición de densidad, análisis metalográfico y pruebas de composición química para garantizar que la calidad de la pieza en bruto cumpla con los requisitos de dibujo. La norma también especifica los requisitos de embalaje y transporte para proteger la pieza en bruto de la humedad o daños mecánicos. El desafío técnico consistía en garantizar la uniformidad de la pieza en bruto y la consistencia de los lotes, lo que requería equipos de prensado y sinterización de alta precisión, así como optimizar el proceso de inspección para mejorar la eficiencia. Esta norma proporciona especificaciones para los enlaces aguas arriba de la producción de alambre de molibdeno y promueve la estabilidad de la calidad de la materia prima.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 7.1.3 Otras normas nacionales pertinentes

Además de las normas anteriores, China también ha formulado una serie de normas nacionales relacionadas con el alambre de molibdeno, como GB/T 4197 "Métodos de análisis químico para molibdeno y aleaciones de molibdeno" y GB/T 3461 "Polvo de molibdeno", que se utilizan para estandarizar el análisis de la composición química y la preparación en polvo de materiales de molibdeno. Estas normas detallan los métodos para la detección de elementos de impurezas (por ejemplo, hierro, carbono, oxígeno) en materiales de molibdeno y requieren el uso de análisis espectroscópico de alta precisión y técnicas de valoración química para garantizar la pureza del material para aplicaciones de alto rendimiento. Otras normas también se ocupan del embalaje, almacenamiento y transporte de alambre de molibdeno, haciendo hincapié en las medidas contra la humedad, la oxidación y los daños mecánicos, y son aplicables tanto a la exportación como al mercado interno.

Juntas, estas normas constituyen un sistema estándar completo para la producción de alambre de molibdeno, que cubre todo el proceso, desde las materias primas hasta los productos terminados. El desafío técnico es armonizar los requisitos de prueba de las diferentes normas y establecer un sistema unificado de gestión de la calidad para mejorar la eficiencia de la implementación. Al mismo tiempo, con la expansión de las aplicaciones de alambre de molibdeno, los estándares deben actualizarse constantemente para adaptarse a las nuevas tecnologías y a las nuevas necesidades del mercado.

## 7.2 Normas internacionales para el alambre de molibdeno

Las normas internacionales proporcionan una base técnica unificada para el comercio mundial y la aplicación del alambre de molibdeno, que son formuladas principalmente por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), la Organización Internacional de Normalización (ISO) y organismos nacionales de normalización como Japón (JIS) y Alemania (DIN). Estas normas regulan los requisitos de rendimiento, procesamiento y prueba del alambre de molibdeno y sus aleaciones, y promueven la aplicación estandarizada del alambre de molibdeno en el mercado global.

### 7.2.1 Norma ASTM B387 para varillas, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno

ASTM B387 es el estándar internacional más utilizado para alambre de molibdeno, varillas de recubrimiento, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno (como molibdeno, lantano, molibdeno, renio), y es adecuado para fuentes de luz eléctrica, recubrimiento al vacío, hornos de alta temperatura y otras industrias. Esta norma especifica la composición química, las propiedades mecánicas, la calidad de la superficie y las tolerancias dimensionales de los materiales, y requiere que el alambre de molibdeno tenga una alta pureza y una excelente resistencia a altas temperaturas, adecuado para aplicaciones en entornos extremos. La norma también describe en detalle los métodos de prueba, como la prueba de tracción, la prueba de dureza y el análisis metalográfico para garantizar que el alambre de molibdeno cumpla con las propiedades mecánicas y eléctricas para diferentes aplicaciones.

Los requisitos del proceso de producción incluyen pulvimetalurgia, trefilado y tratamiento térmico,

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

que deben operarse en una atmósfera de alta pureza o vacío para evitar la oxidación. La norma enfatiza la importancia del tratamiento de la superficie y requiere que la superficie del alambre de molibdeno esté libre de grietas, rayones o capas de óxido, y sea adecuada para aplicaciones de precisión. Los requisitos de embalaje y almacenamiento garantizan que la calidad del alambre se mantenga durante el transporte y el almacenamiento. El desafío técnico es cumplir con los requisitos de los estándares de alta precisión y consistencia, con equipos avanzados de producción y prueba, al tiempo que se optimizan los procesos para reducir costos. Esta norma proporciona una referencia técnica unificada para el mercado mundial de alambre de molibdeno y promueve el comercio y la aplicación internacionales.

### 7.2.2 Normas ISO

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha desarrollado normas relacionadas con el molibdeno y las aleaciones de molibdeno, como la ISO 24361, que se ocupa de las propiedades y los métodos de prueba de los materiales de molibdeno y es adecuada para la producción y aplicación de alambre de molibdeno. Esta norma regula la composición química, la microestructura y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, y requiere que el material tenga una alta pureza y uniformidad, adecuado para entornos corrosivos y de alta temperatura. Los métodos de prueba incluyen análisis químicos, observación microscópica y pruebas mecánicas para garantizar que el alambre de molibdeno cumpla con los requisitos de calidad del mercado global. La norma también cubre los requisitos ambientales del proceso de producción, haciendo hincapié en la reducción de las emisiones de gases de escape y líquidos residuales.

La norma ISO se centra en la versatilidad internacional del alambre de molibdeno y es adecuada para aplicaciones multinacionales en los campos de la fuente de luz eléctrica, el corte de alambre y los equipos médicos. En la producción se utilizan equipos de alta precisión, como espectrómetros y máquinas de ensayo de tracción, para garantizar resultados fiables. El desafío técnico es conciliar las diferencias entre las normas ISO y las normas nacionales, establecer un sistema de control de calidad global y optimizar el proceso de inspección para mejorar la eficiencia. Esta norma promueve el desarrollo internacional de la industria del alambre de molibdeno y mejora la competitividad global de los productos.

### 7.2.3 Otras normas internacionales (por ejemplo, JIS, DIN)

La Norma Industrial Japonesa (JIS) y la Norma Industrial Alemana (DIN) también han desarrollado especificaciones relacionadas con el alambre de molibdeno, como JIS H 4461 "Molibdeno y aleaciones de molibdeno" y DIN EN 10204 "Documentación de inspección para productos metálicos". El estándar JIS especifica la composición química, las propiedades mecánicas y los requisitos de procesamiento del alambre de molibdeno, y es adecuado para aplicaciones de fuentes de luz eléctrica y componentes electrónicos en el mercado japonés, enfatizando la alta precisión y la calidad de la superficie. La norma DIN se centra en la certificación de calidad y los documentos de prueba del alambre de molibdeno, y exige a los fabricantes que proporcionen informes detallados sobre el rendimiento del material para garantizar la trazabilidad del producto.

Estas normas exigen la producción de alambre de molibdeno utilizando materias primas de alta

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

pureza y procesos de mecanizado de precisión, incluido el análisis espectroscópico y la inspección de superficies, y operando en un entorno limpio. El desafío técnico es cumplir con los requisitos específicos de las diferentes normas nacionales y adaptar de manera flexible los procesos de producción y prueba, garantizando al mismo tiempo la rentabilidad. Las normas JIS y DIN proporcionan apoyo técnico para la aplicación de alambre de molibdeno en mercados específicos y promueven la estandarización de los mercados regionales.

### 7.3 Estándar de la industria de alambre de molibdeno

Los estándares de la industria son formulados por asociaciones o empresas profesionales, que complementan los estándares nacionales e internacionales y proporcionan especificaciones más detalladas para enlaces específicos o escenarios de aplicación de la producción de alambre de molibdeno. Estos estándares suelen estar más cerca de las necesidades reales de producción, impulsando la innovación tecnológica y la mejora de la calidad.

#### 7.3.1 Comité Técnico Nacional de Normalización de Metales No Ferrosos (TC243)

El Comité Técnico Nacional para la Estandarización de Metales No Ferrosos (TC243) es el principal organismo de normalización para la industria de metales no ferrosos de China, y ha formulado una serie de estándares de la industria relacionados con el alambre de molibdeno, como YS / T 369 "Métodos de análisis químico para alambre de molibdeno". Estos estándares detallan la detección de impurezas, las pruebas de rendimiento y los requisitos del proceso de producción del alambre de molibdeno, y son adecuados para aplicaciones como corte de alambre, recubrimiento al vacío y hornos de alta temperatura. La norma requiere que el alambre de molibdeno tenga propiedades mecánicas estables y de alta pureza, y los métodos de detección incluyen análisis espectrales de alta precisión y pruebas de tracción para garantizar que la calidad del producto satisfaga las necesidades de la industria.

El estándar de la industria también cubre las especificaciones operativas de los equipos de producción, como los parámetros operativos de las máquinas de trefilado y los hornos de sinterización, enfatizando la estabilidad y el respeto al medio ambiente del proceso. El desafío técnico radica en aplicar normas a diversos escenarios de producción, coordinar los niveles de equipamiento y proceso de las diferentes empresas, y promover la actualización de las normas para adaptarlas a las nuevas tecnologías y aplicaciones. La norma TC243 proporciona orientación técnica para la industria de alambre de molibdeno de China y promueve la gestión estandarizada dentro de la industria.

#### 7.3.2 Normas internas

Un fabricante líder de alambre de molibdeno, con estándares internos para satisfacer las necesidades específicas de los clientes y las aplicaciones de alta gama. Estas normas suelen ser más estrictas que las normas nacionales o internacionales, con especificaciones detalladas para los requisitos de rendimiento del alambre de molibdeno ultrafino, el alambre de molibdeno y lantano o el alambre de molibdeno-renio.

