

Enciclopedia de alambre de molibdeno para iluminación

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 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 for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Directorio

Capítulo 1 Introducción

- 1.1 Definición y descripción general del alambre de molibdeno
 - 1.1.1 Composición química y propiedades físicas del alambre de molibdeno
 - 1.1.2 La función principal del alambre de molibdeno en el campo de la iluminación
 - 1.1.3 Comparación del alambre de molibdeno con otros materiales metálicos
- 1.2 Historia y desarrollo del alambre de molibdeno
 - 1.2.1 Descubrimiento y aplicación industrial temprana del molibdeno
 - 1.2.2 La evolución del alambre de molibdeno en la tecnología de iluminación
 - 1.2.3 Avances e hitos tecnológicos clave
- 1.3 La importancia del alambre de molibdeno en la industria moderna de la iluminación
 - 1.3.1 Comparación de rendimiento entre el alambre de molibdeno y el alambre de tungsteno tradicional
 - 1.3.2 La posición estratégica del alambre de molibdeno en la iluminación de alta eficiencia
 - 1.3.3 El papel del alambre de molibdeno en las lámparas de bajo consumo
- 1.4 Estado de investigación y aplicación del alambre de molibdeno
 - 1.4.1 Progreso de la investigación de la tecnología de alambre de molibdeno en el país y en el extranjero
 - 1.4.2 Tamaño del mercado global y distribución de aplicaciones
 - 1.4.3 Cuellos de botella técnicos y desafíos futuros

Capítulo 2 Clasificación del alambre de molibdeno para iluminación

- 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 hilos de molibdeno dopado
- 2.2 Clasificación por uso
 - 2.2.1 Alambre de molibdeno para lámparas incandescentes
 - 2.2.2 Alambre de molibdeno para lámparas halógenas
 - 2.2.3 Alambre de molibdeno para lámparas fluorescentes y lámparas de descarga de gas
 - 2.2.4 Alambre de molibdeno para lámparas especiales
- 2.3 Clasificación por especificación
 - 2.3.1 Rango de diámetros y tolerancia
 - 2.3.2 Tipo de tratamiento superficial
 - 2.3.3 Forma de cable

Capítulo 3 Características del alambre de molibdeno para iluminación

- 3.1 Características físicas del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.1.1 Densidad y punto de fusión del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.1.2 Coeficiente de expansión térmica y dependencia de la temperatura del alambre de molibdeno para iluminación

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 3.1.3 Conductividad térmica y análisis de conductividad del alambre de molibdeno para iluminación
- 3.2 Características químicas del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.2.1 Resistencia a la oxidación y estabilidad a alta temperatura del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.2.2 Resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.2.3 Interacción entre el alambre de molibdeno para iluminación y el gas inerte y el entorno de vacío
- 3.3 Características mecánicas del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.3.1 Resistencia a la tracción a alta temperatura y propiedades de fluencia del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.3.2 Ductilidad y tenacidad del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.3.3 Resistencia a la fatiga y resistencia a la fractura del alambre de molibdeno para iluminación
- 3.4 Características eléctricas del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.4.1 Resistividad y coeficiente de temperatura del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.4.2 Capacidad de carga de corriente del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.4.3 Estabilidad del arco del alambre de molibdeno para iluminación
- 3.5 Propiedades ópticas del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.5.1 Acabado superficial y reflectividad del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.5.2 Características de radiación a alta temperatura y análisis espectral del alambre de molibdeno para iluminación
 - 3.5.3 Efecto de la oxidación superficial del alambre de molibdeno para iluminación en las propiedades ópticas
- 3.6 Alambre de molibdeno para iluminación MSDS de CTIA GROUP LTD

Capítulo 4 Tecnología de preparación y producción de alambre de molibdeno para iluminación

- 4.1 Selección de materias primas y pretratamiento de alambre de molibdeno para iluminación
 - 4.1.1 Requisitos de pureza del polvo de molibdeno y control del tamaño de partícula
 - 4.1.2 Selección y proporción de materiales dopantes (lantano, renio, etc.)
 - 4.1.3 Pretratamiento de la materia prima (limpieza, cribado, mezcla)
- 4.2 Fundición y formación de alambre de molibdeno para iluminación
 - 4.2.1 Proceso de pulvimetalurgia
 - 4.2.2 Tecnología de sinterización al vacío y sinterización a alta temperatura
 - 4.2.3 Procesos de prensado en caliente, forja y laminación
- 4.3 Proceso de trefilado del alambre de molibdeno para iluminación
 - 4.3.1 Embutición gruesa, embutición fina y embutición ultrafina
 - 4.3.2 Selección de lubricantes y optimización del diseño de moldes
 - 4.3.3 Procesos de recocido intermedio y recocido final
- 4.4 Tecnología de tratamiento de superficie de alambre de molibdeno para iluminación
 - 4.4.1 Limpieza química y electropulido
 - 4.4.2 Diferencias de proceso entre el alambre de molibdeno negro y el alambre de molibdeno limpio
 - 4.4.3 Tecnologías de recubrimiento de superficies (por ejemplo, recubrimientos antioxidantes)
- 4.5 Proceso de dopaje del alambre de molibdeno para iluminación

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 4.5.1 Métodos de dopaje de lantano, renio y otros elementos
- 4.5.2 Control de uniformidad de dopaje
- 4.5.3 Mecanismo de dopaje para mejorar el rendimiento a altas temperaturas
- 4.6 Control de calidad y optimización de procesos de alambre de molibdeno para iluminación
- 4.6.1 Monitoreo en línea de los parámetros del proceso
- 4.6.2 Control de defectos (grietas, porosidad, inclusiones)
- 4.6.3 Productividad y optimización de costes

Capítulo 5 Los usos del alambre de molibdeno para la iluminación

- 5.1 Lámparas incandescentes
- 5.1.1 Soporte del filamento y función conductora
- 5.1.2 Estabilidad y vida útil en entornos de alta temperatura
- 5.2 Lámparas halógenas
- 5.2.1 El papel clave del alambre de molibdeno en el ciclo halógeno
- 5.2.2 Resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión química
- 5.3 Lámparas de descarga de gas
- 5.3.1 Alambre de molibdeno para lámparas de descarga de alta intensidad (HID)
- 5.3.2 Materiales de los electrodos de la lámpara fluorescente
- 5.4 Iluminación especial
- 5.4.1 Faros y faros antiniebla
- 5.4.2 Lámparas de proyección, iluminación escénica y luces fotográficas
- 5.4.3 Lámparas ultravioletas, lámparas infrarrojas e iluminación médica
- 5.5 Otras áreas de aplicación
- 5.5.1 Electrónica de vacío (tubos, tubos de rayos X)
- 5.5.2 Alambre de molibdeno para mecanizado por electroerosión (EDM)
- 5.5.3 Elementos calefactores y termopares de hornos de alta temperatura

Capítulo 6 Equipo de producción de alambre de molibdeno para iluminación

- 6.1 Equipo de procesamiento de materia prima de alambre de molibdeno para lámparas
- 6.1.1 Equipos de molienda y cribado de polvo de molibdeno
- 6.1.2 Equipos de mezcla y homogeneización de dopano
- 6.1.3 Equipo de purificación de materias primas
- 6.2 Equipos de fundición y formación de alambre de molibdeno para lámparas
- 6.2.1 Horno de sinterización al vacío y horno de protección atmosférica
- 6.2.2 Prensado en caliente y equipos de forja multidireccional
- 6.2.3 Trenes de laminación de precisión
- 6.3 Equipo de trefilado para alambre de molibdeno para iluminación
- 6.3.1 Máquina de trefilado de varias pasadas y equipo de trefilado continuo
- 6.3.2 Moldes y sistemas de lubricación de alta precisión
- 6.3.3 Horno de recocido y sistema de control de temperatura
- 6.4 Equipo de tratamiento de superficies para alambre de molibdeno para iluminación
- 6.4.1 Equipos de pulido electrolítico y limpieza química
- 6.4.2 Equipo de deposición de recubrimiento superficial

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 6.4.3 Equipo de prueba de calidad de superficie
- 6.5 Equipo de prueba y control de calidad para alambre de molibdeno para iluminación
- 6.5.1 Microscopios (ópticos, electrónicos) y analizadores de superficie
- 6.5.2 Máquinas de ensayos de tracción y durómetros
- 6.5.3 Analizadores de composición (ICP, XRF)
- 6.5.4 Equipo de ensayo de simulación ambiental

Capítulo 7 Normas nacionales y extranjeras para alambre de molibdeno para iluminación

- 7.1 Normas nacionales para el alambre de molibdeno para iluminación
 - 7.1.1 GB/T 3462-2017
 - 7.1.2 GB/T 4191-2015
 - 7.1.3 GB/T 4182-2000
 - 7.1.4 Otras normas nacionales pertinentes
- 7.2 Normas internacionales para el alambre de molibdeno para iluminación
 - 7.2.1 Especificación estándar ASTM B387 para varillas, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno
 - 7.2.2 ISO 22447 Artículos de molibdeno y aleaciones de molibdeno
 - 7.2.3 JIS H 4461
 - 7.2.4 Otras normas ISO
- 7.3 Comparación y conversión entre diferentes estándares de alambre de molibdeno para iluminación
 - 7.3.1 Comparación de parámetros técnicos de normas nacionales y extranjeras
 - 7.3.2 Métodos de conversión estándar
 - 7.3.3 Análisis del reconocimiento mutuo entre las normas internacionales y las normas nacionales
- 7.4 Protección del medio ambiente y regulaciones RoHS del alambre de molibdeno para iluminación
 - 7.4.1 Directiva RoHS (UE 2011/65/UE) Requisitos para materiales de alambre de molibdeno
 - 7.4.2 RoHS de China (Medidas para el control de la contaminación de los productos de información electrónica)
 - 7.4.3 Cumplimiento ambiental en la producción de alambre de molibdeno
 - 7.4.4 Requisitos de fabricación ecológica y desarrollo sostenible
- 7.5 Estándares de la industria y especificaciones empresariales para alambre de molibdeno para iluminación
 - 7.5.1 Estándares de la Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China
 - 7.5.2 Especificaciones internas para la industria de la iluminación

Capítulo 8 Tecnología de detección de alambre de molibdeno para iluminación

- 8.1 Pruebas de composición química del alambre de molibdeno para iluminación
 - 8.1.1 Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF)
 - 8.1.2 Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)
 - 8.1.3 Espectroscopía de absorción atómica (AAS)
- 8.2 Pruebas de propiedades físicas del alambre de molibdeno para iluminación
 - 8.2.1 Medición dimensional y de tolerancia (micrometría láser, microscopía)
 - 8.2.2 Pruebas de densidad y análisis de calidad

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 8.2.3 Ensayos de resistencia a la tracción, ductilidad y dureza
- 8.3 Inspección de la calidad de la superficie del alambre de molibdeno para iluminación
 - 8.3.1 Microscopio óptico y ensayos de rugosidad superficial
 - 8.3.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de energía (EDS)
 - 8.3.3 Tecnología de detección de defectos superficiales
- 8.4 Prueba de rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno para iluminación
 - 8.4.1 Ensayo de resistencia a la oxidación a alta temperatura y estabilidad térmica
 - 8.4.2 Ciclos térmicos y ensayos de resistencia a la fluencia
 - 8.4.3 Ensayo de propiedades mecánicas a alta temperatura
- 8.5 Prueba de rendimiento eléctrico del alambre de molibdeno para iluminación
 - 8.5.1 Ensayos de resistividad y conductividad
 - 8.5.2 Análisis del coeficiente de temperatura y estabilidad del arco
 - 8.5.3 Prueba de rendimiento eléctrico a alta temperatura
- 8.6 Ensayos no destructivos de alambre de molibdeno para iluminación
 - 8.6.1 Tecnología de detección ultrasónica de defectos
 - 8.6.2 Detección de defectos en rayos X y tomografía computarizada
 - 8.6.3 Ensayos de partículas magnéticas y ensayos de corrientes de Foucault

Capítulo 9 La tendencia de desarrollo futuro del alambre de molibdeno para iluminación

- 9.1 Nuevos materiales y tecnologías de dopaje
 - 9.1.1 Exploración de nuevos elementos dopados
 - 9.1.2 Investigación y desarrollo y aplicación de alambre de molibdeno a nanoescala
 - 9.1.3 Materiales compuestos y aleaciones a base de molibdeno
- 9.2 Proceso de producción inteligente y ecológico
 - 9.2.1 Fabricación inteligente y tecnologías de la Industria 4.0
 - 9.2.2 Procesos de producción ecológicos y reciclaje de residuos
 - 9.2.3 Optimización energética y fabricación con bajas emisiones de carbono
- 9.3 Materiales alternativos para el alambre de molibdeno para iluminación
 - 9.3.1 Materiales a base de tungsteno y nuevas aleaciones
 - 9.3.2 Cerámica y materiales a base de carbono
 - 9.3.3 Materiales conductores emergentes de alta temperatura
- 9.4 Expansión del mercado y de la aplicación
 - 9.4.1 Posibles aplicaciones en iluminación LED y láser
 - 9.4.2 Expansión en las industrias aeroespacial y de alta temperatura
 - 9.4.3 Demanda del mercado global y análisis de mercados emergentes

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

1.1.1 Composición química y propiedades físicas del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno es un material metálico alargado con metal de molibdeno como componente principal, el molibdeno (símbolo químico Mo, número atómico 42) es un metal refractario, debido a sus propiedades físicas y químicas únicas es ampliamente utilizado en productos industriales en entornos de alta temperatura. El alambre de molibdeno generalmente se produce en una forma de alta pureza con una pureza extremadamente alta, lo que garantiza su rendimiento constante. Algunos alambres de molibdeno están dopados con oligoelementos como el lantano o el renio para mejorar propiedades específicas y adaptarse a las necesidades de diferentes escenarios de aplicación. La estructura cristalina del molibdeno es cúbica centrada en el cuerpo, lo que le da al alambre de molibdeno una excelente resistencia mecánica y resistencia a la deformación a altas temperaturas, lo que le permite soportar condiciones de funcionamiento extremas.

El alambre de molibdeno tiene un punto de fusión extremadamente alto, que es suficiente para hacer frente a los entornos de alta temperatura en los dispositivos de iluminación. Su alta densidad le da al material propiedades físicas sólidas, mientras que su rendimiento de conductividad térmica y eléctrica es excelente, lo que le da una ventaja en aplicaciones eléctricas. El alambre de molibdeno tiene buena estabilidad química a temperatura ambiente y puede resistir la erosión de ácidos, álcalis y otros productos químicos, pero cuando se expone al aire a altas temperaturas, es fácil reaccionar con el oxígeno para formar óxidos, por lo que la protección del medio ambiente de vacío o gas inerte (como argón o nitrógeno) generalmente se requiere en lámparas y linternas para evitar que las reacciones de oxidación dañen las propiedades del material.

Las características de expansión térmica del alambre de molibdeno son uno de los factores importantes para su aplicación en el campo de la iluminación. Su coeficiente de expansión térmica está muy adaptado a ciertos materiales de vidrio, como el vidrio de borosilicato, lo que hace que el alambre de molibdeno sea una opción ideal en los procesos de sellado de vidrio a metal en la fabricación de luminarias, lo que garantiza la hermeticidad y la estabilidad estructural. Además, las propiedades de la superficie del alambre de molibdeno tienen un impacto significativo en sus propiedades. A través del pulido electrolítico o la limpieza química, la superficie del alambre de molibdeno puede lograr un alto acabado, reduciendo las irregularidades durante la descarga del arco, mejorando así la estabilidad y el rendimiento óptico de la luminaria. Alambre de molibdeno dopado (e.g. alambre de molibdeno y lantano o alambre de molibdeno renio) Al agregar tierras raras u otros elementos, la resistencia a la fluencia y la temperatura de recristalización del material a altas temperaturas mejoran significativamente, lo que lo hace más adecuado para escenarios de aplicación de iluminación exigentes.

1.1.2 La función principal del alambre de molibdeno en el campo de la iluminación

La aplicación del alambre de molibdeno en el campo de la iluminación cubre una variedad de funciones clave, incluido el soporte del filamento, el material del electrodo, los componentes de sellado y el soporte para el ciclo del halógeno, etc., que se detallan a continuación:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Soporte de filamento: En lámparas incandescentes y halógenas, el filamento de molibdeno se usa a menudo como material estructural para soportar el filamento de tungsteno. El filamento de tungsteno es propenso a deformarse o hundirse cuando se trabaja a altas temperaturas, mientras que el filamento de molibdeno, con su excelente resistencia a altas temperaturas y resistencia a la fluencia, puede soportar firmemente el filamento y mantener su geometría, asegurando así la eficiencia luminosa y la vida útil de la lámpara. Esta función de soporte es particularmente importante en entornos de alta temperatura, donde el filamento puede estar cerca del punto de fusión durante largos períodos de tiempo.

Material del electrodo: En las lámparas de descarga de gas (por ejemplo, lámparas de descarga de alta intensidad, lámparas fluorescentes), el alambre de molibdeno actúa como material del electrodo, que es responsable de guiar el arco y transmitir la corriente. Su alta conductividad y resistencia a la corrosión por arco le permiten soportar el impacto de arcos instantáneos de alto voltaje y alta temperatura, manteniendo la integridad de la estructura del electrodo. Por ejemplo, en lámparas de sodio o halogenuros metálicos de alta presión, el electrodo de alambre de molibdeno debe funcionar de manera estable en condiciones extremas para garantizar que la luminaria esté encendida y continúe emitiendo luz.

Componentes de sellado: El alambre de molibdeno coincide con el coeficiente de expansión térmica del vidrio, lo que lo convierte en el material de elección para el sellado de vidrio a metal en la fabricación de luminarias. Los componentes de sellado deben garantizar la hermeticidad en el interior de la luminaria y evitar fugas de gas inerte o infiltraciones de aire exterior, protegiendo así el medio ambiente dentro de la lámpara y prolongando la vida útil. La estabilidad química del alambre de molibdeno le permite resistir la corrosión en el entorno de gas a alta temperatura dentro de la lámpara, lo que garantiza la confiabilidad a largo plazo de la pieza de sellado.

Asistencia al ciclo del halógeno: En las lámparas halógenas, los filamentos de molibdeno participan en el proceso del ciclo del halógeno junto con los gases halógenos (como el yodo o el bromo) en la lámpara. El ciclo halógeno deposita el tungsteno evaporado de nuevo en el filamento a través de una reacción química, lo que prolonga significativamente la vida útil del filamento y aumenta la eficiencia luminosa. La resistencia química del alambre de molibdeno garantiza que no sea atacado en entornos halógenos, manteniendo así la estabilidad del proceso cíclico y respaldando el alto rendimiento de las lámparas halógenas.

La versatilidad del alambre de molibdeno lo convierte en un papel indispensable tanto en la iluminación tradicional (por ejemplo, lámparas incandescentes, lámparas halógenas) como en la iluminación especializada (por ejemplo, lámparas automotrices, lámparas de escenario, lámparas médicas). Su potencial en las tecnologías de iluminación emergentes, como las lámparas de descarga de alta potencia, también se está convirtiendo en un pilar importante de la industria de la iluminación moderna.

1.1.3 Comparación del alambre de molibdeno con otros materiales metálicos

Las ventajas únicas del alambre de molibdeno en la iluminación se pueden demostrar mediante una

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

comparación detallada con materiales metálicos comúnmente utilizados como el tungsteno, el cobre, el níquel y el platino:

Contraste con el tungsteno: El tungsteno es el material elegido para los filamentos incandescentes debido a su punto de fusión extremadamente alto, lo que lo hace adecuado para su uso directo como elemento emisor de luz. La eficiencia luminosa del tungsteno a alta temperatura es mejor que la del molibdeno, pero su coeficiente de expansión térmica es ligeramente menos compatible con el del vidrio y es fácil de recristalizar a alta temperatura, lo que resulta en la fragilización del material. Por el contrario, el alambre de molibdeno tiene una mejor resistencia a la fluencia y estabilidad estructural a altas temperaturas, lo que lo hace particularmente adecuado como soporte de filamento o material de electrodo. Además, el costo de la materia prima y la dificultad de procesamiento del molibdeno son menores que el tungsteno, lo que lo hace más económico y ampliamente utilizado en escenarios que requieren estabilidad a alta temperatura y funciones de sellado.

Contraste con el cobre: El cobre tiene una conductividad eléctrica extremadamente alta y buena ductilidad, pero su bajo punto de fusión lo hace incapaz de soportar las altas temperaturas que se encuentran en los dispositivos de iluminación. Además, el coeficiente de expansión térmica del cobre es bastante diferente al del vidrio, lo que lo hace inadecuado para el sellado de vidrio a metal. La estabilidad a altas temperaturas del alambre de molibdeno y su compatibilidad con el vidrio lo hacen muy superior al cobre en la fabricación de luminarias, especialmente en aplicaciones que requieren resistencia a altas temperaturas y hermeticidad.

Comparación con el níquel: El níquel se utiliza como material de electrodo en algunas lámparas de baja potencia debido a su resistencia a la corrosión y procesabilidad. Sin embargo, el níquel tiene un punto de fusión bajo y una resistencia insuficiente a altas temperaturas para cumplir con los exigentes requisitos de las lámparas halógenas o de descarga de alta intensidad. Las excelentes propiedades del alambre de molibdeno en arcos de alta temperatura y entornos químicamente corrosivos lo convierten en un material más adecuado para aplicaciones de iluminación de alto rendimiento.

Contraste con el platino: El platino se usa ocasionalmente en lámparas especiales de alta gama debido a su alta estabilidad química y resistencia a la oxidación. Sin embargo, el platino tiene un punto de fusión más bajo que el molibdeno y su costo es extremadamente alto, lo que limita su aplicación a gran escala en la industria. El alambre de molibdeno ofrece un buen equilibrio entre rendimiento y costo, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones de iluminación y alta temperatura.

En resumen, el alambre de molibdeno ocupa una posición única en el campo de la iluminación debido a su combinación de rendimiento a alta temperatura, capacidad de sellado, estabilidad química y rentabilidad, especialmente en aplicaciones que requieren estabilidad a alta temperatura y conexión herméticamente sellada.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

1.2 Historia y desarrollo del alambre de molibdeno

1.2.1 Descubrimiento y aplicación industrial temprana del molibdeno

El descubrimiento del molibdeno se remonta a finales del siglo XVIII. En 1778, el químico sueco Carl Wilhelm Scherer aisló el ácido de molibdeno de la molibdenita mediante experimentos químicos, sentando las bases para la investigación del molibdeno. En 1781, Peter Jacob Hiyem preparó con éxito el metal de molibdeno mediante la reducción del ácido de molibdeno, marcando el descubrimiento oficial del molibdeno. A finales del siglo XIX, con el avance de la tecnología metalúrgica, el molibdeno comenzó a entrar en el campo industrial, inicialmente utilizado principalmente en la fabricación de aleaciones de acero para mejorar la resistencia, la resistencia al calor y la resistencia a la corrosión del acero. A principios del siglo XX, las propiedades refractarias del molibdeno se reconocieron gradualmente, y su alto punto de fusión y resistencia a alta temperatura llevaron a su aplicación en industrias de alta temperatura, como elementos calefactores de hornos eléctricos y equipos de vacío.

En el campo de la iluminación, la aplicación del molibdeno comenzó con el desarrollo de las lámparas incandescentes a finales del siglo XIX. Las primeras lámparas incandescentes usaban filamento de carbono o filamento de platino como filamento, pero el filamento de carbono tenía una vida corta y el costo del filamento de platino era alto, lo que dificultaba satisfacer las necesidades de la producción a gran escala. El molibdeno se ha probado para el soporte de filamentos y materiales de electrodos debido a su alto punto de fusión y buenas propiedades mecánicas, especialmente en entornos de vacío o gas inerte. A principios del siglo XX, el alambre de molibdeno comenzó a usarse en las partes de sellado de las lámparas incandescentes, porque coincidió con la expansión térmica del vidrio mejor que otros metales y mejoró significativamente la hermeticidad y confiabilidad de las lámparas.

1.2.2 La evolución del alambre de molibdeno en la tecnología de iluminación

La aplicación del alambre de molibdeno en la tecnología de iluminación ha pasado por varias etapas de evolución con el desarrollo de la tecnología de luminarias:

La era de las lámparas incandescentes (finales del siglo XIX y principios del XX): La invención de las lámparas incandescentes impulsó la aplicación temprana del alambre de molibdeno. Cuando Thomas Edison y otros desarrollaron lámparas incandescentes, se enfrentaron al problema de seleccionar el soporte del filamento y los materiales de sellado. El alambre de molibdeno se utilizó para soportar filamentos de tungsteno y formar uniones herméticamente selladas debido a su resistencia a altas temperaturas y compatibilidad con el vidrio. En la década de 1900, el proceso de trefilado del alambre de molibdeno maduró gradualmente, produciendo alambre de molibdeno más fino y uniforme, que satisfizo las necesidades de fabricación de precisión de las lámparas incandescentes.

El auge de las lámparas halógenas (mediados del siglo XX): En la década de 1950, la invención de las lámparas halógenas planteó mayores requisitos para el alambre de molibdeno. Las lámparas halógenas funcionan a temperaturas extremadamente altas y están llenas de gases halógenos químicamente activos. El alambre de molibdeno es una opción ideal para electrodos y materiales de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

soporte debido a su resistencia a altas temperaturas y productos químicos. El alambre de molibdeno dopado (por ejemplo, alambre de molibdeno y lantano) se desarrolló durante este período para mejorar aún más el rendimiento a altas temperaturas.

Lámparas de descarga de gas e iluminación especial (finales del siglo XX): Con la popularidad de las lámparas de descarga de alta intensidad (HID), las lámparas fluorescentes y la iluminación especializada (por ejemplo, lámparas automotrices, lámparas de proyección), la gama de aplicaciones del alambre de molibdeno se ha ampliado aún más. Su estabilidad en entornos de descarga de arco y la fiabilidad de su sellado al vidrio lo convierten en el material elegido para los electrodos de las lámparas de descarga de gas y los componentes de sellado.

Tecnología de iluminación moderna (siglo XXI): Aunque la iluminación LED está reemplazando gradualmente a las luminarias tradicionales, el alambre de molibdeno sigue siendo indispensable en el mercado de valores de iluminación especializada de alta potencia (por ejemplo, luces de escenario, lámparas médicas) y luminarias tradicionales. Además, se ha explorado más a fondo el potencial de aplicación del alambre de molibdeno en dispositivos electrónicos de vacío, componentes aeroespaciales de alta temperatura y otros campos, mostrando su adaptabilidad a campo cruzado.

1.2.3 Principales avances e hitos tecnológicos

La amplia aplicación del alambre de molibdeno en el campo de la iluminación se debe a los siguientes avances tecnológicos clave:

Madurez de la tecnología pulvimetalúrgica: A principios del siglo XX, el progreso de la tecnología pulvimetalúrgica hizo posible la producción de alambre de molibdeno de alta pureza a gran escala. Al prensar, sinterizar y forjar el polvo de molibdeno en una pieza en bruto, proporciona una materia prima de alta calidad para el proceso de estirado posterior.

Mejora del proceso de trefilado: En la década de 1920, la optimización de la tecnología de trefilado de múltiples pasadas y el diseño de troqueles condujo a una reducción significativa en el diámetro del alambre de molibdeno, que podía producir filamentos de tamaño micrométrico para satisfacer las necesidades de las lámparas de precisión. La introducción del proceso de recocido mejora la ductilidad y la tenacidad del alambre de molibdeno y reduce la tasa de fractura durante el procesamiento.

Desarrollo de la tecnología de dopaje: En la década de 1950, la resistencia a la fluencia a alta temperatura y la temperatura de recristalización del alambre de molibdeno mejoraron significativamente mediante elementos dopantes como el óxido de lantano o el renio. Por ejemplo, el alambre de lantano y molibdeno tiene una temperatura de recristalización de cientos de grados centígrados más alta que el alambre de molibdeno puro, lo que permite su uso en condiciones más exigentes.

Avances en la tecnología de tratamiento de superficies: En la década de 1980, la aplicación del pulido electrolítico y la tecnología de limpieza química mejoró significativamente el acabado

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

superficial del alambre de molibdeno, redujo la falta de homogeneidad en la descarga del arco y extendió la vida útil de las luminarias.

La introducción de la producción automatizada: A principios del siglo XXI, la amplia aplicación de líneas de producción automatizadas ha mejorado la consistencia y la eficiencia de la producción de alambre de molibdeno, ha reducido los costos de producción y ha mejorado aún más la competitividad del alambre de molibdeno en el mercado global.

Estos avances tecnológicos no solo promueven la aplicación del alambre de molibdeno en el campo de la iluminación, sino que también sientan las bases para su expansión en otros campos industriales de alta temperatura.

1.3 La importancia del alambre de molibdeno en la industria moderna de la iluminación

1.3.1 Comparación de rendimiento entre el alambre de molibdeno y el alambre de tungsteno tradicional

El alambre de molibdeno y el alambre de tungsteno son los dos materiales metálicos de alta temperatura más utilizados en la industria de la iluminación. La siguiente es una comparación detallada desde múltiples aspectos:

Rendimiento a altas temperaturas: El punto de fusión del tungsteno es más alto que el del molibdeno, lo que lo hace más adecuado como filamento luminoso para lámparas incandescentes y soporta directamente tareas luminiscentes a alta temperatura. Sin embargo, el molibdeno tiene una mejor resistencia a la fluencia y estabilidad estructural a altas temperaturas, lo que lo hace adecuado como material de soporte o electrodo, especialmente en escenarios donde se requiere la retención de la forma a largo plazo.

Características de expansión térmica: El coeficiente de expansión térmica del molibdeno se combina en gran medida con materiales de sellado como el vidrio de borosilicato, que puede formar un sello hermético confiable. El coeficiente de expansión térmica del tungsteno es ligeramente menos compatible con el vidrio, y a menudo se requieren materiales de transición adicionales para el sellado, lo que aumenta la complejidad de la fabricación.

Estabilidad química: en el entorno de gas halógeno de las lámparas halógenas, la resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno es mejor que la del tungsteno, que puede resistir eficazmente el ataque químico del gas halógeno, apoyar el proceso del ciclo del halógeno y prolongar la vida útil de la lámpara.

Costo y procesabilidad: El molibdeno tiene costos de materia prima y procesamiento más bajos que el tungsteno, y sus procesos de estirado y formación son relativamente simples, lo que lo hace adecuado para la producción a gran escala. El tungsteno es difícil de procesar, especialmente en la producción de alambres ultrafinos, y el rendimiento es bajo.

Propiedades eléctricas: La resistividad del tungsteno y el molibdeno es similar, pero el molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

tiene una mejor estabilidad del arco en las lámparas de descarga de gas y es adecuado como material de electrodo para soportar el impacto del arco instantáneo de alto voltaje y alta temperatura.

En resumen, el alambre de molibdeno y el alambre de tungsteno forman una relación complementaria en los dispositivos de iluminación, el alambre de molibdeno se usa ampliamente en funciones de soporte, electrodo y sellado debido a su excelente rendimiento de sellado, estabilidad química y economía, mientras que el alambre de tungsteno se usa principalmente para filamentos emisores de luz.

1.3.2 La posición estratégica del alambre de molibdeno en la iluminación de alta eficiencia

La iluminación de alta eficiencia (por ejemplo, lámparas halógenas, lámparas de descarga de alta intensidad) presenta requisitos más altos para el rendimiento a altas temperaturas, la estabilidad química y las propiedades eléctricas de los materiales, y el alambre de molibdeno ha demostrado su posición estratégica en los siguientes aspectos:

Un papel clave en las lámparas halógenas: Las lámparas halógenas logran una mayor eficiencia luminosa y una vida útil más larga a través del ciclo del halógeno. Como electrodo y material de soporte, el alambre de molibdeno debe soportar altas temperaturas y el ataque químico del gas halógeno, y su excelente resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas garantiza el funcionamiento estable de la lámpara, proporcionando un soporte clave para la alta eficiencia de la lámpara halógena.

Aplicación de lámparas de descarga de alta intensidad: En lámparas de descarga de alta intensidad, como lámparas de halogenuros metálicos y lámparas de sodio de alta presión, el alambre de molibdeno, como material de electrodo, debe soportar un entorno de arco instantáneo de alto voltaje y temperatura extremadamente alta. Su estabilidad al arco y su resistencia a altas temperaturas lo convierten en un material insustituible, lo que garantiza una rápida puesta en marcha y una luminiscencia continua de la luminaria.

Fiabilidad en la iluminación especializada: En los faros de los automóviles, las lámparas de proyección y la iluminación de escenarios, las luminarias deben funcionar de forma estable en entornos complejos como la vibración y las altas temperaturas. La alta fiabilidad del alambre de molibdeno y la capacidad de sellar con vidrio garantizan la durabilidad y la estabilidad del rendimiento de la luminaria.

Apoye el ahorro de energía y la protección del medio ambiente: las características de alta eficiencia y larga vida útil del alambre de molibdeno respaldan el diseño de lámparas y linternas de ahorro de energía, que cumplen con los requisitos de la industria de iluminación moderna para la eficiencia energética y la protección del medio ambiente. Su proceso de producción y uso también cumple con estrictos estándares ambientales, como la directiva RoHS de la Unión Europea.

La posición estratégica del alambre de molibdeno se refleja en su capacidad para promover el desarrollo de la tecnología de iluminación en la dirección de un alto rendimiento, una larga vida útil y un ahorro de energía, especialmente en la transformación de la iluminación tradicional a una

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

iluminación de alta eficiencia.

1.3.3 El papel del alambre de molibdeno en las lámparas de bajo consumo

Las luminarias de bajo consumo (por ejemplo, lámparas halógenas, lámparas fluorescentes compactas, lámparas de descarga de alta intensidad) son la corriente principal de la iluminación moderna, y el alambre de molibdeno desempeña un papel clave en ella:

Lámparas halógenas: Los filamentos de molibdeno prolongan la vida útil del filamento y reducen el consumo de energía al soportar los ciclos halógenos. La fiabilidad del filamento de molibdeno es clave para lograr esta ventaja debido a la importante proporción de eficiencia luminosa de las lámparas halógenas en comparación con las lámparas incandescentes convencionales, lo que garantiza un funcionamiento estable de las luminarias en entornos de alta temperatura y ataque químico.

Lámparas fluorescentes compactas: En las lámparas fluorescentes compactas, el alambre de molibdeno actúa como material de electrodo y es responsable de iniciar y mantener la descarga fluorescente. Su alta conductividad y resistencia a la corrosión por arco garantizan una rápida puesta en marcha y una estabilidad a largo plazo de las luminarias, cumpliendo con los requisitos de alta eficiencia en la iluminación energéticamente eficiente.

Lámparas de descarga de alta intensidad: La eficiencia luminosa de las lámparas de descarga de alta intensidad supera con creces la de las lámparas incandescentes tradicionales, y son el representante de la iluminación de alta eficiencia. Como electrodo y material de sellado, el alambre de molibdeno admite el funcionamiento de lámparas en entornos de alta temperatura y alta presión, y mejora significativamente la eficiencia energética.

Características de protección del medio ambiente: La producción y el uso de alambre de molibdeno cumplen con estrictas regulaciones de protección del medio ambiente, no contienen plomo, mercurio y otras sustancias nocivas y cumplen con los requisitos de iluminación verde. Su alta durabilidad también reduce la frecuencia de sustitución de luminarias, reduciendo el consumo de recursos y la generación de residuos.

La aplicación de alambre de molibdeno en lámparas y linternas de bajo consumo promueve la miniaturización, el alto rendimiento y la protección del medio ambiente de lámparas y linternas, y satisface las necesidades de la sociedad moderna para un desarrollo sostenible y bajo en carbono.

1.4 Estado de investigación y aplicación del alambre de molibdeno

1.4.1 Progreso de la investigación de la tecnología de alambre de molibdeno en el país y en el extranjero

A nivel mundial, la investigación sobre la tecnología de alambre de molibdeno se centra principalmente en las siguientes direcciones:

Tecnología de dopaje: las instituciones de investigación nacionales y extranjeras están

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

comprometidas con el desarrollo de nuevos alambres de molibdeno dopados, mediante la adición de elementos de tierras raras (como lantano, cerio, itrio) o metales preciosos (como el renio) para mejorar la resistencia a la fluencia a alta temperatura y la resistencia a la oxidación. Por ejemplo, el alambre de lantano y molibdeno de alto rendimiento desarrollado por el Instituto de Investigación de Metales de la Academia China de Ciencias tiene una temperatura de recristalización significativamente más alta y es adecuado para entornos de alta temperatura más exigentes. La investigación en Europa y Estados Unidos se ha centrado en el desarrollo de aleaciones de molibdeno-renio para mejorar la ductilidad y la resistencia a la oxidación.

Optimización del proceso de producción: Las empresas de Alemania y Austria han mejorado significativamente la calidad de la superficie y la consistencia de la producción del alambre de molibdeno mediante la introducción de tecnología de fabricación inteligente y equipos de trefilado de precisión. Las empresas chinas han logrado avances en los procesos de pulvimetalurgia y trefilado, optimizando la eficiencia de la producción y reduciendo los costos.

Alambre de molibdeno a nanoescala: Con el auge de la nanotecnología, algunas instituciones de investigación han explorado la preparación de alambre de molibdeno a nanoescala para dispositivos electrónicos de alta precisión y nuevas tecnologías de iluminación. Se espera que la resistencia y la conductividad del alambre de nano-molibdeno mejoren aún más, brindando la posibilidad de una tecnología de iluminación de próxima generación.

Fabricación ecológica: La investigación en Europa y Japón se centra en tecnologías de producción respetuosas con el medio ambiente, como la reducción del consumo de energía y las emisiones de escape en el proceso de sinterización. China también está promoviendo la producción de alambre de molibdeno con bajas emisiones de carbono, desarrollando tecnología de reciclaje de desechos y procesos ecológicos, y respondiendo a la tendencia mundial de protección del medio ambiente.

1.4.2 Tamaño del mercado global y distribución de aplicaciones

Según el análisis de la industria, el mercado mundial de alambre de molibdeno ha mantenido un crecimiento constante en los últimos años, y el campo de la iluminación es uno de sus principales escenarios de aplicación. El crecimiento del tamaño del mercado está impulsado principalmente por los siguientes factores:

Distribución regional: China es el mayor productor mundial de alambre de molibdeno, con ricos recursos de mineral de molibdeno y una tecnología de procesamiento madura, que representa una parte significativa de la producción mundial. Europa (Alemania, Austria) y Estados Unidos tienen ventajas tecnológicas en la producción de alambres de molibdeno dopado de alta gama, centrándose en productos de alto valor añadido.

Distribución de aplicaciones: En el campo de la iluminación, las lámparas halógenas y las lámparas de descarga de alta intensidad son los principales escenarios de aplicación del alambre de molibdeno, ocupando una gran cuota de mercado de alambre de molibdeno para iluminación. Otras aplicaciones incluyen iluminación especializada (por ejemplo, luces de automóviles, luces médicas) y electrónica

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de vacío (por ejemplo, tubos de rayos X).

Impulsores del mercado: La creciente demanda de iluminación de alta eficiencia, la rápida expansión del mercado de iluminación automotriz y el uso de iluminación especializada en los sectores aeroespacial y médico están impulsando el crecimiento continuo del mercado de alambre de molibdeno. El énfasis mundial en la iluminación ecológica y de bajo consumo también ha promovido aún más la aplicación del alambre de molibdeno.

1.4.3 Cuellos de botella técnicos y retos futuros

Aunque el alambre de molibdeno se usa ampliamente en el campo de la iluminación, todavía enfrenta los siguientes cuellos de botella y desafíos técnicos:

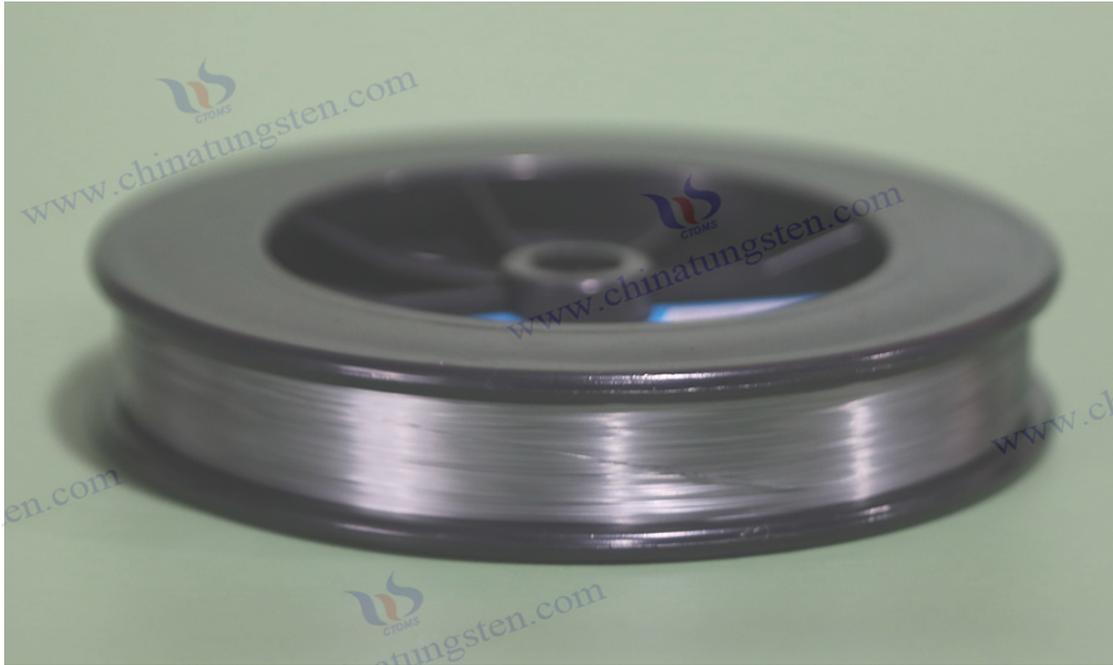
Problema de oxidación a alta temperatura: El alambre de molibdeno se oxida fácilmente en el aire a alta temperatura, lo que limita su aplicación en entornos sin vacío o con gas no inerte. El desarrollo de recubrimientos antioxidantes o nuevos materiales dopados es el foco de futuras investigaciones para ampliar aún más sus escenarios de aplicación.

Dificultad en la producción de alambre de molibdeno ultrafino: La producción de alambre de molibdeno ultrafino (diámetro inferior a 0,02 mm) requiere una precisión de proceso extremadamente alta y un bajo rendimiento, lo que resulta en un aumento en el costo. Mejorar la consistencia de la producción y reducir los costos son desafíos importantes para la industria.

Competencia en iluminación LED: La popularidad de las lámparas LED ha reducido significativamente la demanda de lámparas tradicionales (como lámparas incandescentes y lámparas halógenas), y la cuota de mercado del alambre de molibdeno en el campo de la iluminación se ha visto afectada hasta cierto punto. El desarrollo de aplicaciones de alambre de molibdeno en componentes de alta temperatura relacionados con LED o campos emergentes es clave para enfrentar este desafío.

Protección del medio ambiente y sostenibilidad: El consumo de energía y la eliminación de residuos en la producción de alambre de molibdeno están sujetos a normativas medioambientales cada vez más estrictas (por ejemplo, las directivas RoHS y REACH en la Unión Europea). El desarrollo de la tecnología de fabricación ecológica y el sistema de reciclaje de residuos se ha convertido en una importante dirección de desarrollo de la industria.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Capítulo 2 Clasificación del alambre de molibdeno para iluminación

Como material clave en la industria de la iluminación, el alambre de molibdeno para iluminación tiene propiedades y escenarios de aplicación diversificados debido a las diferentes composiciones químicas, usos y especificaciones físicas. De acuerdo con la composición química, el alambre de molibdeno se puede dividir en alambre de molibdeno puro, alambre de molibdeno y lantano, alambre de molibdeno renio y otro alambre de molibdeno dopado; Según la aplicación, se divide en lámpara incandescente, lámpara halógena, lámpara fluorescente y lámpara de descarga de gas y alambre de molibdeno para lámpara especial; De acuerdo con las especificaciones, se divide en diferentes rangos de diámetro, tipos de tratamiento superficial y formas de alambre. Este capítulo proporcionará un análisis exhaustivo y detallado de las características, los procesos de preparación, los escenarios de aplicación, los desafíos técnicos y el estado del mercado de cada clasificación, combinado con la investigación global y las prácticas industriales.

2.1 Clasificación por composición química

La composición química del alambre de molibdeno es el factor central que determina sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y eléctricas. Al dopar diferentes elementos en una matriz de molibdeno o mantener una alta pureza, el alambre de molibdeno puede satisfacer diversas necesidades, desde lámparas incandescentes de bajo costo hasta lámparas especiales de alto rendimiento. La siguiente es una introducción detallada a las características, el proceso de producción y la aplicación del alambre de molibdeno puro, el alambre de molibdeno y lantano, el alambre de molibdeno renio y otros alambres de molibdeno dopados.

2.1.1 Alambre de molibdeno puro

El alambre de molibdeno puro se refiere al alambre de molibdeno con un contenido de molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

del \geq del 99,95%, sin agregar ningún elemento dopante, y es el tipo de alambre de molibdeno más básico y ampliamente utilizado para iluminación. Su alta pureza y sus excelentes propiedades fisicoquímicas lo convierten en el material de elección para los dispositivos de iluminación convencionales.

Composición química y pureza: El alambre de molibdeno puro se basa en molibdeno de alta pureza, y el contenido total de impurezas (como hierro, níquel, carbono, oxígeno, silicio, etc.) generalmente se controla por debajo del 0.05% y puede ser tan bajo como 0.01% en algunas aplicaciones de alta demanda. La alta pureza se logra mediante la reducción de hidrógeno del molibdato de amonio (AMT) o el trióxido de molibdeno (MoO_3) para preparar el polvo de molibdeno. El control estricto de las impurezas en la conductividad del alambre de molibdeno (resistividad de aproximadamente $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) y la resistencia a la corrosión son cruciales. Por ejemplo, los niveles de oxígeno demasiado altos pueden provocar una oxidación acelerada a altas temperaturas, lo que da lugar a MoO_3 volátil y afecta a la vida útil de la luminaria.

Propiedades físicas: El alambre de molibdeno puro tiene un alto punto de fusión ($2623 \text{ }^\circ\text{C}$), alta densidad ($10,2 \text{ g/cm}^3$) y bajo coeficiente de expansión térmica ($4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$). Su conductividad térmica ($138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) es mejor que la del tungsteno ($174 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que lo hace adecuado para la conductividad térmica y eléctrica. La estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC) del alambre de molibdeno le da una excelente resistencia mecánica, pero es propenso a la recristalización a altas temperaturas ($>1000 \text{ }^\circ\text{C}$), lo que resulta en el crecimiento del grano y la fragilización.

Propiedades mecánicas: a temperatura ambiente, la resistencia a la tracción del alambre de molibdeno puro es de 800-1000 MPa, y el alargamiento a la rotura es de aproximadamente 5% - 10%. A altas temperaturas ($1500 \text{ }^\circ\text{C}$), la resistencia a la tracción cae a 200-300 MPa y la resistencia a la fluencia es débil, lo que limita su aplicación en entornos de temperatura extremadamente alta. La ductilidad del alambre de molibdeno permite que se procese en alambres ultrafinos con diámetros tan bajos como 0,01 mm mediante trefilado de varias pasadas.

Estabilidad química: El alambre de molibdeno puro tiene buena resistencia a la corrosión por ácidos, álcalis y agua a temperatura ambiente, pero se oxidará rápidamente cuando se exponga al aire a alta temperatura ($>600 \text{ }^\circ\text{C}$) para formar MoO_3 . Por lo tanto, el alambre de molibdeno puro para iluminación generalmente se usa en un entorno de vacío o gas inerte (por ejemplo, argón, nitrógeno) para evitar pérdidas por oxidación.

Proceso de preparación:

Preparación de la materia prima: el polvo de molibdeno de alta pureza (tamaño de partícula de 1-5 μm) se prepara reduciendo el molibdato de amonio o el trióxido de molibdeno por hidrógeno. Las impurezas como el oxígeno y el carbono en el polvo deben controlarse estrictamente.

Pulvimetalurgia: El polvo de molibdeno se prensa en una palanquilla mediante prensado isostático en frío (CIP) y se sinteriza ($1800\text{-}2000 \text{ }^\circ\text{C}$) en vacío o atmósfera de hidrógeno para formar una palanquilla densa de molibdeno.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Trabajo en caliente: La pieza en bruto se forja en caliente, laminada en caliente o rotativa para formar varillas de molibdeno con un diámetro reducido a 1-5 mm.

Trefilado: La varilla de molibdeno se estira hasta el diámetro objetivo utilizando un troquel de diamante y un lubricante como la emulsión de grafito mediante múltiples pasadas (10-20 pasadas). El recocido intermedio (800-1200 °C) se realiza durante el proceso de embutición para eliminar el endurecimiento por trabajo.

Tratamiento de la superficie: Dependiendo de los requisitos de la aplicación, la capa de óxido (alambre de molibdeno negro) se puede retener o limpiar, el alambre de molibdeno se puede fabricar mediante decapado y pulido electrolítico.

Escenario de aplicación: El alambre de molibdeno puro se utiliza principalmente para filamentos de soporte de filamentos y electrodos de sellado en lámparas incandescentes de baja potencia (40-100 W), porque está altamente adaptado al coeficiente de expansión térmica del vidrio de borosilicato (diferencia $<0.5 \times 10^{-6} / K$), que puede formar una unión herméticamente sellada confiable. Además, el alambre de molibdeno puro también se utiliza como material de electrodo para lámparas fluorescentes y es responsable de iniciar la descarga. Es rentable y adecuado para la producción a gran escala.

Estado del mercado y de la tecnología: La tecnología de producción de alambre de molibdeno puro ha sido muy madura en el mundo, y China representa más del 60% de la producción mundial.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: Bajo costo (alrededor de \$ 1-2 / kg, según las especificaciones), excelente rendimiento de procesamiento, adecuado para dispositivos de iluminación de bajo costo. El proceso de producción de alambre de molibdeno puro es simple y el rendimiento es alto (>95%).

Limitaciones: La escasa resistencia a la fluencia y a la oxidación a altas temperaturas limita su aplicación en lámparas de descarga de halógeno o gas de alta potencia. En > entorno de 1500 °C, la vida útil del alambre de molibdeno puro suele ser inferior a 1000 horas.

Desafíos técnicos: Mejorar el rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno puro requiere un proceso de recocido optimizado o pasivación superficial para reducir el crecimiento del grano y las pérdidas por oxidación. En el futuro, el desarrollo de recubrimientos antioxidantes de bajo costo puede ser una dirección innovadora.

2.1.2 Alambre de molibdeno y lantano

El alambre de lantano y molibdeno se fabrica dopando óxido de lantano (La_2O_3 , contenido 0.3%-1.0%) en matriz de molibdeno, que se usa ampliamente en dispositivos de iluminación de alta gama debido a su excelente rendimiento a altas temperaturas y resistencia a la fluencia.