Las normas internas de la empresa también regulan los detalles del proceso de producción, como la

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

precisión del troquel de trefilado y la pureza de la atmósfera de recocido, para garantizar que el producto satisfaga las necesidades de mercados de alta gama como el aeroespacial y el médico. El desafío técnico es equilibrar los altos estándares con los costos de producción, optimizar los procesos y los equipos de prueba, y garantizar que los estándares coincidan con las necesidades del cliente. Estas normas promueven la innovación tecnológica y la competitividad de las empresas en el mercado.

#### **7.4 Comparación y análisis de los patrones de alambre de molibdeno**

El análisis comparativo de los estándares nacionales y extranjeros y de la industria es útil para comprender las diferencias, la aplicabilidad y las limitaciones de las especificaciones del alambre de molibdeno, proporcionar orientación para la producción y la aplicación, y promover la optimización e internacionalización del sistema estándar.

##### **7.4.1 Diferencias entre normas nacionales y extranjeras**

Existen diferencias entre las normas nacionales (como GB/T 4182-2003) y las normas internacionales (como ASTM B387) en cuanto a composición química, propiedades mecánicas y métodos de ensayo. Los estándares nacionales prestan más atención a la versatilidad del alambre de molibdeno, cubriendo una variedad de escenarios de aplicación, como el corte de alambre y las fuentes de luz eléctrica, enfatizando los costos de producción y la eficiencia, y son adecuados para la producción a gran escala en el mercado chino. Las normas internacionales se centran más en los requisitos de rendimiento de las aplicaciones de gama alta, como la aeroespacial y los semiconductores, haciendo hincapié en las pruebas de alta pureza y precisión, y son aplicables al mercado global. Las normas ISO se centran en la homogeneidad internacional y armonizan los requisitos nacionales, mientras que las normas JIS y DIN se centran más en las necesidades específicas de los mercados regionales, como los componentes electrónicos en Japón y las certificaciones de calidad en Alemania.

En términos de métodos de detección, los estándares nacionales utilizan principalmente análisis químicos y pruebas mecánicas simples, y los requisitos del equipo de prueba son relativamente simples, mientras que los estándares internacionales requieren espectrómetros y microscopios de alta precisión, y el proceso de detección es más complejo. En cuanto a los requisitos de embalaje y almacenamiento, las normas internacionales son más estrictas y hacen hincapié en las medidas a prueba de humedad y antioxidantes, que son adecuadas para el transporte a larga distancia. El desafío técnico es conciliar estas diferencias, establecer un sistema unificado de certificación de calidad y promover el reconocimiento mutuo de las normas nacionales y extranjeras.

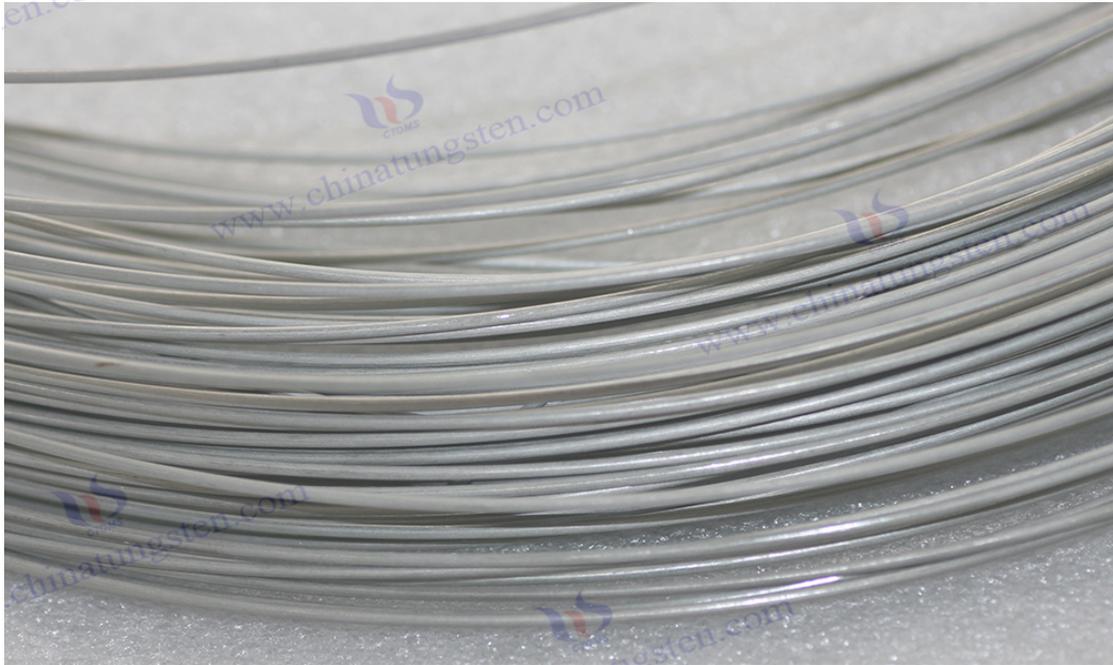
##### **7.4.2 Aplicabilidad y limitaciones de las normas**

La idoneidad de los estándares de alambre de molibdeno depende del escenario de aplicación y de la demanda del mercado. Los estándares nacionales son adecuados para la producción a gran escala y las aplicaciones de gama baja, como el corte de alambre y las fuentes de luz eléctrica ordinarias, con bajos costos de implementación y fácil promoción. Las normas internacionales son aplicables a los mercados de gama alta, como el aeroespacial y el de los dispositivos médicos, para cumplir con los requisitos de alto rendimiento, pero su implementación es costosa. Los estándares de la

#### **Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal**

industria y los estándares internos son más específicos de la aplicación y flexibles, pero tienen un alcance de aplicación limitado y pueden no ser adecuados para la implementación en todas las industrias.

La limitación de la norma es que su actualización es lenta y es difícil adaptarse rápidamente a las necesidades de las nuevas tecnologías y aplicaciones, como el alambre de molibdeno ultrafino y el alambre de nueva aleación. Algunas normas tienen requisitos insuficientes para la protección del medio ambiente y el ahorro de energía, y las especificaciones de fabricación ecológica deben complementarse. El reto técnico consiste en formular normas que tengan en cuenta tanto la universalidad como la profesionalidad, y es necesario fortalecer la cooperación internacional y los intercambios industriales para promover la actualización dinámica y la aplicación mundial de las normas.



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno

## Capítulo 8 Métodos de detección de alambre de molibdeno

El rendimiento del alambre de molibdeno afecta directamente su efecto de aplicación en fuentes de luz eléctrica, corte de alambre, recubrimiento al vacío y otros campos, por lo que es necesario evaluar su composición química, propiedades físicas y calidad de la superficie a través de métodos de detección precisos. Estos métodos de detección cubren una variedad de técnicas, como el análisis espectral, las pruebas mecánicas, la observación microscópica, etc., para garantizar que el alambre de molibdeno cumpla con los estándares nacionales (por ejemplo, GB/T 4182-2003), los estándares internacionales (por ejemplo, ASTM B387) y las necesidades específicas de la industria. El equipo de inspección debe ser altamente preciso, sensible y no destructivo para respaldar una producción eficiente y un control de calidad. La siguiente es una descripción detallada del texto de los métodos, los requisitos del proceso y los desafíos de las pruebas de composición química, las pruebas de propiedades físicas y las pruebas de calidad de la superficie del alambre de molibdeno.

### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

## 8.1 Pruebas de composición química del alambre de molibdeno

Las pruebas de composición química se utilizan para analizar la pureza y el contenido de impurezas de los alambres de molibdeno para garantizar que el material cumpla con los requisitos de las aplicaciones de alto rendimiento, como la conductividad de las fuentes de luz eléctrica y la resistencia a la corrosión de los hornos de alta temperatura. El método de detección debe tener una alta sensibilidad y precisión, ser capaz de detectar elementos traza y adaptarse a diferentes especificaciones de alambre de molibdeno (como alambre de molibdeno puro, alambre de molibdeno y lantano).

### 8.1.1 Análisis espectroscópico (ICP-MS, XRF)

La espectroscopia es el método principal para detectar la composición química de los filamentos de molibdeno, y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) se utilizan comúnmente. ICP-MS analiza el espectro de masas de los elementos disolviendo la muestra de alambre de molibdeno en una solución e ionizándola, lo que puede detectar con precisión trazas de impurezas (como hierro, carbono, oxígeno) y es adecuado para el análisis de composición de alambre de molibdeno de alta pureza. El equipo está equipado con un espectrómetro de masas de alta resolución y un sistema de purificación para garantizar que los resultados de las pruebas no sean alterados por el medio ambiente, especialmente para los estrictos requisitos del alambre de molibdeno para semiconductores y dispositivos médicos. XRF es un método no destructivo que excita la superficie del alambre de molibdeno mediante rayos X y analiza la señal de fluorescencia para determinar la composición elemental, lo que lo hace adecuado para la detección rápida de lotes y ampliamente utilizado en el control de calidad en las líneas de producción.

En funcionamiento, ICP-MS se realiza en un entorno ultralimpio, la preparación de la muestra incluye la disolución y dilución ácida, y la pureza de la solución debe controlarse estrictamente para evitar la contaminación. El equipo XRF debe calibrarse regularmente para garantizar la estabilidad y precisión de la fuente de rayos X. Ambos métodos deben compararse con los estándares para garantizar resultados confiables. El desafío técnico es aumentar la sensibilidad de detección para identificar niveles ultra bajos de impurezas, al tiempo que se optimiza el proceso de preparación de muestras para reducir el tiempo de detección, lo que requiere sistemas de procesamiento de datos eficientes e instalaciones de sala limpia.