Composición química: El alambre de lantano molibdeno se basa en molibdeno de alta pureza ($\geq 99.5\%$) y está dopado con partículas de óxido de lantano (tamaño de partícula 10-100 nm). El óxido de lantano se distribuye en forma de una fase difusa en el límite del grano de molibdeno, lo

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

que inhibe el crecimiento del grano y el deslizamiento de la dislocación a través del efecto de fijación. Las impurezas (por ejemplo, hierro, carbono) deben controlarse por debajo del 0,03% para evitar el deterioro del rendimiento.

Propiedades físicas: El punto de fusión del alambre de lantano y molibdeno es similar al del molibdeno puro (aproximadamente 2620 °C), pero la temperatura de recristalización aumenta significativamente a 1800-2000 °C (1400-1600 °C para el alambre de molibdeno puro). Su coeficiente de expansión térmica ($4,8 \times 10^{-6}/K$) y su conductividad térmica (alrededor de 135 W/m·K) son comparables a los del alambre de molibdeno puro, pero la resistencia a la oxidación mejora ligeramente, ya que las partículas de óxido de lantano pueden ralentizar la difusión del oxígeno.

Propiedades mecánicas: La resistencia a la tracción del alambre de lantano y molibdeno a alta temperatura (2000 °C) es de 300-500 MPa, y la resistencia a la fluencia es 2-3 veces mayor que la del alambre de molibdeno puro. Su alargamiento a la rotura es del 8%-12% a temperatura ambiente, y aún mantiene cierta tenacidad a alta temperatura. El efecto de fijación del óxido de lantano hace que el alambre de lantano de molibdeno sea más resistente a la fatiga durante el ciclo térmico.

Estabilidad química: El alambre de molibdeno y lantano funciona bien en entornos de gases halógenos (como yodo, bromo) y es químicamente más resistente que el alambre de molibdeno puro. En vacío o gases inertes, su resistencia a la oxidación puede soportar una vida útil de la luminaria de > 2000 horas.

Proceso de preparación:

Preparación para el dopaje: Asegurar una distribución uniforme del óxido de lantano mediante dopaje húmedo (mezclando solución de óxido de lantano con polvo de molibdeno) o secado por pulverización. La relación de dopaje debe controlarse con precisión (0,3%-1,0%), demasiado alta puede provocar la fragilización del material.

Pulvimetalurgia: el polvo de molibdeno dopado se prensa en blanco y se sinteriza en una atmósfera de hidrógeno (1900-2100 °C) para formar una estructura de fase difusa uniforme.

Trabajo en caliente y trefilado: La pieza en bruto se forma mediante trefilado de varias pasadas después de la forja en caliente y el laminado en caliente. Se requieren varios recocidos (900-1300 °C) durante el proceso de estirado para mantener la ductilidad. La elección del molde y el lubricante es fundamental para la calidad de la superficie.

Tratamiento de la superficie: Por lo general, se convierte en alambre de molibdeno limpio y la capa de óxido se elimina mediante pulido electrolítico para mejorar la estabilidad del arco y la resistencia a la corrosión.

Escenario de aplicación: El alambre de lantano y molibdeno se usa ampliamente como electrodo y material de soporte para lámparas halógenas y lámparas de descarga de alta intensidad (HID). Por ejemplo, en los faros de los automóviles, el alambre de lantano y molibdeno puede soportar altas temperaturas (>2500 °C) y vibraciones, lo que garantiza una vida útil de la lámpara de más de 2000 horas. Su aplicación de electrodos en lámparas de halogenuros metálicos también mejora significativamente la estabilidad de descarga.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Estado técnico y del mercado: El alambre de lantano y molibdeno representa aproximadamente el 30% del mercado de alambre de molibdeno para lámparas. A través de la introducción de tecnología y la investigación y el desarrollo independientes, China ha realizado la producción a gran escala de alambre de lantano y molibdeno, que se exporta a Europa y América del Norte. El mercado global está creciendo a una tasa anual de alrededor del 5% y está impulsado por la demanda de iluminación automotriz.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: La resistencia a la fluencia y la resistencia a la oxidación a alta temperatura son significativamente mejores que el alambre de molibdeno puro, adecuado para lámparas de alto rendimiento. La vida útil puede alcanzar 2-3 veces la del alambre de molibdeno puro.

Limitaciones: El proceso de dopaje aumenta el costo de producción (alrededor de 3-5 USD/kg) y la distribución uniforme del óxido de lantano impone altas exigencias a los equipos y procesos. El dopaje inadecuado puede dar lugar a la aglomeración de partículas y a una reducción del rendimiento.

Desafíos técnicos: La optimización de la uniformidad del dopaje y la reducción de costos son las principales direcciones. La tecnología de preparación y dispersión de partículas de óxido de lantano a nanoescala es el foco de la investigación y el desarrollo futuros.

2.1.3 Alambre de renio molibdeno

El alambre de renio y molibdeno es un alambre de aleación fabricado mediante dopaje de renio (Re) en una matriz de molibdeno, que tiene ventajas únicas en iluminación especial con su excelente ductilidad y resistencia a la oxidación.

Composición química: el alambre de renio y molibdeno se basa en molibdeno y se dopa con renio metálico para formar una solución sólida. La adición de renio mejora la estructura cristalina del molibdeno y reduce la fragilidad a bajas temperaturas. Las impurezas (como el oxígeno y el nitrógeno) deben controlarse por debajo del 0,02% para garantizar un rendimiento estable.

Propiedades físicas: El punto de fusión del alambre de renio y molibdeno es ligeramente más bajo que el del molibdeno puro (aproximadamente 2600 °C), porque el punto de fusión del renio (3186 °C) es ligeramente más bajo. Su coeficiente de expansión térmica ($4,9 \times 10^{-6}/K$) y conductividad térmica (aproximadamente 130 W/m·K) son similares a los del molibdeno puro, pero la resistencia a la oxidación mejora significativamente y la tasa de oxidación se reduce en aproximadamente un 30% a altas temperaturas.

Propiedades mecánicas: La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno renio a temperatura ambiente es de 900-1200 MPa, y el alargamiento a la rotura es del 15% al 20%, que es mucho mayor que el del alambre de molibdeno puro (5% -10%). A 2000 °C, la resistencia a la tracción es de 300-400 MPa y la resistencia a la fatiga es mejor que la del alambre de lantano y molibdeno, que es adecuado para entornos de ciclos térmicos frecuentes.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Estabilidad química: el alambre de molibdeno renio funciona bien en entornos de vacío y gas halógeno, y su resistencia a la corrosión química es mejor que la del alambre de molibdeno puro y el alambre de lantano y molibdeno. Sus propiedades antioxidantes se deben a la capa protectora de óxido formada por el renio, que ralentiza la volatilización del MoO_3 .

Proceso de preparación:

Preparación para el dopaje: El polvo de renio se mezcla con el polvo de molibdeno mediante mezcla mecánica o coprecipitación química, que debe operarse al vacío o en atmósfera inerte para evitar la oxidación del renio.

Pulvimetalurgia: polvo dopado prensado en blanco y sinterizado bajo hidrógeno o vacío (1900-2100 °C). La temperatura de sinterización debe controlarse con precisión para evitar la volatilización del renio.

Trabajo en caliente y trefilado: La pieza en bruto se forma mediante trefilado de precisión después de la forja en caliente y el laminado en caliente. Se requiere recocido a baja temperatura (700-1000 °C) durante el proceso de trefilado para mantener la tenacidad.

Tratamiento de la superficie: se utiliza principalmente alambre de molibdeno limpio y el acabado de la superficie se mejora mediante pulido electrolítico o limpieza química.

Escenario de aplicación: El alambre de renio y molibdeno se utiliza principalmente para lámparas especiales, como lámparas de proyección, luces de escenario, lámparas ultravioleta médicas y luces de aviación. Su alta ductilidad es adecuada para diseños complejos de formas de electrodos (por ejemplo, electrodos en espiral o curvos), y su resistencia a la oxidación prolonga la vida útil de la luminaria (hasta más de 3000 horas).

Estado del mercado y la tecnología: el alambre de renio y molibdeno representa aproximadamente el 10% del mercado de alambre de molibdeno para lámparas. China ha logrado la producción a pequeña escala a través de la introducción de tecnología en los últimos años, pero la escasez y el alto precio del renio limitan el tamaño del mercado.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: La ductilidad y la resistencia a la oxidación son mejores que el alambre de molibdeno puro y el alambre de lantano de molibdeno, adecuados para formas complejas y entornos extremos. Alta tenacidad y fuerte resistencia a los ciclos térmicos.

Limitaciones: El alto costo del renio hace que el precio del alambre de renio de molibdeno sea aproximadamente 3-5 veces mayor que el del alambre de molibdeno puro, lo que limita la aplicación a gran escala. La relación de dopaje debe controlarse con precisión, ya que una proporción demasiado alta puede provocar el reblandecimiento del material.

Desafíos técnicos: Reducir la cantidad de renio o desarrollar elementos alternativos (por ejemplo, rutenio, osmio) es clave para la optimización de costos. Mejorar la uniformidad del dopaje y la eficiencia de la producción es también el camino a seguir.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

2.1.4 Otros hilos de molibdeno dopados

Además del alambre de molibdeno y lantano y el alambre de molibdeno-renio, otros alambres de molibdeno dopados incluyen alambres de molibdeno dopados con tungsteno, itrio, cerio o alambres dopados compuestos de múltiples elementos, optimizados para aplicaciones específicas de alta gama.

Alambre de tungsteno de molibdeno:

Características: El alambre de molibdeno dopado con tungsteno (W, contenido 1%-10%) combina las propiedades de sellado del molibdeno con el alto punto de fusión del tungsteno (3422 °C). Su resistencia a la tracción puede alcanzar los 600 MPa a 2000 °C, lo que lo hace adecuado para luminarias de alta potencia.

Aplicación: Electrodo y materiales de soporte para lámparas incandescentes de alta potencia y lámparas de halógenos metálicos.

Limitaciones: Mala ductilidad (alargamiento a la rotura <5%), alta dificultad de procesamiento y el costo es aproximadamente 2 veces mayor que el del alambre de molibdeno puro.

Alambre de molibdeno itrio:

Características: dopado con óxido de itrio (Y_2O_3 , contenido 0,5%-2%), temperatura de recristalización de hasta 1900 °C, excelente resistencia a la oxidación y resistencia a la fluencia.

Aplicación: Se utiliza en lámparas especiales aeroespaciales (como luces de navegación) y lámparas infrarrojas de alta temperatura.

Limitaciones: El proceso de dopaje del óxido de itrio es complejo y el rendimiento es bajo (alrededor del 80%).

Alambre de molibdeno y cerio:

Características: Óxido de cerio dopado (CeO_2 , contenido 0,3%-1%), fuerte resistencia a la corrosión por arco, adecuado para entornos de descarga de alta frecuencia.

Aplicación: se utiliza para lámparas ultravioleta y fuentes de luz médica.

Limitaciones: Mayor costo y aplicación limitada en el mercado.

Alambre de molibdeno dopado multielemento:

Características: como el alambre compuesto de molibdeno dopado con lantano, renio e itrio, que combina resistencia a altas temperaturas, ductilidad y resistencia a la oxidación.

Aplicaciones: Se utiliza en entornos extremos, como lámparas de descarga de alta presión y fuentes de luz científicas.

Limitaciones: El proceso de preparación es complejo, el costo es alto y se limita a la producción de lotes pequeños.

Proceso de preparación: similar al alambre de lantano y molibdeno, debe uniformarse mediante dopaje húmedo o secado por pulverización, la temperatura de sinterización es de 1900-2200 °C y se requieren moldes de alta precisión y recocido de múltiples pasadas para el trefilado.

Situación técnica y del mercado: Otro alambre de molibdeno dopado representa el 5% del mercado

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de alambre de molibdeno para lámparas, que es producido principalmente por empresas extranjeras. China ha hecho algunos progresos en el campo del alambre de itrio de molibdeno y el alambre de molibdeno y cerio, pero la tecnología aún necesita ser abriéndose paso.

Ventajas y limitaciones:

Beneficios: Rendimiento optimizado para necesidades específicas de aplicaciones de gama alta.

Limitaciones: alto costo, pequeño tamaño de mercado, tecnología de producción compleja.

Desafíos técnicos: El desarrollo de elementos de dopaje de bajo costo y procesos simplificados son clave. Se espera que la aplicación de la tecnología de dopaje a nanoescala mejore aún más el rendimiento.

2.2 Clasificación por uso

De acuerdo con sus funciones y escenarios de aplicación en diferentes tipos de lámparas, el alambre de molibdeno para iluminación se puede dividir en lámparas incandescentes, lámparas halógenas, lámparas fluorescentes y lámparas de descarga de gas, y alambres de molibdeno para lámparas especiales. Cada aplicación tiene diferentes requisitos de rendimiento para el alambre de molibdeno, que incluyen estabilidad a alta temperatura, resistencia a la corrosión, propiedades eléctricas y procesabilidad.

2.2.1 Alambre de molibdeno para lámparas incandescentes

El alambre de molibdeno para lámparas incandescentes se utiliza principalmente para el soporte de filamentos y el sellado de vidrio a metal, y es la aplicación de alambre de molibdeno más común en la iluminación tradicional.

Función y función: En las lámparas incandescentes, el alambre de molibdeno se utiliza principalmente como cable de soporte para fijar el filamento de tungsteno para evitar que se hunda o se rompa a alta temperatura (2500-3000 °C); Como electrodo de sellado, se introduce una corriente eléctrica en la bombilla y se forma una conexión hermética con el vidrio, asegurando que el vacío o los gases inertes (como argón, nitrógeno) en la lámpara no se filtren.

Requisitos de rendimiento:

Estabilidad a alta temperatura: debe soportar la temperatura de trabajo de más de 2000 °C y la resistencia a la tracción se mantiene a más de 200 MPa a alta temperatura.

Coincidencia de expansión térmica: el coeficiente de expansión térmica debe coincidir en gran medida con el vidrio de borosilicato ($4.3-5.0 \times 10^{-6} / K$), y la diferencia debe ser $< 0.5 \times 10^{-6} / K$.

Conductividad: La resistividad debe ser baja (alrededor de $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) para garantizar la eficiencia de la transmisión de corriente.

Calidad de la superficie: Por lo general, se usa alambre de molibdeno limpio y la rugosidad de la superficie de $Ra < 0.5 \mu m$ se usa para reducir la inestabilidad del arco.

Características de aplicación: Las lámparas incandescentes tienen una baja eficiencia luminosa (10-15 lm/W) y una vida útil de aproximadamente 1000 horas, se utilizan principalmente en

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

iluminación para el hogar, iluminación decorativa (como bombillas retro) y escenas de bajo costo. El alambre de molibdeno debe funcionar en vacío o en un entorno de gas inerte para evitar la oxidación.

Proceso de preparación:

Selección de la materia prima: se utiliza polvo de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) para prepararlo por reducción de hidrógeno.

Conformado y trefilado: Los alambres de molibdeno con un diámetro de 0,1-0,5 mm se fabrican mediante pulvimetalurgia y trefilado de varias pasadas. Se requieren varios recocidos (800-1200 °C) durante el proceso de estirado para mantener la ductilidad.

Tratamiento de superficies: El alambre de molibdeno limpio generalmente se realiza mediante pulido electrolítico o decapado (mezcla de HNO_3 -HF) para garantizar la adhesión al vidrio y la estabilidad del arco.

Estado del mercado: El mercado de lámparas incandescentes se ha reducido debido a la popularidad de la iluminación LED, pero todavía representa alrededor del 10% del mercado mundial de iluminación, y la cantidad de alambre de molibdeno representa aproximadamente el 20% del alambre de molibdeno de la lámpara. Los principales mercados se concentran en países en desarrollo como el sudeste asiático y África, y China es el principal proveedor.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: tecnología madura, bajo costo (alrededor de 1 USD / kg), adecuado para la producción a gran escala. El alambre de molibdeno puro tiene un excelente rendimiento de sellado y un alto rendimiento ($>95\%$).

Limitaciones: Poca resistencia a la fluencia a altas temperaturas, corta vida útil, no apto para lámparas de alta potencia o larga duración.

Desafíos técnicos: Mejorar el rendimiento y la vida útil del alambre de molibdeno a altas temperaturas, y desarrollar recubrimientos antioxidantes de bajo costo para extender la vida útil de las lámparas incandescentes.

2.2.2 Alambre de molibdeno para lámparas halógenas

El alambre de molibdeno para lámparas halógenas es un material clave en aplicaciones de iluminación de alta gama, donde se usa ampliamente para electrodos, soportes y sellos, donde se somete a altas temperaturas y al ataque químico de gases halógenos.

Función y función: En las lámparas halógenas, el alambre de molibdeno se utiliza como electrodo para guiar la corriente e iniciar el arco, como cable de soporte para fijar el filamento de tungsteno y como material de sellado para garantizar la estanqueidad al aire. El ciclo del halógeno implica la reacción de los gases halógenos (por ejemplo, yodo, bromo) con el tungsteno evaporado para depositar el tungsteno de nuevo en el filamento, prolongando su vida útil.

Requisitos de rendimiento:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Rendimiento a alta temperatura: la temperatura de funcionamiento puede alcanzar los 3000 °C y se requiere una resistencia a la tracción > 300 MPa y una excelente resistencia a la fluencia.

Resistencia química: debe resistir el ataque del gas halógeno y la superficie debe ser resistente a las reacciones químicas a alta temperatura.

Estabilidad del arco: el alto acabado superficial ($R_a < 0,3 \mu\text{m}$) y la baja resistividad garantizan un arco uniforme.

Coincidencia de expansión térmica: Combinado con vidrio de cuarzo (coeficiente de expansión térmica $0.5-1.0 \times 10^{-6} / \text{K}$) o vidrio de borosilicato.

Características de aplicación: Las lámparas halógenas tienen una eficiencia luminosa de 20-30 lm / W y una vida útil de 2000-4000 horas, que se utilizan ampliamente en faros de automóviles, iluminación de escenarios e iluminación doméstica de alta gama. El alambre de molibdeno está sujeto a una combinación de altas temperaturas, ciclos térmicos y corrosión química.

Proceso de preparación:

Selección de materias primas: el polvo de molibdeno dopado (como óxido de lantano dopado, contenido 0.3% -1.0%) se utiliza principalmente para mejorar el rendimiento a alta temperatura.

Conformado y trefilado: El alambre de molibdeno con un diámetro de 0,05-0,3 mm se fabrica mediante pulvimetalurgia, forja en caliente y trefilado de varias pasadas. La temperatura de recocido (900-1300 °C) debe controlarse con precisión para optimizar la estructura del grano.

Tratamiento de superficies: el alambre de molibdeno limpio se realiza mediante pulido electrolítico o limpieza química, y algunas aplicaciones de alta gama requieren la deposición de recubrimientos anticorrosivos (como MoSi_2).

Estado del mercado: Las lámparas halógenas representan el 15% del mercado mundial de iluminación, y la cantidad de alambre de molibdeno representa más del 30% del alambre de molibdeno utilizado en las lámparas. La iluminación automotriz es el principal impulsor, con una demanda estable que se espera de 2025 a 2030. China, Europa y Japón son los principales mercados.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: El rendimiento a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión del alambre de lantano y molibdeno satisfacen las necesidades de las lámparas halógenas, con una larga vida útil y un rendimiento estable.

Limitaciones: La oxidación a altas temperaturas aún debe resolverse mediante la protección con gas inerte, y el proceso de dopaje aumenta el costo.

Reto técnico: Desarrollar recubrimientos superficiales resistentes a los halógenos y tecnologías de dopaje de bajo coste para mejorar la vida útil del alambre de molibdeno en entornos extremos.

2.2.3 Alambre de molibdeno para lámparas fluorescentes y lámparas de descarga de gas

El alambre de molibdeno para lámparas fluorescentes y lámparas de descarga de gas (por ejemplo, lámparas de descarga de alta intensidad, HID) se utiliza principalmente como electrodo y material de sellado, y debe soportar altos voltajes y temperaturas de arco.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Función y función: En las lámparas fluorescentes, el alambre de molibdeno actúa como un electrodo para iniciar y mantener la descarga fluorescente; En las lámparas HID (por ejemplo, lámparas de halógenos metálicos, lámparas de sodio de alta presión), el alambre de molibdeno se utiliza como electrodo para soportar altos voltajes transitorios (>10 kV) y temperaturas de arco (hasta 6000 °C), al tiempo que actúa como material de sellado para garantizar la hermeticidad.

Requisitos de rendimiento:

Propiedades eléctricas: Alta conductividad (resistividad $6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) y resistencia a la corrosión por arco para garantizar la estabilidad de la descarga.

Rendimiento a alta temperatura: la estructura debe estar intacta a la alta temperatura del arco y la resistencia a la tracción > 300 MPa.

Estabilidad química: Debe resistir el ataque químico de los gases a alta presión (como el vapor de mercurio, el vapor de sodio) en la lámpara.

Coincidencia de expansión térmica: Combinado con vidrio de borosilicato o vidrio de cuarzo.

Características de la aplicación: La eficiencia luminosa de las lámparas fluorescentes es de 50-100 lm / W, y las lámparas HID son de 100-150 lm / W, que son ampliamente utilizadas en iluminación comercial (oficinas, centros comerciales), iluminación vial e iluminación industrial. El alambre de molibdeno debe ser resistente a la descarga de alta frecuencia y a la corrosión química.

Proceso de preparación:

Selección de materias primas: alambre de molibdeno-lantano o alambre de molibdeno-renio se utiliza principalmente, y la relación de dopaje es de 0.3% -2% para mejorar la resistencia a la corrosión del arco.

Conformado y trefilado: El alambre de molibdeno con un diámetro de 0,03-0,2 mm se fabrica mediante trefilado de precisión, que debe recocerse a baja temperatura (700-1000 °C) para mantener la tenacidad.

Tratamiento de superficies: pulido electrolítico o tratamiento de pasivación, y algunos alambres de molibdeno para lámparas HID deben depositarse con recubrimientos anticorrosivos.

Estado del mercado: El mercado de lámparas fluorescentes se está reduciendo debido a la competencia LED, las lámparas HID todavía representan el 20% de la cuota de mercado en iluminación exterior y la cantidad de alambre de molibdeno representa el 25% del alambre de molibdeno utilizado en las lámparas. GE Lighting en Estados Unidos y NVC Lighting en China son los principales usuarios.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: El alto rendimiento del alambre de lantano y molibdeno y el alambre de renio y molibdeno satisface las necesidades de iluminación de alta eficiencia y tiene una fuerte estabilidad del arco.

Limitaciones: La vida útil en el entorno de descarga de alta frecuencia debe mejorarse aún más y el costo del tratamiento de la superficie es alto.

Desafío técnico: Desarrollo de recubrimientos resistentes al arco y optimización de diseños de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

electrodos para mejorar la eficiencia de descarga y la vida útil.

2.2.4 Alambre de molibdeno para lámparas especiales (lámparas ultravioletas, lámparas infrarrojas, etc.)

El alambre de molibdeno para lámparas especiales está diseñado para entornos espectrales o extremos específicos en aplicaciones médicas, científicas, aeroespaciales e industriales.

Función y función: En la lámpara ultravioleta, el alambre de molibdeno se utiliza como electrodo para iniciar la descarga ultravioleta; En las lámparas infrarrojas, los hilos de molibdeno se someten a radiación a alta temperatura como soporte o electrodo; En lámparas médicas (por ejemplo, lámparas quirúrgicas) o lámparas de aviación, los alambres de molibdeno deben cumplir con los requisitos de alta confiabilidad y formas complejas.

Requisitos de rendimiento:

Resistencia a la corrosión por arco: Debe resistir la descarga de alta frecuencia y la corrosión por vapor de mercurio.

Estabilidad a alta temperatura: la temperatura de trabajo puede alcanzar más de 2000 °C y la resistencia a la tracción > 300 MPa.

Ductilidad: Es necesario soportar formas complejas de electrodos (por ejemplo, espiral, flexión).

Calidad de la superficie: Se requiere un alto acabado para garantizar la pureza espectral.

Características de la aplicación: Las lámparas UV se utilizan para la esterilización y el tratamiento médico, las lámparas infrarrojas se utilizan para la calefacción y el procesamiento industrial, y las lámparas de aviación necesitan una alta confiabilidad. El alambre de molibdeno debe resistir entornos químicos complejos y radiación de alta temperatura.

Proceso de preparación:

Selección de materias primas: alambre de renio de molibdeno o alambre de itrio de molibdeno se utiliza principalmente, y la relación de dopaje es de 0.5% -2%.

Conformado y trefilado: El alambre de molibdeno con un diámetro de 0,02-0,1 mm se fabrica mediante trefilado de ultraprecisión, que requiere recocido a baja temperatura y moldeo de alta gama.

Tratamiento de superficies: CVD o PVD para recubrimiento antioxidante (por ejemplo, Al₂O₃, MoSi₂).

Estado del mercado: El tamaño del mercado de lámparas especiales es pequeño (representa el 5% del mercado mundial de iluminación), pero el valor agregado es alto y la cantidad de alambre de molibdeno representa el 10% del alambre de molibdeno utilizado en las lámparas.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas: Alto rendimiento satisface las necesidades profesionales y larga vida útil (hasta 5000 horas).

Limitaciones: Alto costo (alrededor de \$ 10 / kg), se requiere producción personalizada.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Desafío técnico: Ampliar la gama de aplicaciones de las lámparas especiales mediante el desarrollo de tecnologías de procesamiento de recubrimientos y formas complejas de bajo costo.

2.3 Clasificación por especificación

Las especificaciones del alambre de molibdeno para iluminación se clasifican según el rango de diámetro, el tipo de tratamiento superficial y la morfología del alambre, lo que afecta directamente su rendimiento y aplicación.