### 8.1.2 Valoración química

La valoración química es un método tradicional de detección de composición química, que analiza cuantitativamente los elementos principales y algunas impurezas en el alambre de molibdeno a través de reacciones químicas, y es adecuado para pruebas de laboratorio y lotes pequeños. Los métodos incluyen la disolución de una muestra de alambre de molibdeno en una solución ácida, la adición de un reactivo específico para iniciar una reacción química y la determinación del contenido elemental mediante el punto final de valoración. Este método es fácil de operar, de bajo costo, adecuado para la detección del contenido de molibdeno e impurezas comunes (como azufre, fósforo), y es ampliamente utilizado para la verificación de calidad en la etapa inicial de la producción de alambre de molibdeno.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

En funcionamiento, la valoración química requiere el uso de reactivos de alta pureza y equipos de valoración de precisión para garantizar condiciones de reacción estables y resultados reproducibles. La preparación de la muestra debe realizarse en una campana extractora para evitar la fuga de gases nocivos. El líquido residual debe neutralizarse y precipitarse para cumplir con los requisitos de protección ambiental. El reto técnico consiste en mejorar la precisión de la valoración para la detección de trazas de impurezas, optimizar el proceso de formulación y valoración del reactivo, al tiempo que se reducen los errores de manipulación manual, y ser adecuado para su uso en combinación con la espectroscopia para mejorar la fiabilidad.

## 8.2 Pruebas de las propiedades físicas del alambre de molibdeno

Las pruebas de propiedades físicas evalúan las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, incluida la resistencia a la tracción, el alargamiento y la dureza, para garantizar que cumpla con los requisitos mecánicos de aplicaciones como corte de alambre, elementos calefactores, etc. Estos métodos requieren el uso de equipos de alta precisión que puedan medir con precisión el rendimiento del alambre de molibdeno en diferentes estados mientras se adaptan al pequeño tamaño del alambre de molibdeno ultrafino.

### 8.2.1 Ensayo de resistencia a la tracción

La prueba de resistencia a la tracción se utiliza para medir la resistencia a la rotura del alambre de molibdeno bajo carga de tracción, lo que refleja su resistencia mecánica y durabilidad, y es adecuada para el alambre de molibdeno para el corte de alambre y el horno de alta temperatura. La prueba se lleva a cabo mediante una máquina de prueba de tracción, donde el alambre de molibdeno se sujeta en un accesorio especial, se aplica una fuerza de tracción progresivamente creciente hasta que se rompe y se registra el comportamiento máximo de carga y deformación. El equipo debe estar equipado con un sensor de fuerza de alta precisión y un sistema de control de desplazamiento para garantizar una sujeción estable sin dañar la superficie del alambre de molibdeno, y es adecuado para probar alambre de molibdeno grueso y alambre de molibdeno ultrafino.

Durante el funcionamiento, la prueba debe realizarse en un entorno de temperatura y humedad constantes para evitar que los factores ambientales afecten los resultados. El diseño del accesorio debe acomodar diferentes diámetros de alambres de molibdeno para evitar deslizamientos o concentraciones de tensión local. El sistema de control automático registra la curva de tracción y analiza la resistencia y tenacidad del material. El desafío técnico consistió en probar la estabilidad de sujeción de los alambres de molibdeno ultrafinos, diseñar microaccesorios especiales y optimizar la velocidad de la prueba para evitar que las tasas de deformación afectaran los resultados y garantizar que los datos reflejaran con precisión el rendimiento de los alambres de molibdeno.

### 8.2.2 Ensayo de elongación

La prueba de elongación evalúa la capacidad de deformación plástica del alambre de molibdeno antes de la fractura por tracción, reflejando su ductilidad y tenacidad, y es adecuada para fuentes de luz eléctrica y alambre de molibdeno para microelectrónica. La prueba generalmente se realiza junto con una prueba de resistencia a la tracción, donde se utiliza una máquina de prueba de tracción para

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

registrar el alargamiento del alambre de molibdeno durante el proceso de tracción y calcular su alargamiento. El equipo debe estar equipado con un sensor de desplazamiento de alta precisión, que pueda detectar deformaciones a nivel de micras, que es adecuado para la prueba de alambres de molibdeno ultrafinos. Los resultados de la prueba se utilizan para evaluar la idoneidad del alambre de molibdeno en el proceso de doblado o bobinado.

Durante el funcionamiento, la prueba debe garantizar que la superficie del alambre de molibdeno esté libre de defectos para evitar que una fractura prematura afecte los resultados. Los accesorios deben estar alineados con precisión para reducir los efectos de las fuerzas de excentricidad. El sistema automatizado registra la curva de deformación y analiza el comportamiento plástico del alambre de molibdeno. El desafío técnico es lograr mediciones de deformación de alta precisión, optimizando la sensibilidad del sensor y el diseño del accesorio, al tiempo que se garantiza un entorno de prueba estable para la repetibilidad.

### 8.2.3 Ensayo de dureza

La prueba de dureza evalúa la resistencia a la deformación del alambre de molibdeno, reflejando su resistencia al desgaste y procesabilidad, y es adecuada para alambre de molibdeno para pulverización y corte de alambre. La prueba de dureza Vickers o prueba de microdureza se usa comúnmente para determinar la dureza del material aplicando una carga específica a la superficie del alambre de molibdeno y midiendo el tamaño de la indentación. El equipo debe estar equipado con un indentador de alta precisión y un microscopio, que puede realizar pruebas en un área pequeña y es adecuado para la detección de alambres de molibdeno ultrafinos. Los resultados de las pruebas se utilizan para evaluar la durabilidad del alambre de molibdeno en un entorno de alta carga.

Durante el funcionamiento, la prueba debe llevarse a cabo en un entorno limpio para evitar que la contaminación de la superficie afecte la medición de la indentación. El alambre de molibdeno debe fijarse en un accesorio especial para garantizar que el punto de prueba sea plano. El sistema automatizado registra la imagen de indentación y calcula el valor de dureza. El desafío técnico consistió en probar la precisión de posicionamiento de los alambres de molibdeno ultrafinos, utilizando microscopios de alta resolución y dentadores en miniatura, al tiempo que se optimizaba la selección de la carga para evitar dañar la superficie del cable.

## 8.3 Inspección de la calidad de la superficie del alambre de molibdeno

La inspección de la calidad de la superficie se utiliza para evaluar el acabado de la superficie, los defectos y la rugosidad de los alambres de molibdeno para garantizar que cumplan con los altos requisitos de aplicaciones como fuentes de luz eléctrica, recubrimientos al vacío, etc. El método de inspección debe ser de alta resolución y no destructivo, capaz de identificar rápidamente los defectos de la superficie y permitir la inspección en línea.

### 8.3.1 Observación microscópica

La observación microscópica se utiliza para inspeccionar arañazos, grietas y capas de óxido en la superficie del alambre de molibdeno, y es adecuada para el control de calidad de la fuente de luz eléctrica y el alambre de molibdeno para el corte de alambre. Los microscopios ópticos son ideales

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

para la inspección rápida de la topografía de la superficie y están equipados con objetivos de gran aumento para observar defectos del tamaño de micras. La microscopía electrónica de barrido (SEM) proporciona una mayor resolución y es adecuada para analizar la microestructura y los defectos superficiales de los alambres de molibdeno ultrafinos, revelando los límites de grano y las trazas de procesamiento. El equipo debe estar equipado con un sistema de procesamiento de imágenes que produzca imágenes claras de la superficie para facilitar la clasificación y el análisis de defectos.

Durante el funcionamiento, el alambre de molibdeno debe limpiarse por ultrasonidos para eliminar las impurezas de la superficie y evitar interferencias con la observación. Los microscopios deben calibrarse regularmente para garantizar la calidad y la resolución de la imagen. Los resultados de las pruebas se utilizan para evaluar la eficacia de los procesos de dibujo y tratamiento de superficies. El reto técnico consistía en mejorar la precisión de las imágenes del microscopio de hilos de molibdeno ultrafinos, optimizar el sistema de iluminación y la fijación de la muestra, y reducir los efectos de las vibraciones ambientales.

### 8.3.2 Detección de defectos por corrientes de Foucault

La prueba de defectos por corrientes de Foucault se utiliza para detectar microgrietas, inclusiones y defectos internos en la superficie del alambre de molibdeno, y es adecuada para el corte de alambre y la inspección en línea del alambre de molibdeno para componentes electrónicos. A través del principio de inducción electromagnética, el equipo genera corrientes parásitas en la superficie del cable de molibdeno para detectar los cambios en la señal eléctrica causados por defectos, que tiene las características de no destructivo y alta sensibilidad. Los detectores de defectos por corrientes de Foucault están equipados con sensores multicanal y un sistema de escaneo automático que puede detectar rápidamente cables largos de molibdeno e identificar pequeños defectos, lo que los hace adecuados para entornos de producción continua.

Durante el funcionamiento, el equipo debe calibrarse para adaptarse a diferentes diámetros de cables de molibdeno para garantizar la sensibilidad de detección. El sistema de procesamiento de datos registra la ubicación y el tipo de defectos en tiempo real y genera informes de calidad. Las pruebas de corrientes de Foucault deben integrarse con una línea de trefilado para respaldar la inspección a alta velocidad. El desafío técnico es mejorar la precisión de la detección para identificar defectos a escala micrométrica, optimizando el diseño de sensores y los algoritmos de procesamiento de señales, al tiempo que se reducen las falsas alarmas para mejorar la confiabilidad.

### 8.3.3 Ensayo de rugosidad superficial

La prueba de rugosidad de la superficie evalúa la suavidad de la superficie de un alambre de molibdeno, lo que afecta su rendimiento en recubrimientos al vacío y fuentes de luz eléctrica. La prueba utiliza un probador de rugosidad con o sin contacto, y el dispositivo de contacto escanea la superficie del alambre de molibdeno a través de una sonda para medir el cambio del perfil de la superficie, que es adecuado para la inspección del alambre de molibdeno grueso. Los dispositivos sin contacto utilizan láseres o sistemas ópticos y son adecuados para la inspección de cables de molibdeno ultrafinos para evitar daños en la sonda. El equipo debe estar equipado con sensores de alta precisión y sistemas de análisis de datos para generar parámetros de rugosidad superficial que

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

reflejen el acabado del alambre.

Durante el funcionamiento, el alambre de molibdeno debe limpiarse para eliminar el aceite de la superficie, y la prueba debe realizarse en un entorno libre de vibraciones para garantizar la precisión. El sistema automatizado registra los datos del perfil y analiza la calidad de la superficie. El desafío técnico es probar la precisión de posicionamiento de los alambres de molibdeno ultrafinos, optimizando la sensibilidad de la sonda o el sistema láser y asegurando la adaptabilidad del dispositivo a diferentes diámetros de alambres de molibdeno.

#### **8.4 Pruebas de tamaño y tolerancia del alambre de molibdeno**

Las pruebas dimensionales y de tolerancia se utilizan para evaluar la consistencia del diámetro y la precisión geométrica de los alambres de molibdeno para garantizar que cumplan con los requisitos de alta precisión de aplicaciones como electroerosión por hilo, fuentes de luz eléctrica y recubrimientos al vacío. El método de detección debe tener las características de alta resolución, respuesta rápida y no destructividad, adaptarse a una variedad de especificaciones, desde alambre de molibdeno grueso hasta alambre de molibdeno ultrafino, y cumplir con los estrictos requisitos de las normas nacionales (como GB / T 4182-2003) y las normas internacionales (como ASTM B387).

##### **8.4.1 Calibrador láser**

El calibrador láser se utiliza para detectar el diámetro y la redondez del alambre de molibdeno en línea o fuera de línea, y es ampliamente utilizado en el control de calidad en tiempo real de las líneas de producción de trefilado. El dispositivo escanea la superficie del alambre de molibdeno emitiendo un rayo láser, analiza la señal de luz reflejada o transmitida y calcula el diámetro y la desviación geométrica del alambre, lo cual es adecuado para entornos de producción de alta velocidad. El calibrador láser tiene la ventaja de la medición sin contacto, lo que evita daños en la superficie del alambre de molibdeno, y es especialmente adecuado para la detección de alambre de molibdeno ultrafino. Su alta resolución y capacidad de respuesta rápida permiten la captura de pequeños cambios dimensionales en tiempo real, lo que garantiza que el alambre satisfaga las necesidades de las aplicaciones de precisión, como las tolerancias a nivel de micras en la electroerosión por hilo.

Durante el funcionamiento, el calibrador láser debe funcionar en un entorno libre de vibraciones para evitar que las interferencias externas afecten a la precisión de la medición. El dispositivo está equipado con un sistema de escaneo láser multieje, que puede inspeccionar la circunferencia completa del alambre de molibdeno y generar un informe dimensional detallado. El sistema de calibración utiliza muestras estándar para garantizar resultados de medición fiables. El desafío técnico consistió en mejorar la sensibilidad del sistema de inspección a los hilos de molibdeno ultrafinos, optimizar la fuente láser y los algoritmos de procesamiento de señales, e integrar un sistema de monitoreo en línea para la retroalimentación en tiempo real y el ajuste del proceso.

##### **8.4.2 Micrómetros y micromediciones**

Los micrómetros y las micromediciones se utilizan para la inspección fuera de línea del diámetro y la geometría de la superficie de los alambres de molibdeno, adecuados para la verificación de calidad en laboratorio y de bajo volumen. El micrómetro mide el diámetro del alambre de molibdeno por

medio de una estructura mecánica de precisión y está equipado con una sonda de alta precisión para detectar la desviación dimensional del alambre de molibdeno grueso y el alambre de diámetro medio, y es adecuado para rociar o calentar alambre de molibdeno. La medición microscópica combinada con un microscopio óptico o un sistema de microscopio digital magnifica la superficie del alambre de molibdeno, mide con precisión el diámetro y la redondez, es adecuada para la detección de alambre de molibdeno ultrafino y cumple con los requisitos de alta precisión de la microelectrónica y los equipos médicos.

Durante el funcionamiento, el micrómetro debe calibrarse regularmente para garantizar que la sonda esté plana y sin desgaste, y el alambre de molibdeno debe sujetarse suavemente para evitar deformaciones. Las mediciones microscópicas requieren una superficie limpia del alambre de molibdeno, limpieza ultrasónica para eliminar aceite o partículas y pruebas a temperatura constante para eliminar los efectos de la expansión térmica. El sistema de procesamiento de datos registra los resultados de la medición y genera un informe de análisis de tolerancia. El desafío técnico es garantizar que la precisión de la medición sea adecuada para los alambres de molibdeno ultrafinos, optimizando el aumento del microscopio y el diseño de la sonda del micrómetro, al tiempo que se reducen los errores operativos para mejorar la repetibilidad.

## 8.5 Otros ensayos con alambre de molibdeno

Otros métodos de prueba evalúan la resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la corrosión y las propiedades eléctricas del alambre de molibdeno, lo que garantiza su confiabilidad en hornos de alta temperatura, entornos químicos y componentes electrónicos. Estos métodos combinan pruebas de laboratorio y simulaciones ambientales para verificar el rendimiento del alambre de molibdeno en condiciones extremas para satisfacer las necesidades de aplicaciones de alta gama como la aeroespacial y la médica.

### 8.5.1 Ensayo de resistencia a altas temperaturas

La prueba de rendimiento a alta temperatura evalúa la estabilidad, la resistencia a la fluencia y la resistencia a la oxidación del alambre de molibdeno en un entorno de alta temperatura, y es adecuada para hornos de alta temperatura y alambre de molibdeno aeroespacial. La prueba simula el entorno de uso real a través de un horno de alta temperatura y coloca el alambre de molibdeno en una atmósfera de alta temperatura (como hidrógeno o vacío) para observar su deformación, formación de capa de óxido y cambios en las propiedades mecánicas. El equipo está equipado con un sistema de control de temperatura de alta precisión y un dispositivo de acondicionamiento de atmósfera, que puede simular una variedad de condiciones de alta temperatura para garantizar que los resultados de las pruebas reflejen el rendimiento del alambre de molibdeno en aplicaciones del mundo real. La prueba también incluye un experimento de ciclo térmico para evaluar la resistencia al choque térmico del alambre de molibdeno bajo rampas de temperatura rápidas.

Durante el funcionamiento, la prueba debe realizarse en una atmósfera de alta pureza o en un entorno de vacío para evitar la oxidación del filamento de molibdeno, y el equipo debe estar equipado con un termómetro infrarrojo para controlar la temperatura en tiempo real. El accesorio de muestra asegura que el alambre de molibdeno se caliente de manera uniforme, y los cambios en la superficie

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

y la microestructura se observan a través de un microscopio después de la prueba. El desafío técnico consistió en simular condiciones de temperatura extremadamente alta mientras se mantenía la precisión de las pruebas, optimizar la distribución del campo térmico y el control de la atmósfera en el horno, y equipar un sistema de tratamiento de gases de escape eficiente para cumplir con los requisitos ambientales.

### 8.5.2 Ensayo de resistencia a la corrosión

Las pruebas de resistencia a la corrosión evalúan la estabilidad del alambre de molibdeno en entornos químicos como ácidos, álcalis o gases halógenos y son adecuadas para lámparas halógenas, recubrimientos en aerosol y alambre de molibdeno para dispositivos médicos. La prueba observa la corrosión de la superficie, la pérdida de masa y los cambios en el rendimiento al sumergir el alambre de molibdeno en un medio corrosivo, como una solución salina o ácido, o al exponerlo a un gas corrosivo. El equipo incluye una cámara de corrosión y un sistema de circulación de gases capaz de simular una amplia gama de entornos químicos, así como balanzas de alta precisión y microscopios para analizar el grado de corrosión. La prueba también combina métodos electroquímicos para medir el potencial de corrosión y la corriente del alambre de molibdeno para evaluar su mecanismo de resistencia a la corrosión.

En funcionamiento, la concentración del medio y las condiciones ambientales están estrictamente controladas para garantizar resultados reproducibles. La muestra se limpia por ultrasonidos para eliminar las impurezas de la superficie, y los productos de corrosión se detectan mediante análisis espectroscópico después de la prueba. Los líquidos residuales y los gases de escape deben neutralizarse y filtrarse para cumplir con los estándares ambientales. El desafío técnico es simular la diversidad de entornos químicos complejos, optimizando el diseño de la cámara y las formulaciones de medios corrosivos, al tiempo que aumenta la eficiencia de las pruebas para respaldar las inspecciones de lotes.

### 8.5.3 Ensayo de rendimiento eléctrico

La prueba de rendimiento eléctrico evalúa las características de conductividad y resistencia del alambre de molibdeno, y es adecuada para fuentes de luz eléctrica, componentes electrónicos y alambre de molibdeno para cortar alambres. La prueba mide la resistividad y la resistencia de contacto del alambre de molibdeno por medio de un método de cuatro sondas o un probador de resistencia para reflejar su eficiencia de conducción actual. El equipo está equipado con una fuente de corriente y un voltímetro de alta precisión, que pueden detectar pequeños cambios en la resistencia, y es adecuado para probar cables de molibdeno ultrafinos. La prueba también incluye un experimento de descarga de alta frecuencia para simular el rendimiento del arco en el corte de alambre y evaluar la estabilidad del alambre de molibdeno bajo corrientes de alta frecuencia.