2.3.1 Rango de diámetros y tolerancia

El diámetro y la tolerancia del alambre de molibdeno son los parámetros centrales de sus especificaciones, que determinan sus propiedades eléctricas, mecánicas y de procesamiento.

Rango de diámetros:

Alambre de molibdeno ultrafino (0,01-0,05 mm): se utiliza para lámparas especiales de alta precisión (por ejemplo, lámparas UV, lámparas médicas) que requieren una alta ductilidad y acabado superficial. Alta resistividad (aprox. $6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), adecuada para electrodos de alta tensión.

Alambre fino de molibdeno (0,05-0,2 mm): electrodo o alambre de soporte para lámparas halógenas, HID y fluorescentes, que representa más del 60% del mercado.

Alambre de molibdeno de grosor medio (0,2-0,5 mm): alambre de soporte y material de sellado para lámparas incandescentes de alta resistencia mecánica.

Alambre de molibdeno grueso (0,5-2,0 mm): Componentes estructurales para luminarias de alta potencia (por ejemplo, lámparas infrarrojas industriales).

Requisitos de tolerancia: De acuerdo con GB / T 4191-2015 y ASTM B387, la tolerancia del alambre de molibdeno ultrafino es de ± 0.001 mm, el alambre de molibdeno fino es de ± 0.002 mm y el alambre de molibdeno grueso es de ± 0.01 mm. El control de tolerancia se logra mediante micrometría láser e inspección en línea.

Factores que influyen: cuanto menor sea el diámetro, mayor será la resistividad, adecuada para el electrodo; Cuanto mayor sea el diámetro, mayor será la resistencia y es adecuado para el soporte. La precisión de la tolerancia afecta la confiabilidad del sellado y la estabilidad del arco.

Proceso de preparación: el alambre de molibdeno ultrafino necesita 20-30 veces de trefilado, utilizando molde de diamante y recocido a baja temperatura (700-900 °C). El alambre de molibdeno grueso requiere un molde de alta resistencia y recocido a alta temperatura (1000-1200 °C).

Estado del mercado: El alambre fino de molibdeno (0,05-0,2 mm) tiene la mayor demanda, y China ha logrado una producción de alta precisión mediante la introducción de equipos alemanes.

Desafío técnico: Aumentar el rendimiento del alambre de molibdeno ultrafino (actualmente alrededor del 85%) y reducir el costo del control de tolerancia.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

2.3.2 Tipo de tratamiento superficial (alambre de molibdeno negro, alambre de molibdeno limpio, alambre de molibdeno recubierto)

El tipo de tratamiento superficial tiene un impacto significativo en las propiedades eléctricas, la resistencia a la corrosión y los escenarios de aplicación del alambre de molibdeno.

Alambre de molibdeno negro:

Características: La superficie tiene una capa de óxido negro (MoO_2 o MoO_3) y una rugosidad de R_a 0,5-2,0 μm . La capa de óxido mejora la adherencia al vidrio.

Proceso de preparación: Después del estirado, recocido (800-1000 °C) al aire o al vacío bajo para formar una capa de óxido.

Aplicación: Soporte de filamento y sellado de bajo costo para lámparas incandescentes, que representan el 20% del mercado.

Ventajas y limitaciones: bajo costo, pero poca estabilidad del arco, no apto para luminarias de alto rendimiento.

Alambre de molibdeno limpio:

Características: Eliminación de la capa de óxido por pulido electrolítico o decapado, superficie lisa (R_a 0,1-0,5 μm), excelente conductividad y resistencia a la corrosión.

Proceso de preparación: decapado en solución mixta HNO_3 -HF o pulido electrolítico en solución de NaOH, tratamiento de líquidos residuales de protección del medio ambiente.

Aplicación: Electrodo y juntas para lámparas halógenas, HID y especiales, que representan el 70% del mercado.

Ventajas y limitaciones: Excelente rendimiento y larga vida útil, pero altos costos de procesamiento.

Alambre de molibdeno recubierto:

Propiedades: Depósitos de recubrimientos resistentes a la oxidación o a la corrosión (por ejemplo, Al_2O_3 , MoSi_2) con un espesor de 0,1-1,0 μm .

Proceso de preparación: se adopta la tecnología CVD o PVD, se requiere un entorno de vacío y un equipo de alta precisión.

Aplicación: Utilizado en entornos extremos como lámparas ultravioleta y lámparas infrarrojas, que representan el 5% del mercado.

Ventajas y limitaciones: La vida útil se prolonga 2-3 veces, pero el costo es alto (alrededor de 10 USD/kg).

Estado del mercado: El alambre de molibdeno limpio es la corriente principal, y el alambre de molibdeno recubierto está creciendo rápidamente en los mercados europeo y americano.

Reto técnico: Desarrollo de tecnología de recubrimiento de bajo coste y procesos de tratamiento de superficies respetuosos con el medio ambiente.

2.3.3 Forma de alambre (alambre recto, alambre enrollado, alambre cortado)

La forma del alambre afecta la forma en que se procesa, transporta y aplica el alambre de molibdeno.

Alambre recto:

Características: Longitud fija (10-100 cm), apta para montaje automatizado.

Proceso de preparación: Después del estirado, se corta con una máquina de corte de alta precisión y la incisión debe ser suave y sin rebabas.

Aplicación: Se utiliza para el filamento de soporte y el sellado de lámparas incandescentes y lámparas halógenas, lo que representa el 30% del mercado.

Ventajas y limitaciones: La eficiencia de la instalación es alta, pero el transporte es fácil de deformar.

Arrollar:

Características: Enrollado en carretes, la longitud puede alcanzar varios kilómetros, adecuado para el procesamiento continuo.

Proceso de preparación: Después de estirar, el bobinador lo enrolla y es necesario controlar la tensión.

aplicación: Para la producción de lámparas a gran escala, que representa el 50% del mercado.

Ventajas y limitaciones: Fácil de almacenar y transportar, requiere equipo de desenrollado.

Alambre de corte:

Características: Longitud corta (1-10 mm) para un montaje de precisión.

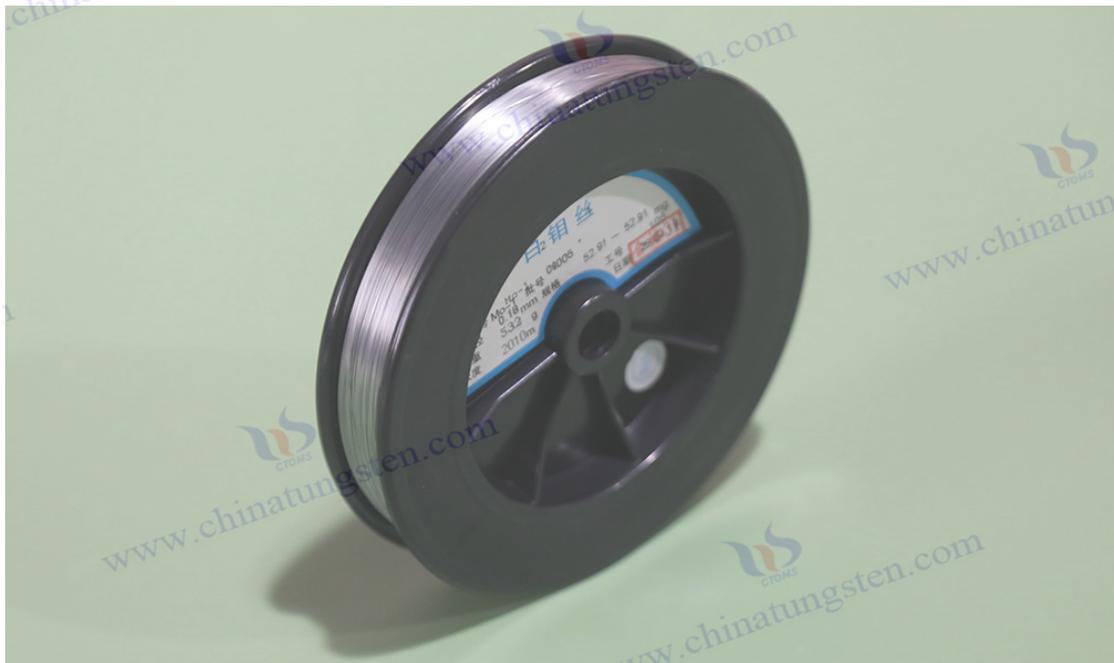
Proceso de preparación: corte de alta precisión para garantizar la consistencia de la longitud.

Aplicación: Electrodo complejo para lámparas especiales, que representan el 10% del mercado.

Ventajas y limitaciones: adecuado para la personalización, baja eficiencia de producción.

Estado del mercado: el alambre en espiral es la corriente principal, y el alambre recto y el alambre cortado se utilizan principalmente en aplicaciones de alta gama.

Desafío técnico: Mejorar la precisión del alambre cortado y reducir el costo de transporte del alambre recto.



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 3 Características del alambre de molibdeno para iluminación

Las características del alambre de molibdeno para iluminación son la clave para su aplicación en el campo de la iluminación, cubriendo información física, química, mecánica, eléctrica, óptica y relacionada con la hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS). Este capítulo explora estas características en detalle, analiza su impacto en el rendimiento de los dispositivos de iluminación y proporciona una descripción técnica completa basada en la investigación global y las prácticas de la industria.

3.1 Características físicas del alambre de molibdeno para iluminación

Las propiedades físicas del alambre de molibdeno para iluminación determinan su rendimiento en entornos complejos y de alta temperatura, alta presión y principalmente incluyendo la densidad y el punto de fusión, el coeficiente de expansión térmica y la dependencia de la temperatura, la conductividad térmica y la conductividad eléctrica. Estas propiedades afectan directamente la estabilidad estructural, la capacidad de gestión térmica y el rendimiento eléctrico del alambre de molibdeno en las luminarias.

3.1.1 Densidad y punto de fusión del alambre de molibdeno para iluminación

Con una densidad de $10,2 \text{ g/cm}^3$, el alambre de molibdeno es un material metálico de alta densidad, solo ligeramente inferior al tungsteno ($19,25 \text{ g/cm}^3$). Esta densidad confiere al alambre de molibdeno una alta estabilidad de masa, lo que le permite soportar el estrés mecánico y la vibración en la estructura de soporte o los electrodos de la luminaria. Por ejemplo, en los faros de los automóviles, el alambre de molibdeno debe resistir la vibración del vehículo mientras se conduce, y el cable de molibdeno moderadamente denso puede proporcionar suficiente resistencia sin aumentar la dificultad del diseño de la lámpara debido al peso excesivo.

El alambre de molibdeno tiene un punto de fusión de $2623 \text{ }^\circ\text{C}$ (2896 K), que es una de sus principales ventajas como metal refractario, solo superada por el tungsteno ($3422 \text{ }^\circ\text{C}$) y el renio ($3186 \text{ }^\circ\text{C}$). Este alto punto de fusión permite que el filamento de molibdeno funcione de manera estable en lámparas incandescentes (temperatura del filamento de hasta $2500 \text{ }^\circ\text{C}$), lámparas halógenas (temperatura del filamento de hasta $3000 \text{ }^\circ\text{C}$) y lámparas de descarga de gas de alta intensidad (HID, temperatura del centro del arco de hasta $6000 \text{ }^\circ\text{C}$) sin fundirse ni deformarse significativamente. En aplicaciones prácticas, el alambre de molibdeno generalmente funciona a temperaturas muy por debajo de su punto de fusión ($1000\text{-}2000 \text{ }^\circ\text{C}$) para evitar el ablandamiento del material a medida que se acerca a su punto de fusión. El alambre de molibdeno tiene un punto de fusión ligeramente más bajo que el tungsteno, pero sus costos de procesamiento son más bajos y su resistencia a la fluencia por debajo de $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ lo hace ideal para el soporte de filamentos y materiales de sellado.

La densidad y el punto de fusión del alambre de molibdeno también están estrechamente relacionados con su estructura cristalina. La estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC) del molibdeno permanece estable a altas temperaturas, y pequeños cambios en la constante de red, que se expande ligeramente con el aumento de la temperatura, garantizan su integridad estructural durante el ciclo térmico. En la producción, la densidad del alambre de molibdeno se controla

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

mediante el proceso de sinterización de polvo de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), y el punto de fusión se optimiza aún más mediante el dopaje de oligoelementos como el óxido de lantano para aumentar la temperatura de recristalización (de aproximadamente $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a más de $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3.1.2 Coeficiente de expansión térmica y dependencia de la temperatura del alambre de molibdeno para iluminación

El coeficiente de expansión térmica del alambre de molibdeno es de $4,8 \times 10^{-6} / \text{K}$ (en el rango de $20\text{-}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), que es altamente compatible con el vidrio de borosilicato (aproximadamente $4,5\text{-}5,0 \times 10^{-6} / \text{K}$). Esta propiedad hace que el alambre de molibdeno sea el material elegido para el sellado de lámparas de vidrio a metal, lo que garantiza que el alambre y el vidrio de molibdeno no causen grietas por tensión debido a la diferencia en la expansión térmica cuando se opera a altas temperaturas (por ejemplo, la temperatura de la parte de sellado en lámparas halógenas puede alcanzar los $600\text{-}800\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por el contrario, el tungsteno tiene un coeficiente de expansión térmica ligeramente más bajo ($4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$) y puede requerir material de transición adicional, mientras que el cobre ($16,5 \times 10^{-6} / \text{K}$) no coincide con la expansión térmica del vidrio y no se puede utilizar para el sellado.

El coeficiente de expansión térmica del alambre de molibdeno aumenta ligeramente con el aumento de la temperatura, por ejemplo, hasta $5,2 \times 10^{-6}$ a $1500\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{K}$. Esta dependencia de la temperatura es una consideración especial en el diseño de luminarias, especialmente en lámparas halógenas o HID con ciclos térmicos frecuentes. Para reducir el efecto de la expansión térmica, el alambre de molibdeno a menudo se dopa con óxido de lantano o renio para optimizar la estructura cristalina y reducir la expansión de la red a altas temperaturas. Además, el coeficiente de expansión térmica del alambre de molibdeno está estrechamente relacionado con el tratamiento de la superficie, y el alambre de molibdeno limpio (pulido electrolíticamente) se expande más uniformemente a altas temperaturas que el alambre de molibdeno negro (con una capa de óxido en la superficie) porque tiene menos defectos superficiales.

En aplicaciones prácticas, la coincidencia del coeficiente de dilatación térmica afecta directamente a la hermeticidad y la vida útil de la luminaria. Por ejemplo, en las lámparas de sodio de alta presión, el sello de alambre de molibdeno está sujeto a un cambio de temperatura cíclico de $500\text{-}700\text{ }^{\circ}\text{C}$, y un desajuste en el coeficiente de expansión térmica puede provocar grietas en el vidrio o fugas de gas. Por lo tanto, se requieren pruebas precisas de expansión térmica (por ejemplo, mediciones de dilatómetros) y optimización de la composición del vidrio en la producción para garantizar la confiabilidad del sello.

3.1.3 Conductividad térmica y análisis de conductividad del alambre de molibdeno para iluminación

La conductividad térmica del alambre de molibdeno es de $138\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), que es moderadamente alta entre los metales, inferior a la del cobre ($401\text{ W/m}\cdot\text{K}$) pero superior al tungsteno ($173\text{ W/m}\cdot\text{K}$). La alta conductividad térmica permite que el alambre de molibdeno transfiera rápidamente el calor generado durante el funcionamiento de la luminaria desde áreas calientes (por ejemplo, cerca de arcos o filamentos) a áreas de baja temperatura (por ejemplo, sitios

de sellado), reduciendo así el riesgo de sobrecalentamiento local y protegiendo la estructura de la luminaria. Por ejemplo, en las lámparas halógenas, es necesario utilizar alambre de molibdeno como cable de soporte para disipar eficazmente el calor del filamento y evitar el sobrecalentamiento de la junta de vidrio ($> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede hacer que el vidrio se ablande).

La conductividad del alambre de molibdeno es de aproximadamente $1,8 \times 10^7\text{ S/m}$ (resistividad $5,5 \times 10^{-8}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$), que se comporta bien en metales de alta temperatura, ligeramente por debajo del cobre ($5,9 \times 10^7\text{ S/m}$) pero cerca del tungsteno ($1,9 \times 10^7\text{ S/m}$). Su conductividad eléctrica garantiza que el cable de molibdeno pueda transmitir corriente de manera eficiente en el electrodo o componente conductor, lo que reduce la pérdida de energía. En las lámparas de descarga de gas, los electrodos de alambre de molibdeno están sujetos a altos voltajes (cientos a miles de voltios) y altas corrientes instantáneas (varios amperios), y la alta conductividad puede reducir el calentamiento de Joule y prolongar la vida útil del electrodo.

La dependencia de la temperatura de la conductividad térmica y la conductividad eléctrica es un factor clave en el diseño. Con el aumento de la temperatura, la conductividad térmica del alambre de molibdeno disminuye ligeramente (alrededor de $120\text{ W/m}\cdot\text{K}$ a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) y aumenta la resistividad (aproximadamente $2,0 \times 10^{-7}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los alambres de molibdeno dopados, como los alambres de molibdeno y lantano, pueden ralentizar la disminución de la conductividad a altas temperaturas al optimizar la estructura cristalina. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano al 1% tiene una resistividad de aproximadamente un 10% menor que el alambre de molibdeno puro a $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la producción, la conductividad térmica y la conductividad eléctrica se optimizan controlando la pureza, el tamaño de grano y el acabado superficial del alambre de molibdeno.

3.2 Características químicas del alambre de molibdeno para iluminación

Las propiedades químicas del alambre de molibdeno para iluminación determinan su estabilidad y vida útil en el complejo entorno químico de las lámparas (como el gas halógeno, el vacío a alta temperatura), incluyendo principalmente la resistencia a la oxidación, la resistencia a la corrosión y la interacción con el gas inerte y el entorno de vacío.

3.2.1 Resistencia a la oxidación y estabilidad a alta temperatura del alambre de molibdeno para iluminación

El alambre de molibdeno tiene buena resistencia a la oxidación a temperatura ambiente y se puede formar una fina capa protectora de óxido (MoO_2) en su superficie para evitar una mayor oxidación. Sin embargo, cuando se exponen al aire a altas temperaturas ($>600\text{ }^{\circ}\text{C}$), los filamentos de molibdeno forman rápidamente trióxido de molibdeno (MoO_3), que es volátil, lo que provoca pérdida de material y degradación del rendimiento. En aplicaciones de iluminación, las luminarias a menudo funcionan en vacío o en un gas inerte (por ejemplo, argón, nitrógeno) para evitar la oxidación. Por ejemplo, las lámparas incandescentes están llenas de gas argón y una pequeña cantidad de gas halógeno para proteger el alambre de molibdeno de la oxidación.

Con el fin de mejorar el rendimiento antioxidante, el alambre de molibdeno dopado (como el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

alambre de molibdeno y lantano, el alambre de molibdeno renio) es ampliamente utilizado. La adición de óxido de lantano ralentiza la difusión de los átomos de molibdeno a alta temperatura al fijar límites de grano y retrasa la ocurrencia de la reacción de oxidación. Debido al efecto fortalecedor de la solución del renio, el alambre de renio de molibdeno puede formar una capa de óxido superficial más estable por encima de 1000 °C y ralentizar la volatilización de MoO₃. Los estudios han demostrado que la tasa de oxidación del alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano al 1% en el aire a 1200 °C es aproximadamente un 30% menor que la del alambre de molibdeno puro. Además, las tecnologías de recubrimiento de superficies, como los recubrimientos de siluro de alúmina o molibdeno, mejoran aún más la resistencia a la oxidación y son adecuadas para luminarias especiales.

En términos de estabilidad a alta temperatura, la temperatura de recristalización del alambre de molibdeno (alrededor de 1400 °C para molibdeno puro) es un indicador clave. La recristalización conduce al crecimiento del grano y la fragilización del material, lo que reduce la resistencia mecánica. El alambre de molibdeno dopado prolonga significativamente la vida útil a altas temperaturas al aumentar la temperatura de recristalización (hasta 1800 °C para el alambre de molibdeno y lantano y alrededor de 1700 °C para el alambre de molibdeno-renio). En las lámparas halógenas, el alambre de molibdeno debe funcionar a 1500-2000 °C durante mucho tiempo, y la excelente estabilidad a alta temperatura del alambre de molibdeno dopado garantiza su integridad estructural.

3.2.2 Resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno para iluminación

La resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno en las lámparas se refleja principalmente en su resistencia a los gases halógenos (como yodo, bromo), vapor de mercurio y otros productos químicos. En las lámparas halógenas, el alambre de molibdeno está en contacto directo con el gas halógeno y necesita resistir el ataque químico a altas temperaturas (1000-1500 °C). La estabilidad química del molibdeno le permite funcionar bien en entornos de yodo o bromo sin la formación de compuestos volátiles o corrosión significativa. Por el contrario, el tungsteno es propenso a la formación de haluros volátiles (por ejemplo, WBr₆) en entornos halógenos, lo que provoca la pérdida de filamento.

En las lámparas de descarga de gas, como las lámparas de mercurio de alta presión o las lámparas de halogenuros metálicos, el electrodo de alambre de molibdeno debe resistir el vapor de mercurio y el haluro metálico (por ejemplo, yoduro de sodio). Los resultados muestran que el alambre de molibdeno puede mantener la integridad de la superficie en vapor de mercurio (500-800 °C) con una tasa de corrosión de menos de 0,01 mg/cm²·h. El alambre de molibdeno dopado, como el alambre de lantano y molibdeno, mejora aún más la resistencia a la corrosión al formar una estructura superficial estable. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano puede reducir las pérdidas por corrosión en aproximadamente un 20% en un entorno de yoduro de sodio.

La resistencia a la corrosión también está relacionada con el tratamiento de la superficie del alambre de molibdeno. El alambre de molibdeno limpio (pulido electrolíticamente) tiene pocos defectos

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

superficiales y una tasa de corrosión más baja que el alambre de molibdeno negro (con una capa de óxido en la superficie). En la producción, el alambre de molibdeno se usa a menudo para eliminar los óxidos de la superficie mediante decapado (mezcla de HNO₃-HF) o pulido electrolítico (solución de NaOH) para mejorar la resistencia a la corrosión. Además, los alambres de molibdeno recubiertos, como los recubrimientos de siliciuro de molibdeno, funcionan bien en entornos extremadamente corrosivos, como el vapor de mercurio en las lámparas UV, pero a un costo mayor.

3.2.3 Interacción entre el alambre de molibdeno para iluminación y el gas inerte y el entorno de vacío

El alambre de molibdeno para iluminación generalmente se opera en vacío o gas inerte (por ejemplo, argón, nitrógeno, criptón) para evitar la oxidación y prolongar la vida útil. En un entorno de vacío (por ejemplo, dentro de una lámpara incandescente, la presión es de $<10^{-3}$ Pa), la estabilidad química del alambre de molibdeno es extremadamente alta, casi no hay reacción con los gases y la superficie permanece estable. El entorno de vacío también reduce las pérdidas por convección de calor, de modo que el calor del alambre de molibdeno se disipa principalmente a través de la conducción de calor y la radiación, lo que contribuye a la eficiencia energética de la lámpara.

En un entorno de gas inerte (como una lámpara halógena, llena de argón y una pequeña cantidad de gas halógeno, presión de 0,1-1 MPa), el alambre de molibdeno no tiene una reacción química obvia con el argón o el nitrógeno, pero puede tener una adsorción superficial débil o un enlace químico con el gas halógeno a altas temperaturas. Los estudios han demostrado que el filamento de molibdeno puede formar una fina capa de yoduro de molibdeno (MoI₃) en la superficie del gas argón que contiene yodo (1200 °C), pero el compuesto se descompone rápidamente a altas temperaturas sin afectar el rendimiento de las lámparas. Los alambres de molibdeno dopados, como los alambres de molibdeno y lantano, pueden reducir este efecto de adsorción al optimizar la estructura de la superficie.

En las lámparas de descarga de gas, el electrodo de alambre de molibdeno interactúa con mezclas de gases complejas (vapor de mercurio, halógenos metálicos, gases inertes). La alta estabilidad química del alambre de molibdeno garantiza que no sufra una degradación química significativa en estos entornos, pero la formación de arcos puede causar cambios microestructurales en la superficie, como la corrosión del límite de grano. Por esta razón, la estabilidad del alambre de molibdeno a menudo se mejora mediante la pasivación de superficies o la tecnología de dopaje en la producción.

3.3 Características mecánicas del alambre de molibdeno para iluminación

Las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno para iluminación afectan directamente su estabilidad estructural y durabilidad en lámparas, incluida la resistencia a la tracción y las propiedades de fluencia, ductilidad y tenacidad, resistencia a la fatiga y resistencia a la fractura a altas temperaturas. Estas propiedades son particularmente importantes en entornos de alta temperatura, ciclos térmicos y vibraciones mecánicas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

3.3.1 Resistencia a la tracción a alta temperatura y propiedades de fluencia del alambre de molibdeno para iluminación

La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno es de 800-1000 MPa a temperatura ambiente, pero disminuirá significativamente a alta temperatura (>1000 °C). Por ejemplo, la resistencia a la tracción del alambre de molibdeno puro a 1500 °C es de aproximadamente 200 MPa. El alambre de molibdeno dopado mejora significativamente la resistencia a altas temperaturas a través del fortalecimiento del límite de grano, y el alambre de molibdeno y lantano puede alcanzar 300-500 MPa a 1500 °C, y el alambre de molibdeno-renio es de aproximadamente 250-400 MPa. Esta alta resistencia permite que el alambre de molibdeno actúe como material de soporte de filamento para soportar cargas de alta temperatura en lámparas incandescentes o halógenas.