Durante el funcionamiento, la prueba debe realizarse en un entorno de temperatura y humedad constantes para evitar que los factores ambientales afecten la medición de la resistencia. El alambre de molibdeno debe limpiarse para eliminar la capa de óxido de la superficie, y el accesorio de prueba debe asegurarse de que el contacto sea estable y no dañe el cable. El sistema de procesamiento de datos registra la curva de resistencia y analiza la uniformidad de las propiedades eléctricas. El

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

desafío técnico consistía en aumentar la sensibilidad de la prueba a los hilos de molibdeno ultrafinos, optimizando el diseño del accesorio y el control de la corriente, al tiempo que se garantizaba que el equipo pudiera adaptarse a las necesidades de inspección de diferentes diámetros de hilo.

## 8.6 Método de identificación de los residuos de alambre de molibdeno

El método de identificación del alambre de molibdeno de desecho se utiliza para distinguir el alambre de molibdeno de desecho del alambre nuevo u otros alambres metálicos (como alambre de tungsteno, alambre de acero), apoyar el reciclaje y la reutilización, y reducir el desperdicio de recursos. Estos métodos son simples y eficientes, adecuados tanto para la producción como para el reciclaje, y combinan propiedades físicas, químicas y mecánicas.

### 8.6.1 Prueba de combustión

La prueba de combustión observa las características de reacción del alambre de molibdeno residual calentándolo e identifica su material. El alambre de molibdeno no se derrite fácilmente a altas temperaturas, y se forma polvo de óxido de molibdeno amarillo en la superficie, mientras que otros metales (como el alambre de acero) pueden derretirse o producir óxidos de diferentes colores. La prueba utiliza un pequeño horno de combustión o soplete para calentar el alambre de molibdeno en el aire y observar su cambio de color y productos de oxidación. El equipo debe estar equipado con un dispositivo de calefacción de alta temperatura y un sistema de ventilación para garantizar un funcionamiento seguro.

Durante el funcionamiento, la prueba se lleva a cabo en una campana extractora para evitar que el polvo de óxido se propague. La muestra se limpia para evitar impurezas y la morfología del producto de oxidación se observa mediante microscopía después de la prueba. El desafío técnico es distinguir rápidamente el alambre de molibdeno de otros metales con altos puntos de fusión (por ejemplo, alambre de tungsteno) y combinar otros métodos de prueba para mejorar la precisión de la identificación.

### 8.6.2 Ensayo magnético

Las pruebas magnéticas utilizan las propiedades no magnéticas del alambre de molibdeno para distinguirlo de los materiales ferromagnéticos como el alambre de acero. La prueba utiliza un imán fuerte o un detector magnético para observar si el alambre de molibdeno de desecho está magnetizado, el alambre de molibdeno no es atraído debido a su naturaleza no magnética y el alambre de acero generalmente exhibe un magnetismo significativo. El equipo es simple y portátil, adecuado para la detección rápida en el sitio y es ampliamente utilizado para la clasificación de residuos.

Durante el funcionamiento, la prueba debe garantizar que la fuerza del imán sea suficiente y que el entorno de detección esté libre de fuertes interferencias de campos magnéticos. Es necesario limpiar la superficie de la muestra para evitar que la acumulación afecte los resultados. El desafío técnico es distinguir el alambre de molibdeno de otros metales no magnéticos (por ejemplo, alambre de tungsteno) y combinar otros métodos para mejorar la confiabilidad de la identificación.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

### 8.6.3 Ensayo de ácido nítrico concentrado

La prueba de ácido nítrico concentrado identifica el filamento de molibdeno de desecho a través de una reacción química y utiliza la baja reactividad del filamento de molibdeno en ácido nítrico concentrado. El alambre de molibdeno reacciona lentamente en ácido nítrico concentrado y la superficie permanece lisa, mientras que otros metales, como el cobre o el acero, pueden disolverse rápidamente o producir una corrosión significativa. La prueba sumergió el filamento de molibdeno gastado en una solución concentrada de ácido nítrico para observar la velocidad de reacción y los cambios en la superficie, y el equipo incluye un recipiente resistente a los ácidos y un sistema de ventilación para garantizar un funcionamiento seguro.

Durante el funcionamiento, la prueba se lleva a cabo en una campana extractora para evitar fugas de gas ácido. La muestra debe limpiarse para eliminar el aceite de la superficie, y los rastros de corrosión deben observarse a través de un microscopio después de la prueba. El líquido residual debe neutralizarse y tratarse para cumplir con los requisitos de protección del medio ambiente. El desafío técnico es controlar la concentración de ácido nítrico y el tiempo de reacción, y las condiciones de prueba deben optimizarse para distinguir el alambre de molibdeno de otros metales resistentes a la corrosión.

### 8.6.4 Controles de peso y elasticidad

El control de peso y elasticidad se identifica midiendo la densidad y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno de desecho. El alambre de molibdeno tiene una alta densidad y elasticidad, que es diferente a otros metales como el aluminio o el acero. La prueba utiliza una balanza de precisión para medir el peso del alambre de molibdeno, combinado con la longitud para calcular la densidad. La verificación de elasticidad prueba la flexibilidad y resistencia del alambre de molibdeno mediante flexión manual o con un accesorio especial, y el alambre de molibdeno generalmente exhibe una alta tenacidad y recuperación elástica.

En funcionamiento, se utilizan balanzas de alta precisión para garantizar mediciones de peso precisas. La prueba de elasticidad debe operarse suavemente para evitar que el alambre de molibdeno se rompa, lo cual es adecuado para la identificación de alambre de molibdeno grueso. El desafío técnico es distinguir rápidamente el alambre de molibdeno de otros metales de alta densidad, en combinación con la combustión o las pruebas químicas para mejorar la precisión, al tiempo que se optimiza el proceso de prueba para respaldar la identificación de lotes.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

## Capítulo 9 Mercado de alambre de molibdeno y tendencia de desarrollo

Como material de alto rendimiento, el alambre de molibdeno tiene una amplia gama de aplicaciones en los campos de corte de alambre, fuente de luz eléctrica, aeroespacial, nuevas energías y medicina, y su desarrollo en el mercado se ve afectado por el progreso tecnológico industrial global, la distribución de recursos y la demanda posterior. El mercado mundial de alambre de molibdeno ha mantenido un crecimiento constante, y la región de Asia-Pacífico, especialmente China, ocupa una posición dominante en virtud de sus ventajas de recursos y capacidades de fabricación. El mercado interno es altamente competitivo, con grandes empresas que consolidan su posición en el mercado a través de la innovación tecnológica y la producción a gran escala, mientras que las pequeñas y medianas empresas se centran en segmentos de mercado. En el futuro, la industria del alambre de molibdeno se desarrollará en la dirección del alto rendimiento, la inteligencia y la sostenibilidad, y la aplicación de nuevos materiales, nuevos procesos y nuevos campos de energía, 5G y medicina ampliarán aún más el espacio del mercado. El siguiente es un análisis en profundidad de la situación actual del mercado mundial y nacional de alambre de molibdeno, así como el progreso tecnológico y las perspectivas de aplicación.

### 9.1 Descripción general del mercado mundial de alambre de molibdeno

El mercado global de alambre de molibdeno está impulsado por una combinación de distribución de recursos, capacidad de producción y demanda de aplicaciones posteriores. Las propiedades únicas del alambre de molibdeno en mecanizado de precisión, dispositivos electrónicos y entornos de alta temperatura lo convierten en un material insustituible, y la demanda del mercado está estrechamente relacionada con la actualización de la tecnología industrial. El desarrollo del mercado se enfrenta a desafíos como la fluctuación de los precios de las materias primas, la competencia de materiales alternativos y los requisitos de protección del medio ambiente, y es necesario garantizar

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

la calidad del producto y la competitividad del mercado a través de una tecnología de prueba eficiente y la optimización de procesos.

### 9.1.1 Principales países productores

China, Estados Unidos, Chile, Perú y Canadá son los principales productores de alambre de molibdeno en el mundo, cada uno de los cuales ocupa una posición importante en el mercado en virtud de sus ventajas de recursos y tecnología de fabricación. China tiene las reservas de mineral de molibdeno más grandes del mundo, concentradas en Luanchuan, Henan, Jinduicheng, Shaanxi y otros lugares, formando una cadena industrial completa desde la minería de molibdeno hasta el procesamiento de alambre de molibdeno. A través de la producción a gran escala y la tecnología avanzada de trefilado, las empresas nacionales suministran alambre de molibdeno para el corte de alambre, fuente de luz eléctrica y horno de alta temperatura, y los productos se exportan a América del Norte, Europa y el sudeste asiático. EE. UU. se enfoca en alambre de molibdeno de alto valor agregado, como alambre de molibdeno ultrafino para uso aeroespacial y médico, confiando en equipos de producción de alta precisión y tecnologías de prueba rigurosas (como la medición de diámetro láser, ICP-MS) para satisfacer la demanda del mercado de alta gama. Chile y Perú utilizan los recursos minerales asociados al cobre y el molibdeno para producir concentrado de molibdeno y procesarlo en alambre de molibdeno para la exportación a los mercados mundiales, especialmente en América del Sur y Europa. Canadá suministra alambre de molibdeno de alta pureza a través de tecnología metalúrgica y de beneficio de alta eficiencia, sirviendo principalmente al mercado norteamericano.

China se enfoca en el control de costos y la escala de producción, Estados Unidos y Canadá enfatizan el mecanizado de alto rendimiento y precisión, y Chile y Perú se enfocan en el suministro de materias primas. Durante la producción, los métodos de prueba (por ejemplo, pruebas de corrientes de Foucault, análisis de composición química) garantizan que el alambre de molibdeno cumpla con los estándares internacionales (por ejemplo, ASTM B387). El desafío técnico es conciliar el desarrollo de los recursos con los requisitos ambientales, optimizar los procesos de beneficio y fundición, y mejorar la calidad del producto a través de pruebas de alta precisión. Por ejemplo, las empresas chinas han mejorado significativamente la consistencia dimensional y el acabado superficial del alambre de molibdeno mediante la automatización del trefilado y los sistemas de monitoreo en línea.

### 9.1.2 Oferta y demanda del mercado

La demanda del mercado de alambre de molibdeno proviene principalmente del corte de alambre, las fuentes de luz eléctrica, la industria aeroespacial y las industrias de nuevas energías. En el campo del corte de alambre, existe una gran demanda de alambre de molibdeno de diámetro fino y alta resistencia, especialmente en moldes automotrices, piezas aeroespaciales y mecanizado de precisión, el alambre de molibdeno debe tener una alta resistencia a la tracción y al desgaste, y el rendimiento está garantizado por pruebas de tracción y pruebas de rugosidad de la superficie. La industria de las fuentes de luz eléctrica se basa en la estabilidad y conductividad a alta temperatura de los cables de molibdeno, que se utilizan en lámparas halógenas, filamentos LED y cables de tubos de rayos X, y deben probarse para determinar sus propiedades eléctricas para verificar sus características de baja

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

resistencia. La industria aeroespacial requiere alambre de molibdeno con excelente resistencia a la fluencia y a la corrosión, y se utiliza en boquillas de motores y soportes de alta temperatura, donde se requieren pruebas de rendimiento a alta temperatura y observación microscópica para garantizar la confiabilidad. La nueva industria energética, como las células solares de película delgada y los equipos de energía eólica, impone mayores exigencias a la conductividad y la resistencia a la corrosión de los alambres de molibdeno, y verifica la estabilidad del material mediante la valoración química y las pruebas de corrosión.

Por el lado de la oferta, la producción mundial de alambre de molibdeno se ve afectada por la eficiencia de la minería de molibdeno y las fluctuaciones de los precios. Los fabricantes estabilizan el suministro de materias primas optimizando la cadena de suministro e integrando recursos. Por ejemplo, las empresas chinas utilizan los recursos nacionales de mineral de molibdeno para garantizar la calidad del polvo de molibdeno a través de equipos de procesamiento de minerales de alta eficiencia (como máquinas de flotación) y tecnología de pulvimetalurgia. Los desafíos técnicos incluyen lidiar con las fluctuaciones de los precios de las materias primas y mejorar la eficiencia de la producción, así como reducir los costos a través de tecnologías de fabricación inteligente y trazabilidad de la calidad, como los sistemas de monitoreo en línea, como se describe en el Capítulo 8. El mercado también se enfrenta a la competencia de materiales alternativos como los filamentos de tungsteno y los nanotubos de carbono, que requieren innovación en procesos y tecnologías de detección (como el análisis espectroscópico) para mejorar las ventajas de rendimiento de los alambres de molibdeno.

## 9.2 Mercado nacional de alambre de molibdeno

China es el mayor productor y consumidor mundial de alambre de molibdeno, y cuenta con abundantes recursos de molibdeno y un sistema de fabricación perfecto para satisfacer las necesidades de los mercados nacionales y extranjeros. El mercado es altamente competitivo, con grandes empresas que dominan a través de la innovación tecnológica y las ventajas de marca, y pequeñas y medianas empresas a través de productos personalizados y competencia en el mercado regional.

### 9.2.1 Principales fabricantes (p. ej., CTIA GROUP LTD)

CTIA GROUP LTD es una subsidiaria de propiedad total de Chinatungsten Online con estatus legal independiente. Se compromete a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet industrial. La empresa posee una cadena industrial completa, desde la refinación de concentrado de molibdeno hasta el procesamiento de alambre de molibdeno de alta pureza. Su equipo de producción incluye máquinas avanzadas de trefilado múltiple y hornos de recocido automatizados, mientras que sus tecnologías de inspección cubren medidores de diámetro láser y detectores de defectos por corrientes de Foucault. Los productos son ampliamente utilizados en corte de alambre, fuentes de luz eléctrica y hornos de alta temperatura, cumpliendo con los requisitos de alta precisión y rendimiento a alta temperatura.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: [www.molybdenum.com.cn](http://www.molybdenum.com.cn)

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

### 9.2.2 Cuota de mercado y panorama competitivo

El mercado nacional de alambre de molibdeno presenta un patrón de alta concentración y competencia regional. Los impulsores competitivos incluyen la innovación tecnológica, la precisión de la inspección y la eficiencia de la producción. Las empresas líderes mejoran la eficiencia de la producción y la calidad del producto mediante la integración de las cadenas de suministro y la introducción de tecnologías de fabricación inteligentes, como las líneas de trefilado automatizadas. Las pequeñas y medianas empresas (PYME) se enfrentan al reto de las actualizaciones tecnológicas y las presiones de los costos, y necesitan mejorar su competitividad mediante asociaciones con grandes empresas o la introducción de tecnología. El mercado también está impulsado por la demanda de exportación, con alambre de molibdeno chino que se exporta al sudeste asiático y Europa, donde se requiere que cumpla con los estándares internacionales (por ejemplo, ASTM B387). El desafío técnico es equilibrar el alto rendimiento con el bajo costo, y hacer frente a la competencia nacional e internacional a través de pruebas eficientes y optimización de procesos.

### 9.3 Tendencia de desarrollo del alambre de molibdeno

El desarrollo futuro del alambre de molibdeno está impulsado por nuevos materiales, nuevos procesos, fabricación inteligente y campos de aplicación emergentes. Los avances en la tecnología de inspección (como la detección de defectos por corrientes de Foucault y la medición de la trayectoria láser como se describe en el Capítulo 8) respaldan la mejora de la calidad del producto y el desarrollo de nuevos productos, y la tendencia del mercado está evolucionando en la dirección del alto rendimiento, la fabricación ecológica y la inteligencia.

#### 9.3.1 Desarrollo de nuevos materiales y procesos

El desarrollo de nuevos materiales y procesos tiene como objetivo mejorar las propiedades mecánicas, la conductividad y la adaptabilidad ambiental del alambre de molibdeno. La tecnología de dopaje mejora significativamente la resistencia a la fluencia a alta temperatura y la ductilidad del alambre de molibdeno mediante la adición de elementos de tierras raras (como el lantano y el cerio) o elementos metálicos (como el renio). Por ejemplo, el alambre de molibdeno y lantano puede soportar ciclos térmicos más largos en hornos de alta temperatura, lo que prolonga su vida útil. El nuevo proceso de trefilado utiliza moldes de alta precisión y lubricantes respetuosos con el medio ambiente para producir alambres de molibdeno más finos y uniformes que cumplen con los requisitos de nivel micrométrico de los dispositivos 5G y la microelectrónica. Las tecnologías de tratamiento de superficies, como el recubrimiento de silicio de molibdeno y el recubrimiento de zirconio, mejoran la resistencia a la oxidación y la corrosión del alambre de molibdeno, adecuado para lámparas aeroespaciales y halógenas.

La tecnología de detección es fundamental en el desarrollo. Por ejemplo, la observación microscópica se utiliza para analizar la uniformidad de la distribución de los elementos dopados, y la valoración química verifica la estabilidad de la composición del recubrimiento. El desafío técnico es equilibrar las ganancias de rendimiento con los costos de producción, para reducir el consumo de energía a través de pruebas eficientes (por ejemplo, pruebas de rugosidad superficial) y equipos automatizados, al tiempo que se garantiza que los nuevos materiales cumplan con las normas internacionales (por ejemplo, ISO 24361).

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 9.3.2 Tecnología de fabricación inteligente y trazabilidad de la calidad

La fabricación inteligente mejora la eficiencia y la consistencia de la producción de alambre de molibdeno a través de la automatización, el Internet de las cosas y las tecnologías de big data. La línea de producción automática de trefilado integra servomotores, sensores y sistemas de control PLC para ajustar dinámicamente la velocidad y la tensión del trefilado para reducir la rotura del alambre y la tasa de defectos. El sistema de trazabilidad de calidad utiliza tecnología blockchain y de código de barras para registrar la composición química, los parámetros de procesamiento y los resultados de las pruebas del alambre de molibdeno desde las materias primas hasta los productos terminados, lo que garantiza que los productos cumplan con las normas GB/T 4182 y ASTM B387.

La fabricación inteligente también admite comentarios de calidad en tiempo real, detección de defectos por corrientes de Foucault y datos de pruebas de rendimiento eléctrico transmitidos directamente al centro de control para optimizar los parámetros del proceso. Algunos ejemplos son la línea de producción inteligente de Luoyang Dingding, que redujo la tasa de chatarra en un 10% a través de un sistema de supervisión en línea. Los desafíos técnicos son la integración de sistemas y la seguridad de los datos, lo que requiere el desarrollo de plataformas de software altamente confiables y medidas de protección de la red, así como la capacitación de técnicos para adaptarse a dispositivos inteligentes.