El rendimiento de fluencia es un indicador clave del alambre de molibdeno para el funcionamiento a largo plazo a altas temperaturas. La fluencia se refiere al proceso por el cual un material se deforma lentamente bajo una tensión sostenida, lo que puede provocar la falla del soporte del filamento o la deformación del electrodo. El alambre de molibdeno puro es propenso a fluir por encima de 1200 °C con una tasa de fluencia de aproximadamente 10^{-5} s^{-1} (a una tensión de 100 MPa). El alambre de molibdeno dopado reduce significativamente la tasa de fluencia al fijar dislocaciones del límite de grano, por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano al 1% tiene una tasa de fluencia más del 50% menor que la del alambre de molibdeno puro a 1500 °C. Debido al efecto fortalecedor de la solución sólida del renio, el rendimiento de fluencia del alambre de renio y molibdeno también es mejor que el del alambre de molibdeno puro.

En las lámparas halógenas, el soporte de alambre de molibdeno se somete a ciclos térmicos (aumento rápido desde la temperatura ambiente hasta 1500 °C), y la resistencia a la tracción y la resistencia a la fluencia a altas temperaturas determinan directamente la vida útil de la lámpara. La resistencia a la fluencia del alambre de molibdeno se mejora en la producción optimizando el tamaño de grano (normalmente 10-50 μm) y el proceso de dopaje.

3.3.2 Ductilidad y tenacidad del alambre de molibdeno para iluminación

La ductilidad del alambre de molibdeno se refiere a su capacidad para deformarse plásticamente cuando se estira, y el alargamiento a la rotura del alambre de molibdeno puro es del 10% al 15% a temperatura ambiente. El alambre de molibdeno dopado (como el alambre de renio de molibdeno) mejora significativamente la ductilidad mediante el fortalecimiento de la solución, y el alargamiento a la rotura puede alcanzar el 20% -25%. La alta ductilidad hace que el alambre de molibdeno no sea fácil de romper durante el proceso de estirado y conformado, y es adecuado para la fabricación de electrodos o estructuras de soporte con formas complejas.

La tenacidad refleja la capacidad del alambre de molibdeno para absorber la energía del impacto y prevenir fracturas frágiles. En las luminarias, los cables de molibdeno están sujetos a vibraciones (por ejemplo, lámparas de automóviles) o choques térmicos (por ejemplo, cambio frecuente de lámparas halógenas). A alta temperatura (>1000 °C), el alambre de molibdeno puro se vuelve quebradizo debido a la recristalización y la tenacidad disminuye. El alambre de lantano y molibdeno se fortalece mediante la dispersión de partículas de óxido de lantano, lo que mantiene la tenacidad

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

a alta temperatura, y la tenacidad a la fractura (K_{IC}) es de aproximadamente $10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ a $1500 \text{ }^\circ\text{C}$, que es mayor que la del alambre de molibdeno puro de $7 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. El alambre de renio y molibdeno tiene mejor tenacidad y es adecuado para entornos de alta vibración.

En la producción, la optimización de la ductilidad y la tenacidad depende de la temperatura de recocido ($800\text{-}1200 \text{ }^\circ\text{C}$) y de la distribución uniforme de los elementos dopantes en el proceso de trefilado. El alambre de molibdeno ultrafino ($<0,05 \text{ mm}$ de diámetro) requiere una mayor ductilidad y requiere recocido a baja temperatura y moldeo de precisión.

3.3.3 Resistencia a la fatiga y a la fractura del alambre de molibdeno para iluminación

La resistencia a la fatiga refleja la durabilidad del alambre de molibdeno bajo tensión cíclica. En los faros de los automóviles o las luces de los escenarios, los cables de molibdeno están sujetos a frecuentes ciclos térmicos y vibraciones mecánicas, lo que puede provocar grietas por fatiga. La vida a la fatiga del alambre de molibdeno puro es más corta a alta temperatura (alrededor de 10^4 ciclos, tensión de 100 MPa), mientras que la vida a la fatiga del alambre de molibdeno dopado (como el alambre de molibdeno y lantano) se puede aumentar a más de 10^5 ciclos a través del fortalecimiento del límite de grano.

La resistencia a la fractura está estrechamente relacionada con el tamaño de grano y los defectos superficiales del alambre de molibdeno. Los granos finos ($10\text{-}20 \text{ }\mu\text{m}$) dispersan las concentraciones de tensión y mejoran la resistencia a la fractura. Debido a su alto acabado superficial ($R_a < 0,5 \text{ }\mu\text{m}$) y pocos puntos de inicio de grietas, el alambre de molibdeno limpio tiene mejor resistencia a la fractura que el alambre de molibdeno negro ($R_a 0,5\text{-}2,0 \text{ }\mu\text{m}$). En la producción, el pulido de superficies y la detección de defectos (por ejemplo, la detección ultrasónica de defectos) son clave para mejorar la resistencia a las fracturas.

En las lámparas HID, los electrodos de alambre de molibdeno deben resistir la concentración de tensión causada por el impacto del arco, y el alambre de molibdeno dopado (como el alambre de molibdeno-renio) puede reducir efectivamente el riesgo de fractura debido a su alta tenacidad y resistencia a la fatiga.

3.4 Características eléctricas del alambre de molibdeno para iluminación

Las propiedades eléctricas del alambre de molibdeno para iluminación determinan su rendimiento como electrodo o componente conductor, incluida la resistividad y el coeficiente de temperatura, la capacidad de transporte de corriente y la estabilidad del arco.

3.4.1 Resistividad y coeficiente de temperatura del alambre de molibdeno para iluminación

La resistividad del alambre de molibdeno es de $5,5 \times 10^{-8} \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ligeramente más alto que el cobre ($1,68 \times 10^{-8} \text{ }\Omega\cdot\text{m}$) pero cerca del tungsteno ($5,6 \times 10^{-8} \text{ }\Omega\cdot\text{m}$). La resistividad aumenta con la temperatura y es de aproximadamente $2,0 \times 10^{-7} \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ a $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta $4,0 \times 10^{-7} \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ a $2000 \text{ }^\circ\text{C}$. El coeficiente de temperatura (TCR) de la resistividad es de $0,0045 \text{ K}^{-1}$ ($20\text{-}1000 \text{ }^\circ\text{C}$), lo que indica que su conductividad disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura.

El alambre de molibdeno dopado puede reducir la resistividad a alta temperatura optimizando la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

estructura cristalina. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano al 1% tiene una resistividad de aproximadamente un 10% menor que el alambre de molibdeno puro a 1500 °C porque las partículas de óxido de lantano reducen la dispersión del límite de grano. Debido al efecto de solución sólida del renio, la resistividad del alambre de renio y molibdeno es ligeramente mayor (alrededor de $6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ a 20 °C), pero su coeficiente de temperatura es más estable, adecuado para entornos de descarga de alta frecuencia.

En las luminarias, la resistividad tiene un impacto directo en la pérdida de energía y la generación de calor. El alambre de molibdeno de baja resistividad reduce el calentamiento de Joule y mejora la eficiencia de la luminaria. En las lámparas HID, la resistividad de los electrodos de alambre de molibdeno debe controlarse con precisión para garantizar la estabilidad del arranque del arco.

3.4.2 Capacidad de carga de corriente del alambre de molibdeno para iluminación

La capacidad de carga de corriente de un alambre de molibdeno depende de su diámetro, pureza del material y temperatura de funcionamiento. Un alambre de molibdeno puro con un diámetro de 0,1 mm puede transportar una corriente de aproximadamente 10 A a 20 °C y caer a aproximadamente 5 A a 1000 °C. El alambre de molibdeno dopado (como el alambre de lantano y molibdeno) tiene una capacidad de transporte de corriente ligeramente mejor debido a su mayor resistencia a altas temperaturas, y puede transportar 4-6 A (0,1 mm de diámetro) a 1500 °C.

En las lámparas de descarga de gas, los electrodos de alambre de molibdeno están sujetos a altas corrientes instantáneas (10-100 A durante unos pocos milisegundos), lo que requiere una alta conductividad y resistencia al choque térmico. Debido a su excelente ductilidad y tenacidad, el alambre de renio y molibdeno puede soportar choques de corriente repetidos sin romperse. En la producción, la optimización de la capacidad de carga de corriente debe lograrse aumentando el tamaño de grano y reduciendo los defectos superficiales.

3.4.3 Estabilidad del arco del alambre de molibdeno para iluminación

La estabilidad del arco es una propiedad clave del alambre de molibdeno como material de electrodo, especialmente en lámparas HID y lámparas fluorescentes. El alto punto de fusión y la resistencia a la corrosión por arco del alambre de molibdeno le permiten mantener la integridad estructural a altas temperaturas de arco (>4000 °C). Debido al alto acabado superficial ($R_a < 0,5 \mu m$), el alambre de molibdeno limpio puede reducir el sobrecalentamiento local y las salpicaduras durante la descarga del arco y mejorar la estabilidad.

El alambre de molibdeno dopado (por ejemplo, alambre de molibdeno y lantano, alambre de molibdeno renio) reduce la corrosión del límite de grano causada por la formación de arcos al optimizar la microestructura de la superficie. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano tiene una estabilidad de arco de aproximadamente un 20% más alta que el alambre de molibdeno puro en descarga de alta frecuencia (10-100 kHz). En la producción, la estabilidad del arco a menudo se prueba simulando las condiciones de funcionamiento de la luminaria, como las pruebas de impulsos de alto voltaje, para garantizar la confiabilidad a largo plazo de los electrodos.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

3.5 Propiedades ópticas del alambre de molibdeno para iluminación

Las propiedades ópticas del alambre de molibdeno para iluminación afectan su eficiencia de radiación y la calidad de la salida de luz en las lámparas, incluyendo principalmente el acabado superficial y la reflectividad, las características de radiación a alta temperatura y la influencia de la oxidación de la superficie en las propiedades ópticas.

3.5.1 Acabado superficial y reflectividad del alambre de molibdeno para iluminación

El acabado superficial del alambre de molibdeno afecta directamente su reflectividad y la uniformidad de la descarga del arco. Mediante pulido electrolítico o limpieza química, la rugosidad de la superficie del alambre de molibdeno limpio puede alcanzar Ra 0.1-0.5 μm , y la reflectancia (rango de luz visible) es de aproximadamente 60%-70%. Debido a la capa de óxido superficial (MoO_2), la rugosidad del alambre de molibdeno negro es alta (Ra 0.5-2.0 μm) y la reflectividad es solo del 30% -40%.

El alambre de molibdeno de alto acabado mejora la uniformidad de la salida de luz en lámparas halógenas y HID y reduce el sobrecalentamiento local causado por defectos en la superficie. En las lámparas de proyección, la reflectividad del alambre de molibdeno afecta el efecto de enfoque de la luz, y la alta reflectividad del alambre de molibdeno limpio puede mejorar la utilización de la luz. En la producción, el control del acabado de la superficie debe lograrse mediante equipos de pulido de precisión e inspección en línea.

3.5.2 Características de radiación a alta temperatura y análisis espectral del alambre de molibdeno para iluminación

Las propiedades de radiación del alambre de molibdeno a altas temperaturas están estrechamente relacionadas con su rendimiento como electrodo o material de soporte. A 1500-2000 $^{\circ}\text{C}$, el espectro de radiación del alambre de molibdeno se concentra principalmente en las regiones infrarroja e infrarroja cercana (longitud de onda 0,7-2,5 μm), y la luz visible (0,4-0,7 μm) es relativamente baja. Esto le da una ventaja en las lámparas infrarrojas, pero principalmente como material auxiliar en la iluminación de luz blanca.

Los alambres de molibdeno dopados, como los alambres de molibdeno y lantano, pueden aumentar ligeramente la eficiencia de la radiación en la región visible al optimizar la estructura cristalina. Por ejemplo, un alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano al 1% tiene una potencia de radiación aproximadamente un 10% más alta a 2000 $^{\circ}\text{C}$ que un alambre de molibdeno puro. El análisis espectral muestra que el pico de radiación del alambre de molibdeno se mueve a una longitud de onda corta con el aumento de la temperatura, lo que se ajusta a la ley de radiación de cuerpo negro de Planck. En la práctica, las características de radiación del filamento de molibdeno deben optimizarse conjuntamente con el filamento (normalmente tungsteno) para lograr la salida de luz deseada.

3.5.3 Efecto de la oxidación superficial del alambre de molibdeno para iluminación sobre las propiedades ópticas

La oxidación de la superficie tiene un efecto significativo en las propiedades ópticas del alambre de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

molibdeno. La capa de óxido (MoO_2 o MoO_3) del alambre de molibdeno negro absorbe parte de la luz visible e infrarroja, reduciendo la reflectividad y la eficiencia de la radiación. En las lámparas halógenas, la evaporación de la capa de óxido puede provocar la deposición de la pared interna de la bombilla, lo que reduce la eficiencia de la salida de luz. Al eliminar la capa de óxido, el alambre de molibdeno limpio mejora significativamente el rendimiento óptico, y la reflectividad y la eficiencia de la radiación son mejores que las del alambre de molibdeno negro.

A alta temperatura (>1000 °C), puede ocurrir una pequeña cantidad de oxidación en la superficie del alambre de molibdeno, lo que afecta las características espectrales. El alambre de molibdeno dopado (por ejemplo, alambre de molibdeno y lantano) ralentiza el proceso de oxidación y mantiene la estabilidad de las propiedades ópticas al formar una estructura superficial estable. Los alambres de molibdeno recubiertos, como los recubrimientos de alúmina, brindan una mayor protección contra la oxidación de la superficie y son adecuados para lámparas especiales de alto rendimiento.

3.6 Alambre de molibdeno para iluminación MSDS de CTIA GROUP LTD

Las hojas de datos de seguridad de materiales (MSDS) proporcionan orientación para el uso, almacenamiento y transporte seguros del alambre de molibdeno para iluminación. Los siguientes son los contenidos principales de MSDS de alambre de molibdeno para iluminación de CTIA:

Parte I: Nombres químicos

Nombre químico: alambre de molibdeno

Nº CAS:7439-98-7

Fórmula molecular: Mo

Peso molecular: 99.95

Parte II: Composición/Información de composición

Contenido: 99.3% ~ 99.95% molibdeno

Parte III: Panorama general de los peligros

Riesgos para la salud: Este producto no irrita los ojos ni la piel.

Peligro de explosión: Este producto no es inflamable ni irritante.

Parte IV: Medidas de primeros auxilios

Contacto piel con piel: Quítese la ropa contaminada y enjuague con abundante agua corriente.

Contacto con los ojos: Levante el párpado y enjuague con agua corriente o solución salina.

Tratamiento médico.

Inhalación: Retirar de la escena al aire libre. Si tiene dificultad para respirar, dele oxígeno.

Tratamiento médico.

Ingesta: Beba abundante agua tibia para inducir el vómito. Tratamiento médico.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Parte V: Medidas de protección contra incendios

Productos de combustión nocivos: Los productos de descomposición natural son desconocidos.

Método de extinción de incendios: Los bomberos deben usar máscaras antigás y trajes de extinción de incendios de cuerpo completo para extinguir el fuego en la dirección de barlovento. Agente

extintor de incendios: polvo de cuero seco, arena.

Parte VI.: Manejo de Emergencia de Derrames

Tratamiento de emergencia: Aísle el área contaminada por fugas y restrinja el acceso. Corta la fuente de fuego. Se recomienda a los servicios de emergencia que usen máscaras contra el polvo (máscaras faciales completas) y ropa protectora. Evite el polvo, límpielo con cuidado, póngalo en una bolsa y transfíralo a un lugar seguro. Si hay una gran cantidad de fugas, cúbrala con un paño plástico o una lona. Recolectar y reciclar o transportar a un sitio de eliminación de desechos para su eliminación.

Parte VII: Manipulación, manipulación y almacenamiento

Precauciones para la operación: Los operadores deben estar especialmente capacitados y seguir estrictamente los procedimientos operativos. Se recomienda que los operadores usen máscaras antipolvo filtrantes autocebantes, gafas de seguridad química, overoles anti-penetración de veneno y guantes de goma. Manténgase alejado del fuego y las fuentes de calor, y está estrictamente prohibido fumar en el lugar de trabajo. Utilice sistemas y equipos de ventilación a prueba de explosiones. Evite la generación de polvo. Evite el contacto con oxidantes y halógenos. Al manipular, es necesario cargar y descargar ligeramente para evitar daños en el embalaje y los contenedores. Equipado con las variedades y cantidades correspondientes de equipos de extinción de incendios y equipos de tratamiento de emergencia de fugas. Los recipientes vacíos pueden dejar sustancias nocivas.

Precauciones de almacenamiento: Almacene en un almacén fresco y ventilado. Mantener alejado del fuego y de fuentes de calor. Debe almacenarse por separado de los oxidantes y halógenos, y no debe mezclarse. Equipado con la variedad y cantidad correspondiente de equipos de extinción de incendios. El área de almacenamiento debe estar equipada con materiales adecuados para contener el derrame.

Parte VIII: Control de la exposición/Protección personal

China MAC (mg/m³): 6

URSS MAC (mg/m³): 6

TLVTN: ACGIH 1mg/m³

TLVWN: ACGIH 3mg/m³

Método de monitoreo: método de espectroluminiscencia de tiocianuro de potasio-cloruro de titanio

Control de ingeniería: el proceso de producción está libre de polvo y totalmente ventilado.

Protección respiratoria: Cuando la concentración de polvo en el aire supera la norma, se debe usar

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

una mascarilla antipolvo filtrante autocebante. En el caso de una evacuación de emergencia, se deben usar aparatos de respiración de aire.

Protección ocular: Use anteojos de seguridad química.

Protección corporal: Use overoles anti-penetración de veneno.

Protección de las manos: Use guantes de goma.

Parte IX: Propiedades fisicoquímicas

Ingrediente principal: Puro

Apariencia y propiedades: sólido, blanco metálico brillante; En blanco, acabado negro

Punto de fusión (°C): 2620

Punto de ebullición (°C): 5560

Densidad relativa (agua = 1): 9,4~10,2 (20 °C)

Densidad de vapor (aire = 1): Sin datos

Presión de vapor de saturación (kPa): no hay datos disponibles

Calor de combustión (kJ/mol): sin datos

Temperatura crítica (°C): No hay datos disponibles

Presión crítica (MPa): No hay datos disponibles

Logaritmo del coeficiente de reparto del agua: sin datos

Punto de inflamación (°C): No hay datos disponibles

Temperatura de ignición (°C): Sin datos

% de límite de explosión (V/V): Sin datos

Límite inferior de explosión % (V/V): Sin datos

Solubilidad: soluble en ácido nítrico, ácido fluorhídrico

Usos principales: utilizado en la producción de moldes, alambres de molibdeno, piezas electrónicas, etc

Parte X: Estabilidad y reactividad

Sustancias prohibidas: ácidos fuertes y álcalis.

Parte 11:

Toxicidad aguda: no se dispone de datos

LC50: Sin datos

Parte XII: Datos ecológicos

No hay datos para esta sección

Parte XIII: Eliminación

Método de eliminación de residuos: Consulte las leyes y reglamentos nacionales y locales pertinentes antes de eliminarlos. Recicla si es posible.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Parte XIV: Información de envío

Número de mercancías peligrosas: sin información

Categoría de embalaje: Z01

Precauciones para el transporte: El embalaje debe estar completo durante el envío y la carga debe ser segura. Durante el transporte, es necesario asegurarse de que el contenedor no tenga fugas, colapse, caiga o se dañe. Está terminantemente prohibido mezclar con oxidantes, halógenos, productos químicos comestibles, etc. Durante el transporte, debe protegerse de la exposición al sol, la lluvia y las altas temperaturas. Los vehículos deben limpiarse a fondo después del transporte.

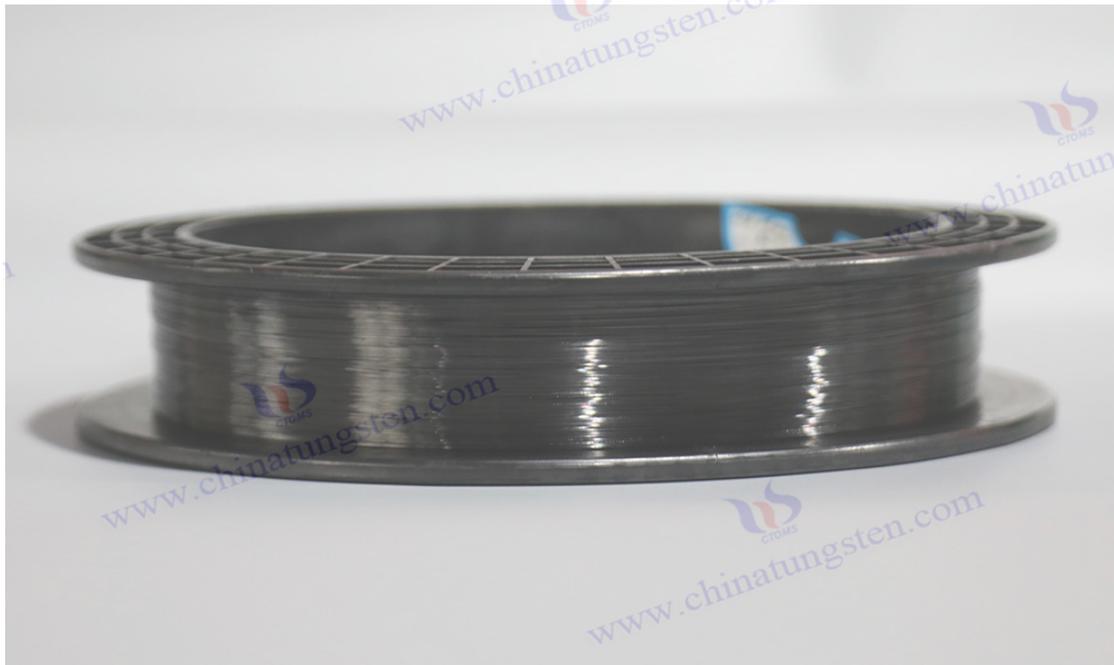
Parte XV: Información Regulatoria

Información reglamentaria: Reglamento sobre la Gestión de la Seguridad de los Productos Químicos Peligrosos (promulgado por el Consejo de Estado el 17 de febrero de 1987), Normas detalladas para la aplicación del Reglamento sobre la Gestión de la Seguridad de los Productos Químicos Peligrosos (Hua Lao Fa [1992] N° 677), Reglamento sobre el Uso Seguro de los Productos Químicos en el Trabajo ([1996] Lao Bu Fa N° 423) y otras leyes y reglamentos, que han adoptado las disposiciones correspondientes sobre la seguridad del uso, la producción, el almacenamiento, el transporte, la carga y la descarga de productos químicos peligrosos; La norma higiénica para el tungsteno en el aire de taller (GB 16229-1996) estipula la concentración máxima permitida y el método de detección de esta sustancia en el aire de taller.

Parte XVI: Información del proveedor

Proveedor: CTIA GROUP LTD

Tel: 0592-5129696/5129595



Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 4 Tecnología de preparación y producción de alambre de molibdeno para iluminación

La preparación del alambre de molibdeno para iluminación es un proceso complejo y preciso, que involucra múltiples enlaces de proceso desde la selección de la materia prima hasta el producto final, y su tecnología de producción y optimización del proceso determinan directamente la calidad y el rendimiento del alambre de molibdeno. Este capítulo discutirá en detalle el proceso de preparación y producción de alambre de molibdeno para iluminación, incluida la selección y pretratamiento de materias primas, fundición y moldeo, proceso de trefilado, tecnología de tratamiento de superficies, proceso de dopaje, control de calidad y optimización de procesos.

4.1 Selección de materia prima y pretratamiento de alambre de molibdeno para iluminación

El rendimiento del alambre de molibdeno para iluminación depende en gran medida de la calidad de la materia prima y del proceso de pretratamiento. La selección de la materia prima y el pretratamiento son el primer paso en la producción, lo que afecta directamente la tasa de éxito de la fundición, el conformado y el trefilado posteriores, así como el rendimiento del producto final. El siguiente es un análisis detallado desde tres aspectos: pureza del polvo de molibdeno y control del tamaño de partícula, selección y proporción de material dopante, y proceso de pretratamiento.

4.1.1 Requisitos de pureza del polvo de molibdeno ($\geq 99,95\%$) y control del tamaño de partícula

La preparación del alambre de molibdeno generalmente está hecha de polvo de molibdeno de alta pureza, y se requiere que la pureza alcance más del 99.95% para garantizar la estabilidad química y las propiedades eléctricas del alambre de molibdeno en un entorno de alta temperatura. El contenido de impurezas (por ejemplo, hierro, níquel, silicio, carbono, etc.) debe mantenerse en un nivel muy bajo (0,05% de las impurezas totales) ya que incluso las trazas de impurezas pueden causar corrosión en el límite del grano o inestabilidad del arco a altas temperaturas. Por ejemplo, las impurezas de hierro por encima del 0,01% pueden hacer que los filamentos de molibdeno reaccionen con los gases halógenos de las lámparas halógenas para formar compuestos volátiles y acortar la vida útil de la lámpara.

La preparación del polvo de molibdeno generalmente se obtiene refinando molibdenita (MoS_2). El proceso consiste en el tostado de molibdenita para producir trióxido de molibdeno (MoO_3), seguido de una reducción de hidrógeno (dos reducciones en un horno tubular a 600-1000 °C) para producir polvo de molibdeno de alta pureza. Durante el proceso de reducción, la pureza del hidrógeno ($\geq 99,999\%$) y la temperatura de reducción deben controlarse para evitar residuos de oxígeno. El polvo de molibdeno reducido debe analizarse químicamente (por ejemplo, ICP-OES) para confirmar su pureza y cumplir con las normas ASTM B386 o GB/T 3462.

El control del tamaño de partícula es una parte clave del pretratamiento de la materia prima. El alambre de molibdeno para iluminación requiere polvo de molibdeno con un tamaño de partícula de 1-5 μm y una distribución uniforme del tamaño de partícula (D_{50} es de aproximadamente 2-3 μm). El tamaño de partícula fino y uniforme ayuda a aumentar la densidad de la palanquilla sinterizada y a reducir la porosidad y las inclusiones. Si el tamaño de partícula es demasiado grande

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

(>10 μm), provocará una sinterización desigual y afectará la resistencia mecánica del alambre de molibdeno. Si el tamaño de partícula es demasiado pequeño (<1 μm), puede aumentar la contracción de la sinterización y provocar el agrietamiento de la pieza en bruto. El control del tamaño de las partículas se logra mediante la clasificación del flujo de aire o el cribado vibratorio, y los equipos comunes incluyen clasificadores de flujo de aire y tamices ultrasónicos. Además, la morfología del polvo de molibdeno es crucial para la compactación posterior y el efecto de sinterización, y el polvo esférico se puede preparar mediante la tecnología de esferoidización por plasma.

4.1.2 Selección y proporción de materiales dopantes (lantano, renio, etc.).

La selección y la proporción de materiales dopados es el eslabón central en la preparación de alambre de molibdeno de alto rendimiento (como el alambre de molibdeno-lantano y el alambre de molibdeno-renio), cuyo objetivo es mejorar la resistencia a la fluencia, la ductilidad y la resistencia a la oxidación a alta temperatura. Los materiales comúnmente dopados incluyen óxido de lantano (La_2O_3), renio (Re), óxido de itrio (Y_2O_3) y óxido de cerio (CeO_2).

Óxido de lantano (La_2O_3): el material dopado más utilizado, normalmente entre el 0,3% y el 1,0% en masa. El óxido de lantano se dispersa en una matriz de molibdeno en forma de partículas a nanoescala (tamaño de partícula 50-200 nm), lo que aumenta significativamente la temperatura de recristalización (de 1400 °C a 1800 °C) y la resistencia a la fluencia. El óxido de lantano debe ser de alta pureza ($\geq 99,99\%$) para evitar la influencia de las impurezas (como el azufre y el fósforo) en el rendimiento.

Renio (Re): Dopado con renio (1%-5%) para formar una solución sólida de renio molibdeno, que mejora la ductilidad y la resistencia a la oxidación. El polvo de renio debe prepararse por reducción de hidrógeno y la pureza es $\geq 99,98\%$. El alto costo del renio (aproximadamente 50-100 veces mayor que el del molibdeno) hace que se use principalmente en lámparas especiales de alta gama.

Óxido de itrio (Y_2O_3) y óxido de cerio (CeO_2): se utilizan en hilos especiales de molibdeno con un contenido de 0,5%-2% y 0,3%-1%. El óxido de itrio mejora la resistencia a la corrosión por arco y es adecuado para lámparas ultravioleta; El óxido de cerio mejora la estabilidad a altas temperaturas y es adecuado para lámparas infrarrojas. Ambos requieren una alta pureza ($\geq 99,95\%$) y un tamaño de partícula fino (<100 nm).

Control de la relación: la relación de dopaje debe controlarse con precisión, demasiado alta puede conducir a un ablandamiento del material o costos más altos, demasiado baja no mejorará significativamente el rendimiento. Por ejemplo, cuando el contenido de óxido de lantano es del 0,8%, la resistencia a la tracción del alambre de molibdeno puede alcanzar los 400 MPa a 1500 °C, que es un 50% más alta que la del alambre de molibdeno puro. La relación se verifica mediante pesaje de balanza electrónica y análisis químico, y el error se controla al $\pm 0,01\%$.

La elección del material dopante también debe tener en cuenta la compatibilidad química con la matriz de molibdeno. Por ejemplo, el óxido de lantano forma una fase dispersa estable con el molibdeno a altas temperaturas, mientras que el renio mejora la estructura cristalina mediante el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

fortalecimiento de la solución. En la producción, la distribución homogénea de los materiales dopados es clave, lo que se logra a través de procesos de mezcla posteriores.

4.1.3 Pretratamiento de la materia prima (limpieza, cribado, mezcla)

El pretratamiento de la materia prima incluye lavado, cribado y mezcla para garantizar una calidad constante del polvo de molibdeno y los materiales dopados.

Limpieza: El polvo de molibdeno puede adsorber humedad, grasa u óxidos durante el proceso de producción y debe eliminarse mediante limpieza química. El agente de limpieza comúnmente utilizado es ácido nítrico diluido (HNO_3 , concentración 5%-10%) o hidróxido de sodio (NaOH , concentración 2%-5%), y la temperatura de limpieza se controla a 40-60 °C durante 5-10 minutos. Después de la limpieza, debe enjuagarse con agua desionizada y secarse (secado al vacío a 100-150 °C) para evitar impurezas residuales.

Tamizado: Elimine las partículas de tamaño excesivo o insuficiente mediante una criba vibratoria o un clasificador de aire para garantizar una distribución del tamaño de partícula de 1-5 μm . El equipo de cribado debe ser de acero inoxidable o cerámica para evitar la contaminación por metales. Durante el proceso de cribado, se debe monitorear la curva de distribución del tamaño de partícula y la relación D_{90} / D_{10} debe controlarse en 2-3 para garantizar la uniformidad.

Mezcla: El alambre de molibdeno dopado requiere una mezcla uniforme de polvo de molibdeno con materiales dopados (como el óxido de lantano). La mezcla húmeda (por ejemplo, etanol o agua desionizada como medio) o la mezcla seca (por ejemplo, mezclador en V) se utilizan comúnmente. La mezcla húmeda mejora la uniformidad mediante dispersión ultrasónica, normalmente durante 2-4 horas. Después de la mezcla, el polvo compuesto se prepara mediante secado por pulverización (temperatura de entrada 200-250 °C) para garantizar una distribución uniforme de las partículas dopadas.

El proceso de pretratamiento debe llevarse a cabo en un entorno limpio (clase de limpieza ISO 7) para evitar la contaminación por polvo. Los equipos de pretratamiento de última generación mejoran la eficiencia y la consistencia.

4.2 Fundición y formación de alambre de molibdeno para alumbrado

La fundición y la formación son el eslabón central de la preparación del alambre de molibdeno, que convierte el polvo de molibdeno en piezas en bruto de alta densidad a través de la pulvimetalurgia, la sinterización, el prensado en caliente, la forja y el laminado, proporcionando la base para el trefilado posterior.

4.2.1 Proceso de pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia es el principal método de preparación de alambre de molibdeno para iluminación, y el proceso incluye prensado de polvo, sinterización, procesamiento térmico y conformado. Tiene la ventaja de un control preciso de la composición y la microestructura del material, lo que lo hace adecuado para la producción de alambre de molibdeno de alto rendimiento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Prensado de polvo: El polvo de molibdeno pretratado o el polvo dopado se carga en un molde y se presiona en una varilla o placa en bruto bajo una prensa hidráulica. La presión de prensado es de 100-200 MPa y el material del molde es acero de alta resistencia o carburo cementado para evitar la contaminación. Durante el proceso de prensado, es necesario controlar la densidad de llenado del polvo (alrededor del 50%-60% de la densidad teórica) para garantizar la uniformidad de la pieza en bruto.

Pre-sinterización: La palanquilla prensada se presinteriza en un horno de atmósfera de hidrógeno (temperatura 800-1000 °C, manteniéndose durante 2-4 horas) para eliminar la humedad y las impurezas volátiles y mejorar la resistencia de la palanquilla. La presinterización requiere un caudal de hidrógeno controlado (1-2 m³/h) y un punto de rocío (<-40 °C) para evitar la oxidación.

Características del proceso: La pulvimetalurgia puede producir alambre de molibdeno dopado (como el alambre de lantano y molibdeno) con una composición compleja y optimizar la microestructura de la pieza en bruto mediante un control preciso de los parámetros de prensado y sinterización. La empresa líder mundial utiliza equipos de prensado automatizados para mejorar la eficiencia de la producción.

4.2.2 Tecnología de sinterización al vacío y sinterización a alta temperatura

La sinterización es un paso crítico para convertir la palanquilla prensada en una palanquilla de molibdeno altamente densa y generalmente se lleva a cabo en vacío o atmósfera de hidrógeno para evitar la oxidación.

Sinterización al vacío: En un horno de sinterización al vacío (grado de vacío < 10⁻³ Pa), la temperatura aumenta a 1800-2200 °C y se mantiene caliente durante 4-8 horas. El entorno de vacío elimina eficazmente el oxígeno residual y reduce la porosidad. Después de la sinterización, la densidad de la pieza en bruto puede alcanzar una densidad teórica del 95%-98%, y el tamaño del grano se controla a 10-50 μm.

Sinterización a alta temperatura: Para el alambre de molibdeno dopado (como el alambre de molibdeno y lantano), se requiere sinterización a alta temperatura (2300-2500 °C, manteniéndolo durante 2-4 horas) en una atmósfera de hidrógeno. La protección del hidrógeno evita la volatilización del óxido de lantano o renio y garantiza la estabilidad de los elementos dopados. El horno de sinterización debe estar equipado con un elemento calefactor de tungsteno o molibdeno para soportar altas temperaturas.

Parámetros clave: la temperatura de sinterización, el tiempo de retención y la velocidad de calentamiento deben controlarse con precisión. Una temperatura excesiva (>2600 °C) puede causar un crecimiento excesivo del grano y reducir la resistencia mecánica; Las temperaturas demasiado bajas (<1800 °C) no alcanzarán la densidad deseada. El horno de sinterización de última generación alcanza una precisión de control de temperatura de ±5 °C.

Implicaciones de la aplicación: La pieza en bruto sinterizada de alta densidad proporciona una buena

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

base para las propiedades mecánicas para el trefilado posterior y es adecuada para la fabricación de alambre de molibdeno ultrafino (diámetro <0,05 mm).

4.2.3 Procesos de prensado en caliente, forja y laminación

La pieza en bruto sinterizada se procesa posteriormente mediante prensado en caliente, forjado y laminado para formar una barra o placa adecuada para el trefilado.

Prensado en caliente: En la prensa en caliente (presión 50-100 MPa, temperatura 1500-1800 °C), la pieza en bruto sinterizada se compacta aún más para eliminar la microescorosidad. El prensado en caliente generalmente se lleva a cabo en una atmósfera de vacío o hidrógeno, y la densidad de la palanquilla puede alcanzar más del 99%.

Forja: Las piezas en bruto prensadas en caliente se procesan en barras cilíndricas o cuadradas mediante una máquina de forja multidireccional (temperatura de forja de 1200-1600 °C). La forja refina los granos (de 50 μm a 20-30 μm) y mejora la tenacidad del material. La velocidad de deformación (0,1-0,5 s⁻¹) debe controlarse durante el proceso de forjado para evitar grietas.

Laminación: Las barras forjadas se laminan en barras o placas con un diámetro de 5-10 mm por un laminador en caliente (temperatura 1000-1400 °C). El laminado requiere el uso de múltiples pasadas de pequeña deformación (10%-15% por deformación) para reducir la concentración de tensiones. La superficie de la barra laminada debe pulirse para eliminar las incrustaciones de óxido.

Características del proceso: El proceso de trabajo en caliente mejora las propiedades mecánicas y la procesabilidad de la pieza en bruto, y proporciona un sustrato de alta calidad para el posterior trefilado. Las empresas chinas han mejorado significativamente la precisión dimensional de las barras mediante la introducción de equipos alemanes de laminación en caliente.

4.3 Proceso de trefilado de alambre de molibdeno para iluminación

El proceso de trefilado es el proceso de estirar la varilla de molibdeno en un filamento, que es la tecnología central para preparar el alambre de molibdeno para la iluminación, que determina directamente la precisión dimensional, la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas del alambre.

4.3.1 Embutición gruesa, embutición fina y tecnología de embutición ultrafina

El proceso de trefilado se divide en tres etapas: estirado grueso, embutición fina y embutición ultrafina, y el tamaño del alambre se reduce gradualmente de acuerdo con el diámetro objetivo y los requisitos de la aplicación.

Estirado en bruto: Las barras laminadas (diámetro 5-10 mm) se estiran hasta un diámetro de 0,5-2 mm. La máquina de trefilado de múltiples pasadas (10% -20% de reducción de diámetro por tiempo) se utiliza para el dibujo en bruto, y el material del molde es carburo cementado o diamante natural. La velocidad de estirado es de 1-5 m / min y se requiere estirado en caliente a 600-800 °C para mejorar la ductilidad.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Estirado fino: Estirado del alambre grueso a un diámetro de 0,05-0,5 mm, adecuado para lámparas incandescentes, halógenas y HID. La embutición fina requiere el uso de matrices de alta precisión (tolerancias $\pm 0,001$ mm) y la velocidad de embutición se reduce a 0,5-2 m/min. Se requiere un recocido múltiple (800-1000 °C) durante el proceso de embutición fina para eliminar el endurecimiento por trabajo.

Trefilado ultrafino: Estiramiento del alambre hasta un diámetro de 0,01-0,05 mm, adecuado para lámparas especiales (por ejemplo, lámparas UV). El trefilado ultrafino impone exigencias extremadamente altas a la matriz y al lubricante, requiriendo una matriz de diamante policristalino (precisión del diámetro del orificio $\pm 0,0005$ mm) y una velocidad de estirado de $< 0,5$ m/min. La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno ultrafino puede alcanzar más de 1500 MPa, pero es fácil de romper y los parámetros del proceso deben controlarse estrictamente.

Desafíos técnicos: El rendimiento del trefilado ultrafino es bajo (alrededor del 70%-80%) y pueden producirse fracturas debido a defectos superficiales o tensiones internas en el alambre. La máquina de trefilado de última generación mejora el rendimiento a través del control de tensión en línea y la detección de defectos.

4.3.2 Selección de lubricantes y optimización del diseño de moldes

Los lubricantes y el diseño de la matriz son clave para el proceso de trefilado, lo que afecta directamente la calidad de la superficie del alambre y la eficiencia del trefilado.

Selección de lubricantes: Los lubricantes de emulsión de grafito o disulfuro de molibdeno (MoS_2) se usan comúnmente para el embutición gruesa y fina, con estabilidad a alta temperatura y un bajo coeficiente de fricción (0.1-0.2). El embutición ultrafino requiere el uso de lubricantes a base de aceite (por ejemplo, lubricantes a base de polietilenglicol) para reducir los arañazos en la superficie. El lubricante debe cambiarse regularmente para evitar la contaminación por impurezas.

Diseño del molde: El troquel de trefilado debe estar hecho de materiales de alta dureza (como carburo cementado WC o diamante policristalino PCD). El diámetro del orificio de la matriz debe mecanizarse con precisión (tolerancia $\pm 0,001$ mm), y el ángulo de entrada (8-12°) y la longitud de la zona reductora deben optimizarse para reducir la tensión de trefilado. La superficie del molde necesita ser pulida ($R_a < 0,05 \mu\text{m}$) para reducir la fricción y los defectos superficiales.

Medidas de optimización: El diseño avanzado de herramientas utiliza el análisis de elementos finitos (FEA) para simular la distribución de tensiones durante el trefilado y optimizar la geometría del molde. El sistema de lubricación garantiza una cobertura uniforme del lubricante a través de un dispositivo de pulverización automático y mejora la estabilidad del estirado.

4.3.3 Procesos de recocido intermedio y recocido final

El proceso de recocido se utiliza para eliminar el endurecimiento por trabajo durante el proceso de embutición y restaurar la ductilidad y tenacidad del alambre de molibdeno.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Recocido intermedio: se realiza después de cada 2-3 pasadas de embutición y embutición fina, a una temperatura de 800-1000 °C, manteniéndose durante 10-30 segundos, generalmente en un horno de atmósfera de hidrógeno. El recocido intermedio reduce la tensión interna del alambre en un 50%-70% y mantiene el tamaño de grano en 10-20 μm .

Recocido final: Se realiza después del estirado a una temperatura de 900-1200 °C y se mantiene durante 5-15 segundos, con el objetivo de optimizar las propiedades mecánicas y la calidad de la superficie del hilo. El recocido final debe controlar la velocidad de enfriamiento (10-50 °C/s) para evitar el crecimiento excesivo del grano.

Características del proceso: El horno de recocido debe estar equipado con un sistema de control de temperatura preciso (precisión ± 5 °C) y el caudal de gas hidrógeno se controla a 0,5-1 m^3/h . La temperatura de recocido del alambre de molibdeno dopado (por ejemplo, alambre de lantano y molibdeno) es ligeramente más alta (1000-1300 °C) para garantizar la estabilidad de los elementos dopados.

El proceso de recocido es fundamental para el rendimiento del alambre de molibdeno. Las temperaturas de recocido demasiado altas pueden provocar una recristalización, lo que reduce la resistencia; Las temperaturas demasiado bajas no aliviarán adecuadamente el estrés. El equipo de recocido avanzado puede realizar un recocido en línea y mejorar la eficiencia de la producción.

4.4 Tecnología de tratamiento superficial de alambre de molibdeno para iluminación

La tecnología de tratamiento de superficies es la clave para mejorar la calidad de la superficie, la resistencia a la corrosión y las propiedades ópticas del alambre de molibdeno, cubriendo la limpieza química y el pulido electrolítico, las diferencias de proceso entre el alambre de molibdeno negro y limpio y la tecnología de recubrimiento de superficies.

4.4.1 Limpieza química y electropulido

La limpieza química y el electropulido se utilizan para eliminar óxidos, grasas y residuos de trefilado de la superficie del alambre de molibdeno, mejorando el acabado de la superficie y las propiedades eléctricas.

Limpieza química: Lavar con solución de decapado (como la mezcla HNO_3 -HF, proporción 3:1, concentración 5%-10%) a 40-60°C durante 1-3 minutos para eliminar la capa de óxido superficial (MoO_2 o MoO_3). Después del lavado, enjuague con agua desionizada y seque (100-150 °C) para evitar el ácido residual. La limpieza química es adecuada para la conversión de alambre de molibdeno negro en alambre de molibdeno limpio.

Pulido electrolítico: el alambre de molibdeno se utiliza como ánodo en el electrolito (como solución de NaOH, concentración 5%-10%), la densidad de corriente es de 0.5-2 A / cm^2 y el tiempo de pulido es de 10-30 segundos. El pulido electrolítico reduce la rugosidad de la superficie a Ra 0,1-0,5 μm , mejora la reflectividad (60%-70%) y la resistencia a la corrosión por arco.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características del proceso: bajo costo de limpieza química, adecuado para la producción a gran escala; El pulido electrolítico tiene una mayor precisión y es adecuado para lámparas de gama alta (como lámparas halógenas, lámparas HID). El tratamiento de líquidos residuales debe cumplir con los estándares ambientales (como la directiva RoHS), y la tecnología de neutralización y sedimentación se utiliza para tratar líquidos residuales ácidos y alcalinos.

4.4.2 Diferencias de proceso entre el alambre de molibdeno negro y el alambre de molibdeno limpio

Existen diferencias significativas entre el alambre de molibdeno negro y el alambre de molibdeno limpio en términos de tratamiento de superficies, procesos y escenarios de aplicación.

Alambre de molibdeno negro: retiene una capa de óxido (MoO_2 o MoO_3) en la superficie con una rugosidad de R_a 0,5-2,0 μm . Después del estirado, recocido (600-800 °C) en aire o bajo vacío (10-100 Pa) directamente para formar una capa de óxido. El alambre de molibdeno negro es adecuado para filamentos de soporte o materiales de sellado para lámparas incandescentes de bajo costo, porque la capa de óxido mejora la adhesión al vidrio, pero la estabilidad del arco es pobre.

Alambre de molibdeno limpio: la capa de óxido se elimina mediante limpieza química o pulido electrolítico, y la superficie es brillante con una rugosidad de R_a 0,1-0,5 μm . La conductividad y la resistencia a la corrosión por arco del alambre de molibdeno limpio son mejores que las del alambre de molibdeno negro, y es adecuado para electrodos de lámparas halógenas y lámparas HID. Se requieren pasos adicionales de limpieza y pulido en la producción, lo que aumenta el costo en aproximadamente un 20%-30%.

Diferencias de proceso: la producción de alambre de molibdeno negro omite el paso de tratamiento de la superficie y el proceso es simple; El alambre de molibdeno limpio debe tener parámetros de limpieza y pulido estrictamente controlados para garantizar que no haya defectos residuales en la superficie. La producción de alambre de molibdeno limpio requiere un equipo de pulido de alta precisión.

4.4.3 Tecnologías de recubrimiento de superficies (por ejemplo, recubrimientos antioxidantes)

La tecnología de recubrimiento de superficies mejora el rendimiento del alambre de molibdeno en entornos hostiles al depositar recubrimientos resistentes a la oxidación o la corrosión (por ejemplo, alúmina Al_2O_3 , siliciuro de molibdeno MoSi_2) en la superficie.

Tipo de recubrimiento: el recubrimiento de alúmina (espesor 0.1-1 μm) puede mejorar la resistencia a la oxidación, adecuado para lámparas infrarrojas; El recubrimiento de siliciuro de molibdeno (0,5-2 μm de espesor) mejora la resistencia a la corrosión por arco y es adecuado para lámparas UV. Los recubrimientos de carburo, como el Mo_2C , se utilizan en entornos de temperaturas extremadamente altas.

Proceso de preparación: Deposición química de vapor (CVD, temperatura 800-1200 °C) o deposición física de vapor (PVD, temperatura 500-800 °C) para depositar el recubrimiento. El CVD

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

es adecuado para formas complejas de alambre de molibdeno, mientras que el PVD proporciona una mayor uniformidad del recubrimiento. El recubrimiento debe estar firmemente adherido a la matriz de molibdeno para evitar que se pele.

Características del proceso: El proceso de recubrimiento debe llevarse a cabo en vacío o atmósfera inerte, y el costo del equipo es alto (por ejemplo, el precio del horno CVD es aproximadamente 2-3 veces mayor que el del horno de sinterización ordinario). El espesor del recubrimiento se mide mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y la adherencia se verifica mediante ensayos de tracción.

Impacto de la aplicación: el alambre de molibdeno recubierto puede aumentar la temperatura de oxidación a más de 1500 °C y prolongar la vida útil de las lámparas entre un 20% y un 30%, pero el costo es alto y la aplicación en el mercado se limita a lámparas especiales de alta gama.

4.5 Proceso de dopaje del alambre de molibdeno para iluminación

El proceso de dopaje es una tecnología clave para mejorar el rendimiento a alta temperatura y la durabilidad del alambre de molibdeno, que implica el método de dopaje, el control de la uniformidad y el mecanismo de mejora del rendimiento del lantano, el renio y otros elementos.

4.5.1 Métodos de dopaje de lantano, renio y otros elementos

Los métodos de dopaje incluyen principalmente el dopaje en húmedo, el dopaje en seco y la coprecipitación química.

Dopaje húmedo: El polvo de molibdeno se mezcla con un material dopado (por ejemplo, óxido de lantano) en un medio líquido (por ejemplo, etanol o agua desionizada) y la homogeneidad se garantiza mediante dispersión ultrasónica (frecuencia 20-40 kHz durante 1-2 horas). Después de la mezcla, el polvo compuesto se prepara mediante secado por pulverización (temperatura de entrada 200-250 °C). El dopaje húmedo es adecuado para el óxido de lantano y el óxido de itrio, y tiene una alta uniformidad, pero el proceso de secado debe controlarse para evitar la aglomeración de partículas.

Dopaje en seco: el polvo de molibdeno se mezcla en seco con materiales dopados mediante un mezclador de tipo V o de doble cono, y el tiempo de mezcla es de 4 a 8 horas. El dopaje en seco es adecuado para el polvo de renio, porque el renio es fácil de oxidar en líquido. La velocidad del mezclador (20-50 rpm) debe controlarse para evitar la estratificación del polvo.

Coprecipitación química: el polvo dopado se prepara por reacción química (como la coprecipitación de nitrato de lantano y molibdato de amonio), que es adecuada para el dopaje multielemento (como lantano + itrio). El valor de pH (6-8) y la temperatura de reacción (50-80 °C) deben controlarse para la coprecipitación para garantizar una distribución uniforme de los elementos dopados.

Características del proceso: la uniformidad del dopaje húmedo es la mejor, adecuada para la producción a gran escala; El equipo de dopaje en seco es simple y adecuado para el dopaje con renio;

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La coprecipitación química tiene alta precisión, pero alto costo, y es adecuada para alambre de molibdeno especial.

4.5.2 Control de uniformidad del dopaje

La uniformidad del dopaje afecta directamente la estabilidad del rendimiento del alambre de molibdeno. El control de uniformidad incluye las siguientes medidas:

Mezcla de polvo: Utilizando equipos de mezcla de alta precisión, la distribución de los elementos dopados se verifica mediante muestreo en línea y análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), y la desviación se controla al $\pm 0,01\%$.

Proceso de sinterización: La temperatura de sinterización (1800-2500 °C) y el tiempo de retención (2-8 horas) deben optimizarse para evitar la volatilización o segregación de los elementos dopantes. Por ejemplo, el óxido de lantano puede descomponerse parcialmente a > 2300 °C, y es necesario controlar la atmósfera de sinterización (punto de rocío de hidrógeno < -40 °C).

Tecnología de detección: Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) combinada con espectroscopia de energía (EDS) para detectar la distribución de partículas dopadas, y el espaciamiento de partículas se controló a 0,5-2 μm . La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno con alta uniformidad se puede aumentar en un 20% -30% a alta temperatura.

4.5.3 Mecanismo de dopaje para mejorar el rendimiento a altas temperaturas

El dopaje mejora el rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno a través de los siguientes mecanismos:

Fortalecimiento del límite del grano: el óxido de lantano, el óxido de itrio, etc. se dispersan en forma de nanopartículas en el límite del grano de molibdeno, se fijan a la dislocación e inhiben el crecimiento y la fluencia del grano. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano al 0,8% tiene una tasa de fluencia un 50% más baja a 1500 °C que el alambre de molibdeno puro.

Fortalecimiento de la solución: El renio se disuelve en la red de molibdeno para formar una solución sólida, lo que reduce la densidad de los defectos cristalinos y mejora la ductilidad y la resistencia a la oxidación. La elongación a la rotura del alambre de molibdeno dopado con renio al 3% se incrementa al 20% a 1200 °C.

Estabilidad de la superficie: Los elementos dopados pueden formar una estructura superficial estable e inhibir la volatilización del óxido. Por ejemplo, las partículas de óxido de lantano forman una capa protectora de óxido a altas temperaturas, lo que reduce la tasa de formación de MoO_3 .

4.6 Control de calidad y optimización del proceso de alambre de molibdeno para iluminación

El control de calidad y la optimización de procesos son clave para garantizar un rendimiento y una productividad constantes del alambre de molibdeno, incluida la supervisión de los parámetros del

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

proceso, el control de defectos y la optimización de costes.

4.6.1 Monitorización en línea de los parámetros del proceso

La monitorización en línea garantiza la estabilidad del proceso de producción mediante la detección de los parámetros del proceso en tiempo real.

Parámetros de control: incluida la temperatura de sinterización (± 5 °C), la velocidad de estirado ($\pm 0,1$ m/min), la temperatura de recocido (± 10 °C), el caudal de lubricante ($\pm 0,1$ L/min). Registro en tiempo real con sensores (por ejemplo, termopares, velocímetros láser) y sistemas de adquisición de datos.

Equipo de monitoreo: el sistema de monitoreo avanzado puede realizar el control automático de todo el proceso y optimizar los parámetros a través del análisis de big data. Por ejemplo, las fluctuaciones de tensión durante el proceso de embutición se controlan a $\pm 0,5$ N.

Impacto de la aplicación: el monitoreo en línea puede reducir la tasa de fallas a menos del 1%, mejorar la precisión dimensional y la consistencia del rendimiento del alambre de molibdeno y satisfacer las necesidades de las lámparas de gama alta.

4.6.2 Control de defectos (grietas, porosidad, inclusiones)

El control de defectos es clave para mejorar la calidad del alambre de molibdeno, y los defectos comunes incluyen grietas, porosidad e inclusiones.

Grietas: Causadas por tensión de trefilado o recocido inadecuado. Las medidas de control incluyen la optimización de la matriz de trefilado (ángulo de entrada de 8-12°), la reducción de la velocidad de estirado ($< 0,5$ m/min para ultrafilamento) y el recocido intermedio (800-1000°C). La detección de grietas se realiza mediante detección ultrasónica de defectos o inspección microscópica.

Porosidad: causada por una sinterización insuficiente o por impurezas de las materias primas. Las medidas de control incluyen el aumento de la temperatura de sinterización (2200-2500 °C), la extensión del tiempo de retención (4-8 horas) y el uso de hidrógeno de alta pureza (punto de rocío < -40 °C). La porosidad se detectó mediante tomografía computarizada de rayos X y la porosidad se controló al $< 0,5\%$.

Inclusiones: causadas por contaminación o dopaje desigual de las materias primas. Las medidas de control incluyen una limpieza estricta de las materias primas (limpieza HNO_3) y el uso de dopaje húmedo. La detección de inclusiones se llevó a cabo mediante espectroscopia de energía (EDS) y el contenido de impurezas se controló en un $< 0,01\%$.

4.6.3 Productividad y optimización de costes

La eficiencia de la producción y la optimización de costos son la clave para la competitividad de la industria del alambre de molibdeno.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Mejora de la eficiencia: la máquina de trefilado continuo (como el equipo alemán Niehoff) se utiliza para aumentar la velocidad de trefilado a 5-10 m / min, y la tasa de rendimiento aumenta a más del 90%. Los equipos automatizados de sinterización y recocido pueden reducir los tiempos de ciclo de producción hasta en un 20%.

Optimización de costes: Reduzca los costes de las materias primas reciclando los materiales de desecho (por ejemplo, cables rotos) en el proceso de trefilado, con una tasa de recuperación de chatarra de hasta el 30%. El uso optimizado de lubricante (reducción del 10%-20%) y el consumo de energía (reducción del 15% en el consumo de energía del horno de sinterización) reducen aún más los costes.

Medidas de protección del medio ambiente: Los sistemas de tratamiento de líquidos residuales (como los equipos de neutralización y sedimentación) garantizan el cumplimiento de las normativas RoHS y REACH y reducen los costes de protección del medio ambiente. Las tecnologías de fabricación ecológicas, como los hornos de sinterización de baja energía, pueden reducir el consumo de energía entre un 10% y un 15%.

Las empresas chinas tienen ventajas en la optimización de costos, pero aún necesitan aprender de las empresas europeas y estadounidenses en la consistencia del proceso del alambre de molibdeno dopado de alta gama.



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 5 El uso del alambre de molibdeno para la iluminación

El alambre de molibdeno para iluminación juega un papel clave en una variedad de dispositivos de iluminación debido a su excelente rendimiento a altas temperaturas, estabilidad química y resistencia mecánica. Este capítulo discutirá en detalle las aplicaciones específicas del alambre de molibdeno en lámparas incandescentes, lámparas halógenas, lámparas de descarga de gas, iluminación especializada y otros campos relacionados, y analizará sus funciones, requisitos de rendimiento y estado del mercado.

5.1 Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes fueron los primeros dispositivos de iluminación ampliamente utilizados, y aunque su mercado se ha reducido gradualmente debido al auge de las luces LED, todavía son muy utilizadas en iluminación decorativa, lámparas retro y escenas de bajo costo. El filamento de molibdeno se utiliza principalmente como soporte de filamento y componente conductor en lámparas incandescentes, y se ha convertido en un material indispensable debido a su estabilidad a altas temperaturas y compatibilidad de expansión térmica con el vidrio.

5.1.1 Soporte del filamento y función conductora

En las lámparas incandescentes, la función principal del filamento de molibdeno es soportar el filamento de tungsteno y actuar como electrodo conductor, asegurando una transmisión de corriente estable y manteniendo la geometría del filamento. Las lámparas incandescentes funcionan calentando filamentos de tungsteno con una corriente eléctrica para producir luz visible, y los filamentos de molibdeno necesitan mantener la estabilidad estructural y las propiedades eléctricas en este entorno de alta temperatura.

Soporte del filamento: El filamento de tungsteno es propenso a reblandecerse o hundirse a altas temperaturas, lo que provoca una salida de luz desigual o la rotura del filamento. El filamento de molibdeno se utiliza como material de soporte para mantener el filamento en una posición designada en el interior de la bombilla, generalmente en una estructura en espiral o en forma de U enrollada con filamento de tungsteno. La alta resistencia a la tracción del alambre de molibdeno garantiza que pueda soportar el peso y el estrés térmico del filamento. El alambre de molibdeno puro con un diámetro de 0,1-0,5 mm es una opción común debido a su bajo costo y buena procesabilidad.

Función conductora: El alambre de molibdeno actúa como un electrodo para introducir la corriente de la fuente de alimentación externa en el interior de la bombilla y conectarse con el filamento de tungsteno. Su baja resistividad reduce la pérdida de calor Joule y mejora la eficiencia energética. El alambre de molibdeno también debe sellarse con vidrio para formar una estructura hermética que evite fugas de vacío o gas inerte. Su coeficiente de expansión térmica coincide con el del vidrio de borosilicato, lo que garantiza que el área de sellado no se agriete durante el ciclo térmico.

Características del proceso: El alambre de molibdeno para la lámpara incandescente es principalmente alambre de molibdeno puro, y la superficie suele ser alambre de molibdeno negro, porque la capa de óxido puede mejorar la adhesión con el vidrio. En la producción, el alambre de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

molibdeno se requiere a través de un proceso de trefilado y corte de precisión para garantizar tolerancias y longitudes de diámetro consistentes. El equipo de ensamblaje automático puede combinar con precisión alambre de molibdeno con filamento de tungsteno para mejorar la eficiencia de producción.

Escenario de aplicación: El rango de potencia de las lámparas incandescentes es de 15-1000 W, y el alambre de molibdeno se usa principalmente en bombillas domésticas, luces decorativas e iluminación industrial. Las bombillas de baja potencia requieren menos rendimiento de los cables de molibdeno, mientras que las bombillas de alta potencia requieren cables de molibdeno más gruesos para transportar corrientes más altas.

La tecnología de aplicación del alambre de molibdeno en lámparas incandescentes está madura y el mercado global está dominado por China, India y el sudeste asiático para satisfacer la demanda de iluminación de bajo costo.

5.1.2 Estabilidad y vida útil en entornos de alta temperatura

La lámpara incandescente funciona en vacío o gas inerte a baja presión con una temperatura interna de más de 2500 °C, y el alambre de molibdeno debe mantener la estabilidad mecánica y química a altas temperaturas para prolongar la vida útil de la lámpara.

Estabilidad mecánica: La resistencia a la tracción y a la fluencia del alambre de molibdeno a altas temperaturas son clave. La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno puro a 1500 °C es suficiente para soportar el filamento de tungsteno, pero su tasa de fluencia puede causar la deformación de la estructura de soporte después de un funcionamiento a largo plazo. Con el fin de mejorar la estabilidad, el alambre de molibdeno dopado se puede utilizar para lámparas incandescentes de alta potencia, lo que reduce la tasa de fluencia en más del 50% y es adecuado para luminarias industriales de más de 1000 W.

Estabilidad química: La lámpara incandescente se encuentra en un entorno de vacío o argón/nitrógeno, y el alambre de molibdeno no necesita enfrentar problemas de oxidación, pero puede reaccionar con oxígeno residual o vapor de agua en cantidades mínimas a altas temperaturas para generar MoO₃ volátil. El proceso de aspiración de bombillas o la pureza del gas deben controlarse estrictamente en la producción para proteger el alambre de molibdeno. La capa de óxido del alambre de molibdeno negro es estable en un entorno de vacío y no afecta significativamente el rendimiento.

Impacto en la vida: La estabilidad del alambre de molibdeno afecta directamente la vida útil de las lámparas incandescentes. La deformación o fractura del cable de soporte puede hacer que el filamento de tungsteno se desplace, causando un cortocircuito o un decaimiento de la luz. La falla del electrodo herméticamente sellado puede introducir aire, lo que resulta en una rápida oxidación del filamento y el filamento de molibdeno. Los estudios han demostrado que la optimización de la calidad de la superficie del alambre de molibdeno y el proceso de sellado pueden prolongar la vida útil de la luminaria entre un 10% y un 20%.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Optimización del proceso: El recocido intermedio en la producción mejora la ductilidad del alambre de molibdeno y reduce el riesgo de fragilización a altas temperaturas. La limpieza de la superficie elimina las trazas de impurezas y mejora aún más la estabilidad química. Las empresas chinas garantizan la confiabilidad del alambre de molibdeno y la vida útil de las lámparas y linternas a través de equipos de sellado automático y tecnología de prueba en línea.

Aunque el mercado de alambre de molibdeno para lámparas incandescentes se está reduciendo gradualmente, su demanda de iluminación decorativa es estable y se espera que aún represente el 15% -20% del mercado de alambre de molibdeno para lámparas de 2025 a 2030.

5.2 Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas se utilizan ampliamente en la iluminación de automóviles, la iluminación del hogar y la iluminación profesional para mejorar la eficiencia luminosa y la longevidad a través del ciclo halógeno. El alambre de molibdeno se utiliza como electrodo, alambre de soporte y material de sellado en lámparas halógenas y está sujeto a temperaturas y entornos químicos más altos.

5.2.1 El papel clave del alambre de molibdeno en el ciclo del halógeno

El principio de funcionamiento de la lámpara halógena es agregar una pequeña cantidad de gas halógeno a la bombilla, que reacciona con los átomos de tungsteno evaporados para formar haluro de tungsteno volátil, lo que evita que el tungsteno se deposite en la pared interna de la bombilla y hace que el tungsteno se deposite nuevamente en el filamento para prolongar la vida útil del filamento. El alambre de molibdeno juega un papel clave en este ciclo.

Función del electrodo: El alambre de molibdeno actúa como un electrodo para introducir la corriente en el filamento de tungsteno, que debe soportar alto voltaje y alta corriente instantánea. Su baja resistividad y alta conductividad garantizan una transmisión de corriente eficiente y reducen la pérdida de energía. El electrodo de alambre de molibdeno también debe sellarse al vidrio para mantener un ambiente de alto voltaje dentro de la bombilla.

Función de soporte: El alambre de molibdeno soporta el filamento de tungsteno para evitar que vibre o se hunda a altas temperaturas y ciclos halógenos. Se prefiere el alambre de lantano y molibdeno con un diámetro de 0,05-0,3 mm porque su resistencia a la tracción y a la fluencia a altas temperaturas son superiores a las del alambre de molibdeno puro.

Soporte de ciclo halógeno: El alambre de molibdeno está en contacto directo con el gas halógeno y debe ser resistente a la corrosión química. El ciclo del halógeno crea un área caliente cerca de la pared interna de la bombilla, y la superficie del alambre de molibdeno debe ser estable y no formar compuestos volátiles con yodo o bromo. Los estudios han demostrado que el alambre de molibdeno tiene una tasa de corrosión mucho mejor que el tungsteno en un entorno de yodo.

Características del proceso: El alambre de molibdeno para lámparas halógenas es principalmente alambre de molibdeno limpio, y el acabado superficial y la resistencia a la corrosión se mejoran

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

mediante pulido electrolítico. El proceso de sellado debe controlarse con precisión en la producción para garantizar la hermeticidad al aire y la estabilidad del gas halógeno.

Escenarios de aplicación: Las lámparas halógenas se utilizan ampliamente en faros de automóviles, focos domésticos e iluminación de escenarios. Las lámparas halógenas para automóviles representan más del 50% del mercado de lámparas halógenas, y los requisitos de confiabilidad para el alambre de molibdeno son extremadamente altos.

La estabilidad y la resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno en el ciclo halógeno lo convierten en el material central de las lámparas halógenas, y el mercado global está dominado por Europa y China.

5.2.2 Resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión química

La temperatura de trabajo de las lámparas halógenas es mucho más alta que la de las lámparas incandescentes, la temperatura del filamento puede alcanzar los 3000 °C, la temperatura de la pieza de sellado es de 600-800 °C y el alambre de molibdeno debe tener una excelente resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión química.

Resistencia a altas temperaturas: el alambre de molibdeno necesita mantener la resistencia mecánica y la estabilidad estructural a 1500-2000 °C. Debido al dopaje del óxido de lantano, la temperatura de recristalización del alambre de lantano de molibdeno aumenta a 1800 °C, y la resistencia a la tracción puede alcanzar los 400 MPa a 1500 °C, y la tasa de fluencia es menor que la del alambre de molibdeno puro. Por el contrario, el alambre de molibdeno puro es propenso a deformarse a 1500 °C. El excelente rendimiento del alambre de molibdeno y lantano garantiza la fiabilidad del soporte del filamento y del electrodo en el funcionamiento a alta temperatura a largo plazo.

Resistencia química: El gas halógeno es altamente corrosivo a altas temperaturas y el alambre de molibdeno necesita resistir su erosión. La estabilidad química del molibdeno le permite formar una estructura superficial estable en un entorno halógeno sin la formación de haluros volátiles. El alambre de molibdeno limpio tiene menos defectos superficiales y la tasa de corrosión es aproximadamente un 30% más baja que la del alambre de molibdeno negro. El alambre de molibdeno dopado mejora aún más la resistencia a la corrosión al formar una capa superficial resistente a la corrosión.

Optimización del proceso: La resistencia a la corrosión se mejora mediante la pasivación de la superficie en la producción. El electropulido reduce la rugosidad de la superficie a Ra 0,2 μm, reduciendo el punto de inicio de la corrosión. El proceso de sellado debe controlar la composición del vidrio para garantizar que coincida con la expansión térmica del alambre de molibdeno.

Efecto de la vida: La resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno determinan directamente la vida útil de la lámpara halógena. Los estudios han demostrado que la vida útil de las lámparas halógenas que utilizan alambre de molibdeno y lantano puede alcanzar las 4000 horas, que es un 50% más que la de las lámparas de filamento de molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

puro. La optimización de la calidad de la superficie y la estanqueidad del sello puede prolongar aún más la vida útil entre un 10% y un 20%.

El alambre de molibdeno para lámparas halógenas representa más del 30% del mercado de alambre de molibdeno para lámparas, y se espera que mantenga un crecimiento estable debido a la demanda de iluminación automotriz de 2025 a 2030.

5.3 Lámparas de descarga de gas

Las lámparas de descarga de gas producen luz a través de la descarga de gas, que tienen una alta eficiencia luminosa y una larga vida útil, y son ampliamente utilizadas en iluminación comercial, industrial y exterior. El alambre de molibdeno se utiliza principalmente como electrodo y material de sellado en lámparas de descarga de gas, que debe soportar alto voltaje, arco de alta temperatura y un entorno químico complejo.

5.3.1 Alambre de molibdeno para lámparas de descarga de alta intensidad (HID).

Las lámparas de descarga de gas de alta intensidad incluyen lámparas de halogenuros metálicos, lámparas de sodio de alta presión y lámparas de xenón con eficiencias luminosas de 100-150 lm / W y son ampliamente utilizadas en iluminación de carreteras, estadios y plantas industriales. El alambre de molibdeno se utiliza como electrodo y material de sellado en lámparas HID y debe cumplir con requisitos de rendimiento extremadamente altos.

Función del electrodo: la lámpara HID genera luz a través de la descarga del arco, y el electrodo debe soportar alto voltaje y alta corriente instantánea. El alto punto de fusión y la conductividad del alambre de molibdeno aseguran que no se derrita ni sufra pérdidas significativas a altas temperaturas de arco. Se prefiere el alambre de molibdeno-lantano o el alambre de molibdeno-renio con un diámetro de 0,03-0,2 mm debido a su excelente resistencia a la corrosión por arco y resistencia a altas temperaturas.

Función de sellado: El alambre de molibdeno se sella con cerámica o vidrio para mantener un ambiente de alta presión dentro de la bombilla. Su coeficiente de expansión térmica es similar al de las cerámicas de alúmina y permite un sellado fiable a través de materiales de transición. La parte de sellado debe soportar el cambio de temperatura cíclico de 500-700 °C, y la hermeticidad del alambre de molibdeno afecta directamente la vida útil de la lámpara.

Requisitos de rendimiento: Los electrodos de lámpara HID deben resistir la corrosión de la superficie y la pulverización catódica causada por la formación de arcos. Debido al dopaje del óxido de lantano, el alambre de lantano y molibdeno tiene una tasa de resistencia a la corrosión por arco un 20% más baja que la del alambre de molibdeno puro. La ductilidad del alambre de renio y molibdeno lo hace adecuado para formas complejas de electrodos y mejora la estabilidad del arco.

Características del proceso: El alambre de molibdeno utilizado para la lámpara HID es en su mayoría alambre de molibdeno limpio, lo que mejora el acabado de la superficie y la estabilidad del arco a través del pulido electrolítico. El trefilado de precisión y el recocido a alta temperatura se utilizan

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

en la producción para garantizar la consistencia del alambre. El proceso de sellado se lleva a cabo en una atmósfera inerte y el gradiente de temperatura se controla para evitar el agrietamiento por tensión.

Escenarios de aplicación: las lámparas de halogenuros metálicos se utilizan para la iluminación comercial, las lámparas de sodio de alta presión se utilizan para la iluminación de carreteras y las lámparas de xenón se utilizan para faros de automóviles y equipos de proyección. Las lámparas HID representan el 70% del mercado de lámparas de descarga de gas, y la cantidad de alambre de molibdeno utilizado en las lámparas representa el 25%.

5.3.2 Materiales de los electrodos de las lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes excitan los fósforos para producir luz a través de la descarga de vapor de mercurio, con una eficiencia luminosa de 50-100 lm / W, y se usan ampliamente en la iluminación de oficinas, escuelas y hogares. El alambre de molibdeno se utiliza principalmente como material de electrodo en lámparas fluorescentes y es responsable de iniciar y mantener la descarga.

Función del electrodo: Los electrodos de lámpara fluorescente están sujetos a una descarga de bajo voltaje, que se inicia por emisión térmica de electrones. Como sustrato del electrodo, el alambre de molibdeno generalmente está recubierto con el material emisor para reducir la función de trabajo y mejorar la eficiencia de emisión. El alambre de molibdeno puro o el alambre de lantano de molibdeno con un diámetro de 0,05-0,2 mm es una opción común.

Requisitos de rendimiento: El alambre de molibdeno debe resistir la corrosión química del vapor de mercurio y el choque térmico del arco. La tasa de corrosión del alambre de molibdeno puro en vapor de mercurio satisface las necesidades de las lámparas fluorescentes. El alambre de lantano y molibdeno es adecuado para lámparas fluorescentes de alta potencia debido a su mayor resistencia a la corrosión por arco.

Características del proceso: El alambre de molibdeno utilizado en las lámparas fluorescentes se limpia principalmente con alambre de molibdeno, y el óxido de la superficie se elimina mediante limpieza química para garantizar la adhesión del recubrimiento de emisión. La formación de electrodos requiere un estampado o bobinado de precisión para controlar el espaciado de los electrodos y garantizar la estabilidad de la descarga. El proceso de sellado debe combinarse con vidrio de borosilicato y la temperatura de sellado se controla a 600-700 °C.

Escenarios de aplicación: Las lámparas fluorescentes incluyen lámparas fluorescentes de tubo recto, lámparas fluorescentes compactas y lámparas fluorescentes anulares. Las lámparas fluorescentes compactas representan el 50% del mercado de lámparas fluorescentes y se utilizan ampliamente en la iluminación del hogar. Aunque las lámparas LED están reemplazando gradualmente a las lámparas fluorescentes, las lámparas fluorescentes todavía tienen demanda en los países en desarrollo, y el alambre de molibdeno representa el 10% del alambre de molibdeno de las lámparas.

Estado del mercado: El mercado de lámparas fluorescentes se ha reducido debido a las regulaciones

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

ambientales, pero su ventaja de bajo costo le ha permitido permanecer en Asia y África. China es un importante productor de alambre de molibdeno para lámparas fluorescentes, que se exporta a la India y el sudeste asiático.

El alambre de molibdeno para lámparas fluorescentes tiene un umbral técnico bajo, pero la calidad del recubrimiento y el sellado de los electrodos debe controlarse estrictamente para garantizar el rendimiento y la longevidad de la puesta en marcha.

5.4 Iluminación especial

La iluminación especializada está diseñada para un espectro, entorno o uso específico, incluidos los faros de automóviles, las luces de proyección, la iluminación de escenarios, las luces UV, las luces infrarrojas y la iluminación médica. El alambre de molibdeno debe cumplir con los requisitos de alta confiabilidad, formas complejas y entornos extremos en iluminación especial.

5.4.1 Faros y faros antiniebla

Los faros delanteros y antiniebla de los automóviles requieren un alto brillo, una larga vida útil y resistencia a las vibraciones, y los cables de molibdeno se utilizan principalmente para electrodos, cables de soporte y materiales de sellado para lámparas halógenas y lámparas de xenón.

Función: En los faros halógenos, el cable de molibdeno actúa como electrodo y cable de soporte, soporta un voltaje de 12-24 V y una corriente de 5-10 A, soportando el filamento de tungsteno. En las lámparas de xenón, el alambre de molibdeno actúa como electrodo y se somete a una tensión de arranque de 20-30 kV y a una alta temperatura de arco. El alambre de molibdeno también debe sellarse con vidrio o cerámica para mantener un entorno de alta presión.

Requisitos de rendimiento: Las lámparas automotrices deben resistir la vibración y los ciclos térmicos. El alambre de lantano y molibdeno y el alambre de renio molibdeno son adecuados para lámparas de automóviles debido a su excelente resistencia y ductilidad a altas temperaturas. La resistencia a la corrosión del arco y el acabado de la superficie son fundamentales para la estabilidad del arco.

Características del proceso: El alambre de molibdeno utilizado para las lámparas de automóviles es principalmente alambre de molibdeno limpio, lo que mejora la resistencia a la corrosión mediante pulido electrolítico. Los electrodos deben moldearse con precisión con una tolerancia de $\pm 0,005$ mm. El proceso de sellado requiere el uso de equipos automatizados para garantizar la hermeticidad y la consistencia.

Escenario de aplicación: Los faros halógenos representan el 60% del mercado de iluminación automotriz y las lámparas de xenón representan el 20%, utilizadas principalmente en modelos de gama alta. Los faros antiniebla utilizan lámparas halógenas con más frecuencia porque necesitan penetrar en la niebla. La producción mundial de automóviles impulsa la demanda de alambre de molibdeno, que representa el 20% del alambre de molibdeno utilizado en las lámparas.

Estado del mercado: Europa y China son los principales mercados, y las empresas chinas ocupan el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

mercado de gama baja a través de ventajas de costos.

5.4.2 Lámparas de proyección, iluminación escénica y luces fotográficas

Las lámparas de proyección, la iluminación de escenarios y las lámparas fotográficas requieren un alto brillo, un haz preciso y una larga vida útil, y el alambre de molibdeno se utiliza principalmente como electrodos y materiales de soporte para lámparas HID y lámparas halógenas.

Función: En las lámparas de proyección, el alambre de molibdeno actúa como un electrodo de lámpara HID, sujeto a un voltaje de arranque de 10-20 kV y una alta temperatura de arco. La iluminación escénica y las luces fotográficas utilizan principalmente lámparas halógenas o lámparas de xenón, y los cables de molibdeno se utilizan como cables de soporte y electrodos para soportar filamentos de tungsteno o arcos guía. El alambre de molibdeno-lantano o el alambre de molibdeno-renio con un diámetro de 0,05-0,2 mm es una opción común.

Requisitos de rendimiento: se requiere una alta estabilidad del arco y resistencia al choque térmico. El alambre de renio y molibdeno es adecuado para formas complejas de electrodos debido a su excelente ductilidad. El acabado de la superficie reduce las salpicaduras de arco y mejora la eficiencia de la salida de luz.

Características del proceso: El alambre de molibdeno para lámpara de proyección necesita trefilado ultrafino y tratamiento de pasivación superficial para mejorar la resistencia a la corrosión. El alambre de molibdeno para luces de escenario debe recocerse a alta temperatura para mejorar la resistencia a la fluencia. El proceso de sellado debe combinarse con cerámicas de alúmina de alta pureza y la temperatura se controla a 800-1000 °C.

Escenarios de aplicación: las lámparas de proyección se utilizan para exhibiciones educativas y comerciales, la iluminación de escenarios se utiliza para teatros y conciertos, y las luces de fotografía se utilizan para rodajes de cine y televisión. El tamaño del mercado mundial de iluminación profesional está impulsando la demanda de alambre de molibdeno, que representa el 10% del alambre de molibdeno utilizado en lámparas.

Estado del mercado: las empresas extranjeras son los principales proveedores y las empresas chinas son competitivas en el mercado de gama baja.

5.4.3 Lámparas ultravioletas, lámparas infrarrojas e iluminación médica

La iluminación ultravioleta, infrarroja y médica son específicas para un espectro o aplicación específica, y los filamentos de molibdeno deben cumplir con una alta estabilidad química y requisitos ambientales complejos.

Lámpara ultravioleta: utilizada para la esterilización, curado y tratamiento de agua, el alambre de molibdeno se utiliza como electrodo para resistir la descarga de vapor de mercurio. Se prefiere el alambre de molibdeno itrio o el alambre de cerio de molibdeno debido a su fuerte resistencia a la corrosión por mercurio. El recubrimiento de la superficie puede aumentar aún más la vida útil.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Lámpara infrarroja: utilizada para calefacción y secado industrial, alambre de molibdeno como alambre de soporte o electrodo, soporta altas temperaturas de 2000-2500 °C. El alambre de lantano y molibdeno es adecuado para lámparas infrarrojas debido a su excelente resistencia a la fluencia. El acabado de la superficie mejora la eficiencia de la radiación.

Iluminación médica: como lámparas quirúrgicas y dentales, que utilizan lámparas halógenas o lámparas HID, alambre de molibdeno como electrodos y cables de soporte, requieren una alta confiabilidad y una salida de luz precisa. La ductilidad del alambre de molibdeno-renio lo hace adecuado para diseños de electrodos complejos.

Características del proceso: el alambre de molibdeno para lámpara ultravioleta necesita trefilado de precisión y pasivación de superficie, el alambre de molibdeno para lámpara infrarroja necesita recocido a alta temperatura y el alambre de molibdeno para lámpara médica necesita una detección estricta de defectos. El proceso de sellado debe combinarse con vidrio especial y la temperatura se controla a 900-1100 °C.

Escenarios de aplicación: Las lámparas UV se utilizan en hospitales y tratamiento de aguas, las lámparas infrarrojas se utilizan para calefacción industrial y la iluminación médica se utiliza en quirófanos. El mercado de la iluminación especial tiene un alto valor agregado, y la cantidad de alambre de molibdeno representa el 10% del alambre de molibdeno utilizado en las lámparas.

Estado del mercado: las empresas extranjeras son los principales proveedores y las empresas chinas están aumentando gradualmente en el campo del alambre de molibdeno para lámparas ultravioleta.

5.5 Otros ámbitos de aplicación

Además de la iluminación, el alambre de molibdeno también tiene importantes aplicaciones en electrónica de vacío, electroerosión y hornos de alta temperatura, lo que demuestra su versatilidad.

5.5.1 Electrónica de vacío (tubos, tubos de rayos X)

La electrónica de vacío utiliza el movimiento de electrones en el vacío para lograr la amplificación de la señal o la obtención de imágenes, y el alambre de molibdeno se utiliza como electrodo, puerta o material de soporte.

Función: En los tubos de electrones, el alambre de molibdeno actúa como cátodo o puerta para soportar altas temperaturas y el bombardeo de electrones. En un tubo de rayos X, el alambre de molibdeno actúa como un soporte o electrodo objetivo y está sujeto a altos voltajes y arcos. El alambre de molibdeno-lantano o el alambre de molibdeno-renio con un diámetro de 0,05-0,2 mm es una opción común.

Requisitos de rendimiento: se requiere alta conductividad, resistencia a la corrosión por arco y estabilidad a altas temperaturas. El alambre de renio y molibdeno es adecuado para estructuras de puerta complejas debido a su excelente ductilidad. El acabado superficial reduce la falta de uniformidad de la emisión de electrones.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características del proceso: se requiere trefilado ultrafino y pulido electrolítico, y el proceso de sellado se combina con vidrio especial. El grado de vacío debe controlarse estrictamente en la producción para evitar la contaminación por impurezas.

Escenarios de aplicación: Los tubos se utilizan en alta fidelidad y radar, y los tubos de rayos X se utilizan en imágenes médicas e inspección industrial. El tamaño del mercado de dispositivos electrónicos de vacío es pequeño y la cantidad de alambre de molibdeno representa el 5% del mercado total.

5.5.2 Alambre de molibdeno para mecanizado por electroerosión (EDM).

La electroerosión abla los materiales a través de la electroerosión, y el alambre de molibdeno se utiliza como alambre de electrodo, que se usa ampliamente en la fabricación de moldes y el mecanizado de precisión.

Función: El alambre de molibdeno actúa como electrodo de descarga en EDM, con un diámetro de 0,1-0,3 mm, y está sujeto a una corriente de pulso de alta frecuencia. Su alto punto de fusión y resistencia a la tracción aseguran que el electrodo no se derrita ni se rompa.

Requisitos de rendimiento: se requiere alta conductividad y resistencia a la corrosión por arco. El alambre de molibdeno puro es la opción principal debido a su bajo costo. El acabado superficial mejora la estabilidad de la descarga.

Características del proceso: se requiere trefilado y recocido de precisión para garantizar la consistencia del alambre. La máquina de trefilado continuo se utiliza en la producción para mejorar la eficiencia.

Escenario de aplicación: La electroerosión se utiliza en la industria aeroespacial, la fabricación de moldes automotrices y dispositivos médicos. El alambre de molibdeno representa el 30% del mercado de alambre de electrodos EDM, y China es el principal productor.

5.5.3 Elementos calefactores y termopares de hornos de alta temperatura

El alambre de molibdeno se utiliza en hornos de alta temperatura como elementos calefactores o fundas de termopar para soportar temperaturas extremadamente altas.

Función: Como elemento calefactor, el alambre de molibdeno genera altas temperaturas a través del calentamiento Joule, lo que requiere alta resistividad y resistencia a altas temperaturas. Como funda protectora del termopar, el alambre de molibdeno protege el termopar de la corrosión. El alambre de molibdeno puro o el alambre de lantano de molibdeno con un diámetro de 0,5-2,0 mm es una opción común.

Requisitos de rendimiento: se requiere resistencia a la oxidación y resistencia a la fluencia. La tasa de fluencia del alambre de molibdeno y lantano a 1800 °C es menor que la del alambre de molibdeno puro, que es adecuado para el funcionamiento a largo plazo.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

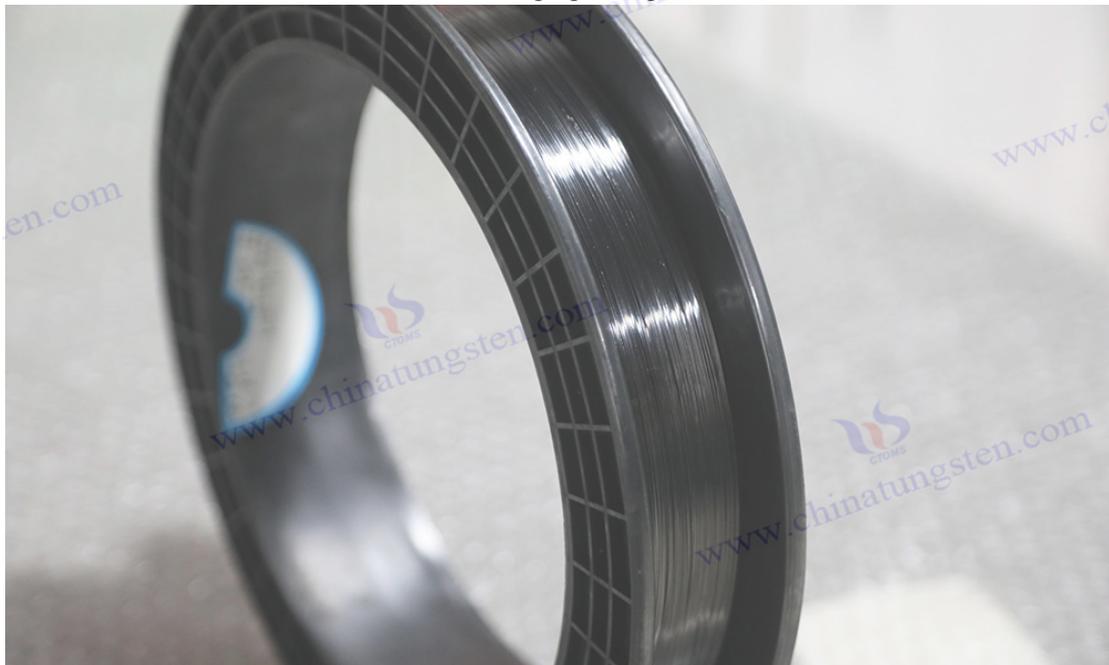
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características del proceso: se requiere trefilado grueso y recocido a alta temperatura, y la superficie se puede recubrir con una capa antioxidante. El tamaño del grano debe controlarse durante la producción.

Escenarios de aplicación: Los hornos de alta temperatura se utilizan para la sinterización y el tratamiento térmico de materiales, y los termopares se utilizan para la medición de la temperatura. El alambre de molibdeno se utiliza en este campo para representar el 5% del mercado total.



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Capítulo 6 Equipo de producción de alambre de molibdeno para iluminación

La producción de alambre de molibdeno para iluminación es un proceso de alta precisión y alta tecnología, que involucra múltiples eslabones desde el procesamiento de la materia prima hasta las pruebas del producto terminado, confiando en equipos especiales avanzados. Este capítulo discutirá en detalle los diversos tipos de equipos necesarios para la producción de alambre de molibdeno para iluminación, incluidos equipos de manejo de materias primas, equipos de fundición y moldeo, equipos de trefilado, equipos de tratamiento de superficies y equipos de inspección y control de calidad. Cada sección proporcionará un análisis en profundidad de las funciones del equipo, los parámetros técnicos, las características del proceso y el papel en la producción de alambre de molibdeno para iluminación, y proporcionará una explicación técnica completa en combinación con los principales proveedores de equipos y prácticas industriales del mundo para satisfacer la demanda de la industria de la iluminación de equipos de producción de alambre de molibdeno de alto rendimiento.

6.1 Equipo de procesamiento de materia prima de alambre de molibdeno para lámparas

El procesamiento de materias primas es el primer paso en la producción de alambre de molibdeno para iluminación, que implica molienda de polvo de molibdeno, cribado, mezcla de materiales

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

dopados y purificación de materias primas, lo que afecta directamente la tasa de éxito del proceso posterior y la calidad del alambre de molibdeno. El siguiente es un análisis detallado desde tres aspectos: molienda y cribado, dopaje, mezcla y equipos de purificación.

6.1.1 Equipos de molienda y cribado de polvo de molibdeno

El tamaño de partícula y la morfología del polvo de molibdeno son cruciales para la densidad del blanco sinterizado y el rendimiento del alambre de molibdeno, y el equipo de molienda y cribado se utiliza para preparar polvo de molibdeno de alta pureza con un tamaño de partícula uniforme (tamaño de partícula de 1-5 μm , pureza $\geq 99,95\%$).

Equipos de molienda: Los equipos de uso común incluyen molinos de bolas planetarios y molinos de chorro. Los molinos planetarios de bolas (por ejemplo, la serie alemana Fritsch Pulverisette) muelen polvo de molibdeno grueso (tamaño de partícula de 10-50 μm) a 1-5 μm con un tiempo de molienda de 2-6 horas y una velocidad de 200-400 rpm mediante una bola de molienda giratoria de alta velocidad (hecha de circonio o carburo cementado). Los molinos de chorro (como el molino de chorro NETZSCH en Alemania) utilizan un flujo de aire de alta velocidad (presión de 0,5-1 MPa) para colisionar y triturar, lo que es adecuado para la producción de polvo de molibdeno esférico o casi esférico para mejorar el rendimiento de sinterización. El proceso de molienda se lleva a cabo en una atmósfera inerte (por ejemplo, argón) o en vacío para evitar la oxidación.

Equipo de cribado: la máquina de cribado vibratorio y el clasificador de aire se utilizan para controlar la distribución del tamaño de partícula del polvo de molibdeno. Las máquinas de tamizado vibratorio (por ejemplo, Retsch AS 200 en Alemania) separan polvos de diferentes tamaños de partícula a través de cribas multicapa (tamaño de poro 1-10 μm), y la eficiencia de cribado puede alcanzar más del 95%. Un clasificador de aire (como Hosokawa Alpine, Alemania) puede controlar con precisión el D50 a 2-3 μm y la relación D90/D10 a 2-3 para garantizar la uniformidad del tamaño de partícula a través de la separación del aire. El equipo debe estar revestido con acero inoxidable o cerámica para evitar la contaminación por metales.

Características del proceso: El equipo de molienda debe estar equipado con un sistema de enfriamiento (enfriamiento por agua o congelación de nitrógeno líquido) para controlar la temperatura de molienda ($<50\text{ }^\circ\text{C}$) para evitar la oxidación o aglomeración del polvo de molibdeno. El equipo de cribado debe estar equipado con un analizador de tamaño de partícula en línea (como un analizador de tamaño de partícula láser) para monitorear la distribución del tamaño de partícula en tiempo real. Los equipos avanzados de molienda y cribado pueden aumentar el rendimiento del polvo a más del 98%.

Impacto de la aplicación: El tamaño de partícula uniforme del polvo de molibdeno y la morfología esférica pueden aumentar la densidad de la pieza en bruto sinterizada (95%-98%), reducir la porosidad y las inclusiones, y proporcionar materias primas de alta calidad para el trefilado posterior.

6.1.2 Equipos de mezcla y homogeneización de dopano

La distribución uniforme de los materiales dopados (por ejemplo, óxido de lantano, renio) es la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

clave para la preparación de alambres de molibdeno de alto rendimiento (por ejemplo, molibdeno, alambres de molibdeno-renio), y se utilizan equipos de mezcla y homogeneización para garantizar la uniformidad de los elementos dopados.

Equipo de mezcla: el dispersor ultrasónico y el mezclador planetario se utilizan comúnmente para la mezcla húmeda. El dispersor ultrasónico (como Hielscher UP400St en los Estados Unidos) dispersa el polvo de molibdeno y los materiales dopados (como el óxido de lantano, tamaño de partícula 50-200 nm) en un medio líquido (como el etanol) a través de vibraciones de alta frecuencia (20-40 kHz), y el tiempo de mezcla es de 1-2 horas, y la desviación de la uniformidad es $<0,01\%$. Los mezcladores planetarios (por ejemplo, EIRICH RV02 de Alemania) logran la mezcla húmeda o seca mediante mezcla multidireccional (50-100 rpm) y son adecuados para la producción a gran escala. La mezcla en seco adopta un mezclador de cono doble o tipo V (como el producto de la fábrica de equipos de mezcla Nantong de China), y el tiempo de mezcla es de 4 a 8 horas, lo que es adecuado para el dopaje de polvo de renio.

Equipo de homogeneización: El secador por pulverización (como el Büchi B-290 alemán) se utiliza para el secado de polvo después de la mezcla húmeda, con una temperatura de entrada de 200-250 °C y una temperatura de salida de 80-100 °C, para preparar un polvo compuesto homogéneo. El secado por pulverización puede evitar la aglomeración de partículas dopadas, y el espaciado de partículas se controla a 0,5-2 μm .

Características del proceso: El equipo de mezcla debe funcionar en un entorno limpio (clase ISO 7) para evitar la contaminación por polvo. El dispersor ultrasónico es adecuado para pequeños lotes de dopaje de alta precisión, y el secador por pulverización es adecuado para la producción a gran escala. El equipo de homogeneización debe estar equipado con un sistema de muestreo en línea para verificar la uniformidad del dopaje mediante análisis de fluorescencia de rayos X (XRF).

Impacto de la aplicación: La distribución uniforme del dopaje puede mejorar la resistencia a la tracción y la resistencia a la fluencia del alambre de molibdeno a alta temperatura (20% -30% a 1500 °C).

6.1.3 Equipos de purificación de materias primas

El equipo de purificación de materias primas se utiliza para eliminar impurezas (como hierro, silicio, oxígeno) en polvo de molibdeno para garantizar que la pureza alcance más del 99,95%.

Horno de reducción de hidrógeno: Los hornos tubulares de reducción de hidrógeno (como el equipo de la planta de carburo cementado de Zhuzhou en China) se utilizan para reducir el trióxido de molibdeno (MoO_3) a polvo de molibdeno de alta pureza. La temperatura de reducción es de 600-1000 °C, la pureza del hidrógeno $\geq 99,999\%$, el punto de rocío <-40 °C y el tiempo de reducción es de 4-8 horas. El equipo debe estar equipado con una zona de calentamiento de varias etapas para controlar el gradiente de temperatura (± 5 °C) y evitar residuos de oxígeno.

Equipo de limpieza química: el tanque de decapado (hecho de PTFE resistente a la corrosión) se

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

utiliza para eliminar los óxidos y la grasa en la superficie del polvo de molibdeno, el agente de limpieza comúnmente utilizado es el ácido nítrico diluido (HNO_3 , concentración 5%-10%) o hidróxido de sodio (NaOH , concentración 2%-5%), temperatura de limpieza 40-60 °C, tiempo 5-10 minutos. Después del lavado, enjuague con agua desionizada y seque al vacío (100-150 °C).

Características del proceso: El horno de reducción de hidrógeno debe estar equipado con un sistema de tratamiento de gases de escape (como una torre de absorción) para tratar el hidrógeno y el gas óxido sin reaccionar, que cumpla con los requisitos de protección del medio ambiente. Los equipos de limpieza química deben estar equipados con un sistema de eliminación de residuos (neutralización de la sedimentación) para garantizar el cumplimiento de la Directiva RoHS. El equipo de purificación puede reducir el contenido de impurezas a menos del 0,01%.

Impacto de la aplicación: El polvo de molibdeno de alta pureza puede reducir las inclusiones en los espacios en blanco sinterizados y mejorar la estabilidad química y las propiedades eléctricas del alambre de molibdeno.

6.2 Equipos de fundición y conformado de alambre de molibdeno para lámparas

Los equipos de fundición y conformado se utilizan para convertir el polvo de molibdeno en una pieza en bruto de alta densidad que proporciona la base para el trefilado posterior, que implica procesos de sinterización al vacío, prensado en caliente, forja y laminación.

6.2.1 Horno de sinterización al vacío y horno de protección atmosférica

El horno de sinterización es el equipo principal para la preparación de espacios en blanco de molibdeno de alta densidad, que se divide en horno de sinterización al vacío y horno de protección de la atmósfera.

Horno de sinterización al vacío: como la serie VIGA de ALD Vacuum Technologies en Alemania, el grado de vacío de trabajo es de $<10^{-3}$ Pa, la temperatura es de 1800-2200 °C y el tiempo de retención es de 4-8 horas. En el horno se utilizan elementos calefactores de molibdeno o tungsteno, que son resistentes a las altas temperaturas y no contaminan los espacios en blanco. Después de la sinterización, la densidad de la pieza en bruto puede alcanzar el 95%-98% y el tamaño del grano es de 10-50 μm . El equipo debe estar equipado con un sistema de control de temperatura de alta precisión (± 5 °C) y una bomba de vacío (bomba mecánica + bomba de difusión) para garantizar un entorno libre de oxígeno.

Horno de protección de la atmósfera: como el horno de sinterización de hidrógeno del horno eléctrico de Chenhua en Shanghai, China, con una temperatura de trabajo de 2300-2500 °C, un caudal de gas hidrógeno de 1-2 m^3 / h y un punto de rocío de <-40 °C, adecuado para sinterizar alambre de molibdeno dopado (como alambre de lantano de molibdeno). El blindaje de molibdeno se utiliza en el horno para reducir la pérdida de radiación de calor. La protección de la atmósfera evita la volatilización de los elementos dopantes y garantiza un rendimiento estable.

Características del proceso: la sinterización al vacío es adecuada para espacios en blanco de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

molibdeno puro y el horno de protección de la atmósfera es adecuado para alambre de molibdeno dopado. Ambos deben estar equipados con un sistema de tratamiento de gases de escape para tratar hidrógeno u óxidos volátiles. El horno de sinterización avanzado realiza una operación automática a través del control PLC para reducir los errores manuales.

Impacto de la aplicación: Las piezas en bruto de alta densidad reducen el riesgo de grietas y roturas de alambre durante el proceso de trefilado y mejoran el rendimiento.

6.2.2 Prensado en caliente y equipos de forja multidireccional

El equipo de prensado y forjado en caliente se utiliza para compactar aún más la pieza en bruto sinterizada, eliminar la porosidad y mejorar las propiedades mecánicas.

Prensa de calor: como la prensa de calor de Sodick en Japón, la presión de trabajo es de 50-100 MPa, la temperatura es de 1500-1800 °C y el grado de vacío es de $<10^{-2}$ Pa. El equipo adopta un sistema hidráulico y la precisión del control de presión es $\pm 0,1$ MPa, lo que es adecuado para la producción de piezas en bruto de alta densidad ($>99\%$). La prensa en caliente debe estar equipada con moldes de molibdeno o grafito, que son resistentes a las altas temperaturas y no contaminan la pieza en bruto.

Equipo de forja multidireccional: como la máquina de forja multidireccional del grupo alemán SMS, la temperatura de forja es de 1200-1600 °C y la tasa de deformación es de 0,1-0,5 s^{-1} . La máquina refina los granos (de 50 μm a 20-30 μm) y mejora la tenacidad de la palanquilla mediante la forja colaborativa multiteje. Después de forjar, es necesario pulir la superficie de la pieza en bruto para eliminar la incrustación de óxido.

Características del proceso: La prensa en caliente es adecuada para piezas en bruto de tamaño pequeño (diámetro < 50 mm) y la forja multidireccional es adecuada para barras de gran tamaño (diámetro 50-100 mm). El equipo debe estar equipado con un sistema de enfriamiento (refrigerado por agua o por aire) para controlar el gradiente de temperatura de la palanquilla (± 10 °C). El sistema de control automático puede mejorar la eficiencia de producción en un 10% -15%.

Impacto de la aplicación: El prensado y la forja en caliente pueden mejorar significativamente la resistencia a la tracción de la pieza en bruto (aumento del 20% a temperatura ambiente) y la procesabilidad, proporcionando la base para el trefilado ultrafino.

6.2.3 Trenes de laminación de precisión

Los trenes de laminación de precisión se utilizan para procesar piezas en bruto forjadas en barras o placas con un diámetro de 5-10 mm, adecuadas para el trefilado posterior.

Tipo de equipo: como el laminador de precisión de Kocks en Alemania, la temperatura de trabajo es de 1000-1400 °C y la velocidad de laminación es de 1-5 m / s. La máquina es de laminación de varias pasadas (10%-15% de deformación por tiempo) y está equipada con rodillos de carburo (dureza HRC 80-90) para garantizar la precisión dimensional (tolerancia $\pm 0,01$ mm).

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características del proceso: El tren de laminación debe estar equipado con un sistema de calentamiento (calentamiento por inducción o calentamiento por resistencia) para mantener la ductilidad de la palanquilla a alta temperatura. Se utilizan dispositivos de pulido de superficies (por ejemplo, pulidoras de banda) para eliminar las incrustaciones de óxido, y la rugosidad se controla a Ra 1-2 μm . La línea de laminación automatizada puede lograr una producción continua y aumentar la eficiencia en un 20%.

Impacto de la aplicación: El laminado de precisión mejora la consistencia dimensional y la calidad de la superficie de la barra y reduce el desgaste de la matriz de trefilado.

6.3 Equipo de trefilado de alambre de molibdeno para iluminación

El equipo de trefilado es el equipo central para estirar la varilla de molibdeno en filamento, lo que implica trefilado de múltiples pasadas, diseño de troqueles, sistema de lubricación y proceso de recocido, que determina directamente la precisión dimensional y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno.

6.3.1 Máquina de trefilado de varias pasadas y equipo de trefilado continuo

La máquina trefiladora se utiliza para estirar la barra en alambre de molibdeno con un diámetro de 0,01-2 mm, que se divide en máquina trefiladora de alambre de varias pasadas y máquina de trefilado continuo.

Máquina de trefilado de varias pasadas: como la serie alemana Niehoff MMH, adecuada para embutición en bruto (0,5-2 mm de diámetro) y embutición fina (0,05-0,5 mm). El equipo está equipado con múltiples juegos de troqueles de trefilado (5-20 pasadas), cada vez el diámetro se