### 9.3.3 Desarrollo de nuevos alambres de aleación de molibdeno

El nuevo alambre de aleación de molibdeno mejora el rendimiento a través de la tecnología de dopaje para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de alta gama. El alambre de aleación de molibdeno y lantano es adecuado para los componentes de soporte del horno de crecimiento de silicio monocristalino al agregar óxido de lantano para mejorar la resistencia a la fluencia y la tenacidad a altas temperaturas, y puede soportar el choque térmico de un rápido aumento y caída de temperatura. El alambre de aleación de molibdeno-renio satisface las necesidades de las antenas de estaciones base 5G y los electrodos médicos implantables al agregar elementos de renio para mejorar la conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión. Se desarrollan técnicas de ensayo (por ejemplo, ICP-MS, ensayos de dureza) para verificar la composición de la aleación y las propiedades mecánicas para garantizar un rendimiento estable.

### 9.3.4 Desarrollo de materiales degradables o alternativos

El alambre de molibdeno es difícil de lograr propiedades degradables como material metálico, pero la sostenibilidad se puede lograr mediante el reciclaje de los desechos de alambre de molibdeno y el desarrollo de materiales alternativos. La tecnología de reciclaje de alambre de molibdeno residual utiliza la disolución química y la purificación por electrólisis para convertir el alambre de desecho en polvo de molibdeno de alta pureza para su reproducción. Los materiales alternativos, como los filamentos de tungsteno, los nanotubos de carbono y los alambres de grafeno, son competitivos en algunas aplicaciones. Por ejemplo, el filamento de tungsteno reemplaza gradualmente el filamento de molibdeno en el filamento de alta temperatura debido a su mayor punto de fusión, pero el costo es mayor; Los nanotubos de carbono tienen potencial en el campo de la microelectrónica debido a su ligereza y alta conductividad, pero la tecnología de producción aún no está madura.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

### 9.3.5 Nuevas perspectivas de aplicación del alambre de molibdeno en la nueva dirección energética, 5G y médica

La aplicación del alambre de molibdeno en los campos de las nuevas energías, el 5G y la medicina tiene amplias perspectivas, impulsadas por el progreso tecnológico y la demanda del mercado. En el campo de las nuevas energías, el alambre de molibdeno se utiliza en la capa conductora de las células solares de película delgada, lo que mejora la eficiencia de la célula con alta conductividad y resistencia a la corrosión. Por ejemplo, una empresa de energía solar utiliza alambre de molibdeno como electrodo trasero de una batería CIGS (seleniuro de cobre, indio y galio) y verifica su estabilidad a largo plazo mediante pruebas de resistencia a la corrosión. Los equipos de energía eólica utilizan alambre de molibdeno para fabricar conectores resistentes al desgaste, que deben pasar pruebas de dureza y pruebas de tracción para garantizar las propiedades mecánicas. El campo 5G se basa en el diámetro ultrafino y las características de baja resistencia del cable de molibdeno, que se aplica a los componentes de RF de las antenas de las estaciones base. En el campo de la medicina, el alambre de molibdeno se utiliza para fabricar guías quirúrgicas mínimamente invasivas y electrodos implantables, que deben protegerse mediante observación microscópica y pruebas de biocompatibilidad.

En el futuro, el alambre de molibdeno se desarrollará en la dirección de un diámetro más fino y un mayor rendimiento para satisfacer las necesidades de miniaturización y alta confiabilidad. Por ejemplo, el alambre de molibdeno ultrafino se puede utilizar en la fabricación de antenas para dispositivos 6G, donde el tamaño y la conductividad deben verificarse mediante medición de diámetro láser y pruebas de rendimiento eléctrico. El desafío técnico consiste en desarrollar alambre de molibdeno para entornos extremos, combinando tecnologías de inspección avanzadas (por ejemplo, pruebas de corrientes de Foucault, pruebas de alta temperatura) e innovación de materiales, al tiempo que se optimizan los costos de producción para respaldar aplicaciones a gran escala.



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

## Capítulo 10 Medio ambiente y seguridad del alambre de molibdeno

La producción de alambre de molibdeno implica procesos complejos de beneficio, metalurgia, trefilado y tratamiento de superficies, que plantean requisitos estrictos para la gestión ambiental y de seguridad. Los gases de escape, las aguas residuales y los residuos sólidos del proceso de producción deben eliminarse adecuadamente para cumplir con las regulaciones ambientales, y los operadores deben seguir prácticas de seguridad química y de alta temperatura para reducir los riesgos. El reciclaje y la reutilización de los residuos de alambre de molibdeno reducen el desperdicio de recursos y promueven el desarrollo sostenible a través de procesos eficientes. La gestión ambiental y de seguridad no solo tiene que ver con el cumplimiento, sino que también tiene un impacto directo en la productividad y la competitividad del mercado de las empresas. El siguiente es un análisis en profundidad del impacto ambiental, las especificaciones de seguridad y el proceso de reciclaje de la producción de alambre de molibdeno, y el proceso de implementación y los desafíos a través de una descripción de texto detallada.

### 10.1 Impacto ambiental de la producción de alambre de molibdeno

La producción de alambre de molibdeno implica múltiples etapas, desde la extracción de molibdeno hasta el procesamiento del producto terminado, que puede generar gases de escape, aguas residuales y desechos sólidos, lo que tiene posibles impactos ambientales. La eficiente tecnología de tratamiento de residuos y las estrictas medidas de protección del medio ambiente garantizan que el proceso de producción cumpla con las normas nacionales e internacionales de protección del medio ambiente (como GB/T 17196, ISO 14001), reduzca el daño al ecosistema y, al mismo tiempo, mejore la imagen de responsabilidad social corporativa.

#### 10.1.1 Gases residuales y tratamiento de aguas residuales

Los gases residuales en la producción de alambre de molibdeno provienen principalmente del proceso de tostado de molibdenita y reducción de hidrógeno, mientras que las aguas residuales provienen de los procesos de beneficio, lavado de álcalis y tratamiento de superficies. El tostador produce gases residuales que contienen azufre al convertir la molibdenita en óxido de molibdeno, que debe ser capturado por un dispositivo de desulfuración y convertido en ácido sulfúrico o subproductos de yeso para su uso en las industrias química o de materiales de construcción.

Las aguas residuales provienen principalmente de celdas de flotación y equipos de lavado cáustico, y contienen iones de metales pesados (por ejemplo, molibdeno, cobre) y reactivos químicos (por ejemplo, hidróxido de sodio). El proceso de tratamiento incluye neutralización, precipitación y filtración, utilizando floculantes para precipitar iones de metales pesados en compuestos sólidos, que luego se separan mediante un filtro prensa.

#### 10.1.2 Gestión de residuos sólidos

Los residuos sólidos incluyen relaves de beneficio, residuos de sinterización y residuos del proceso de trefilado. Los relaves están compuestos principalmente de sílice y molibdenita de baja ley, y los recursos residuales de molibdeno deben recuperarse mediante técnicas de gestión de existencias y resecaración. El residuo de sinterización contiene óxido de molibdeno e impurezas, que deben

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

purificarse químicamente en polvo de molibdeno reutilizable y probar su composición en combinación con el método de valoración química del Capítulo 8. Los residuos de trefilado incluyen hilos rotos y alambres no conformes, que se clasifican y funden para su reciclaje. La gestión de residuos sólidos requiere instalaciones de almacenamiento dedicadas para evitar la difusión de polvo y las fugas de agua de lluvia.

## 10.2 Especificaciones de seguridad para la producción de alambre de molibdeno

La producción de alambre de molibdeno implica una operación a alta temperatura y el uso de productos químicos, lo que conlleva el riesgo de quemaduras, envenenamiento y accidentes con el equipo, y requiere estrictas prácticas de seguridad para proteger a los operadores y el equipo. La gestión de la seguridad combina las normas nacionales (p. ej., GB/T 27948) y las normas internacionales (p. ej., OSHA) para reducir los riesgos mediante el mantenimiento de los equipos, la formación del personal y las medidas de emergencia.

### 10.2.1 Seguridad del funcionamiento a alta temperatura

Las operaciones a alta temperatura involucran principalmente tostadores, hornos de sinterización y hornos de recocido, que requieren seguridad del equipo y protección del personal. Los tostadores y los hornos de sinterización funcionan en entornos de alta temperatura, y el cuerpo del horno debe estar hecho de materiales refractarios y sistemas de enfriamiento para evitar daños en el equipo causados por el sobrecalentamiento. El horno de recocido está protegido por hidrógeno o gas inerte y está equipado con un detector de fugas de gas y una válvula de cierre automático para garantizar que el suministro de gas se detenga rápidamente en caso de fuga. Se requiere que los operadores usen ropa protectora para altas temperaturas y guantes aislantes del calor, y reciban capacitación profesional para dominar la operación del equipo y el manejo de emergencia.

Los códigos de seguridad requieren inspecciones periódicas de la estanqueidad del horno y los elementos calefactores para evitar fugas de gases calientes. El plan de emergencia incluye simulacros de prevención de incendios y evacuación, equipados con extintores y sistemas de extracción de humos. El desafío técnico consistía en equilibrar la eficiencia y la seguridad en operaciones a alta temperatura, optimizando la distribución del campo térmico y el sistema de circulación de gas en el horno, al tiempo que se reducía la intervención manual mediante el control automatizado.

### 10.2.2 Uso seguro de los productos químicos

El uso de productos químicos involucra agentes de flotación en el beneficio, hidróxido de sodio en lavados cáusticos y electrolitos ácidos en tratamientos de superficies, que presentan un riesgo de corrosión y envenenamiento. Los agentes de flotación (por ejemplo, xantato) deben almacenarse en un recipiente hermético y dosificarse con precisión a través de un sistema de dosificación automático para reducir la volatilización y las fugas. El equipo de lavado de álcalis utiliza una solución de hidróxido de sodio y debe estar equipado con tuberías resistentes a la corrosión y tanques de recolección de líquidos residuales para evitar que la solución se desborde.

Las normas de seguridad exigen que los operadores usen trajes de protección química, gafas

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

protectoras y respiradores, y que estén capacitados en seguridad química. Se deben instalar señales de advertencia y dispositivos de lavado de emergencia en el área de almacenamiento de productos químicos para evitar el contacto accidental. El líquido residual debe neutralizarse y precipitarse, y la composición del líquido residual se prueba junto con el método de valoración química en el Capítulo 8 para garantizar que se cumplan los estándares de descarga. El desafío técnico es mejorar la seguridad del uso de productos químicos, optimizar la estanqueidad de los equipos y la eficiencia del tratamiento de gases de escape y líquidos, al tiempo que se reduce el contacto manual a través de sistemas automatizados.

### 10.3 Reciclaje y reutilización de residuos de alambre de molibdeno

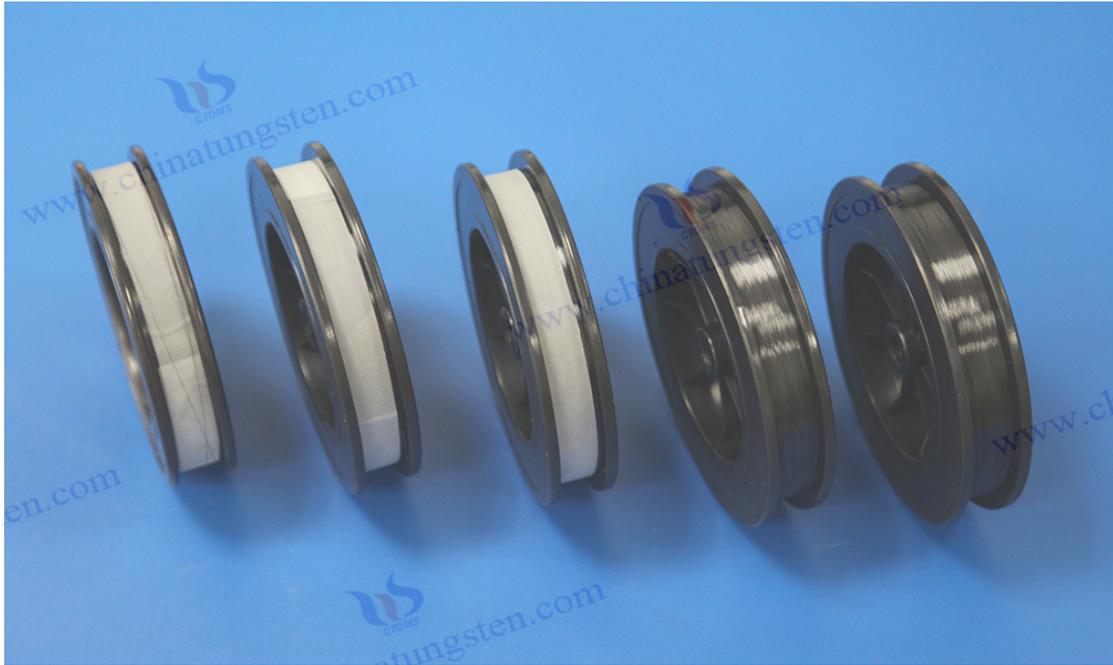
El reciclaje y la reutilización de los residuos de alambre de molibdeno reducen el desperdicio de recursos a través de procesos eficientes y promueven una economía circular. El proceso de reciclaje debe combinarse con los métodos de identificación del Capítulo 8 (como la prueba de combustión, la prueba de ácido nítrico concentrado) para garantizar la calidad de los desechos y, al mismo tiempo, adoptar tecnología de protección ambiental para reducir la contaminación secundaria y cumplir con los requisitos del desarrollo sostenible.

#### 10.3.1 Proceso de reciclaje

El proceso de reciclaje de alambre de molibdeno residual incluye recolección, clasificación, purificación y reprocesamiento, y es adecuado para el corte de alambre, la fuente de luz eléctrica y el alambre de desecho de hornos de alta temperatura. En la etapa de recolección, el alambre de molibdeno residual se separa de otra chatarra metálica (como alambre de acero y alambre de tungsteno) mediante un dispositivo de clasificación, y el alambre de molibdeno no magnético se distingue por la prueba magnética en el Capítulo 8, las características de oxidación se verifican mediante la prueba de combustión y la resistencia a la corrosión se confirma mediante la prueba de ácido nítrico concentrado. El alambre de molibdeno residual clasificado se limpia por ultrasonidos para eliminar la capa superficial de aceite y óxido para garantizar la eficiencia de la purificación. En la etapa de purificación, el alambre de molibdeno residual se disuelve en una solución de molibdato mediante disolución química o proceso de electrólisis, y luego se convierte en polvo de molibdeno de alta pureza por electrólisis o reducción.

En la etapa de reprocesamiento, el polvo de molibdeno se prensa en blanco a través de un proceso de pulvimetalurgia, y luego se fabrica un nuevo alambre de molibdeno por estirado y recocido. Las técnicas de detección (por ejemplo, ICP-MS, observación microscópica) se utilizan para verificar la composición química y la microestructura del polvo de molibdeno recuperado para garantizar que cumpla con el estándar GB/T 3462. El equipo de reciclaje debe estar equipado con sistemas de filtración y tratamiento de líquidos residuales de alta eficiencia para evitar la contaminación secundaria. El desafío técnico es mejorar la eficiencia del reciclaje y la calidad del producto, optimizar los parámetros de electrólisis y los procesos de prueba, y desarrollar equipos de reciclaje automatizados para respaldar la producción a gran escala.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD Alambre de molibdeno negro

## Apéndice

### A. Glosario

**Alambre de molibdeno:** Un material de alambre fino hecho de molibdeno o aleaciones de molibdeno.

**Alambre de molibdeno puro:** Alambre de molibdeno hecho de molibdeno de alta pureza, generalmente con una pureza del  $\geq 99.95\%$ .

**Alambre de lantano y molibdeno:** Alambre de molibdeno dopado con lantano de tierras raras, caracterizado por una alta temperatura de recristalización.

**Alambre de itrio y molibdeno:** Alambre de molibdeno dopado con itrio, conocido por su excelente resistencia a la tracción y tenacidad.

**Alambre de aleación de molibdeno Si-Al-K:** Alambre de aleación de molibdeno que contiene silicio, aluminio, potasio, etc., utilizado principalmente en la industria de la iluminación.

**Alambre de molibdeno-renio:** Un alambre de aleación de molibdeno y renio, utilizado en ambientes corrosivos y de alta temperatura.

**Alambre de Molibdeno Negro:** Alambre de Molibdeno que no ha sido sometido a limpieza alcalina, con una superficie de color gris oscuro.

**Alambre de Molibdeno Blanco:** Alambre de Molibdeno que ha sido limpiado alcalinamente, presentando una superficie de color blanco plateado.

**Corte de alambre:** Una técnica de mecanizado que utiliza alambre de molibdeno como alambre de electrodo para el corte de metal mediante mecanizado por descarga eléctrica (EDM).

**Pulverización térmica:** Un proceso en el que el alambre de molibdeno fundido se rocía sobre una superficie de sustrato para mejorar la resistencia al desgaste.

**Pulvimetalurgia:** Un proceso que produce palanquillas de molibdeno mediante la compactación y sinterización del polvo de molibdeno.

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

**Trefilado:** Método de procesamiento en el que las palanquillas de molibdeno se estiran en alambre fino.

**Recocido:** Un proceso de tratamiento térmico que implica calentamiento y enfriamiento para mejorar las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno.

**Pruebas de corrientes de Foucault:** Un método de prueba no destructivo utilizado para detectar defectos superficiales en el alambre de molibdeno.

**Resistencia a la tracción:** El alambre de molibdeno de máxima tensión puede soportar mientras se estira.

**Temperatura de recristalización:** La temperatura a la que se restaura la estructura cristalina del alambre de molibdeno durante la exposición a alta temperatura.

**Conductividad eléctrica:** La capacidad del alambre de molibdeno para conducir la corriente eléctrica.

**Conductividad térmica:** La capacidad del alambre de molibdeno para conducir el calor.

**Resistencia a la corrosión:** La estabilidad del alambre de molibdeno en ambientes corrosivos.

**Estabilidad a alta temperatura:** La capacidad del alambre de molibdeno para mantener el rendimiento en condiciones de alta temperatura.

#### A. Referencias

- [1] Chinatungsten Online, Producción y aplicación de alambre de molibdeno, [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [2] Cuenta oficial de WeChat en línea de Chinatungsten, progreso técnico y tendencias del mercado de alambre de molibdeno, 2024
- [3] Asociación de la Industria del Tungsteno de China (CTIA), Estándares de la industria e informe técnico sobre alambre de molibdeno, [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [4] Revista de Ciencia de los Materiales, Alambres de aleación de molibdeno: propiedades y aplicaciones, 2022
- [5] Ciencia e ingeniería de materiales: A, Avances en aleaciones de molibdeno-renio, 2021
- [6] Revista Internacional de Metales Refractarios y Materiales Duros, Alambre de molibdeno ultrafino para microelectrónica, 2020
- [7] Administración de Normalización de China, GB/T 4182-2003 Alambre de molibdeno
- [8] Administración de normalización de China, GB/T 3462-2007 Varillas y losas de molibdeno
- [9] ASTM International, Especificación estándar ASTM B387 para barras, varillas y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno, 2023
- [10] Organización Internacional de Normalización, ISO 24361 Molibdeno y aleaciones de molibdeno, 2020
- [11] Comité Técnico Nacional para la Normalización de Metales No Ferrosos (TC243), YS/T 369 Métodos de análisis químico para alambre de molibdeno

#### Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal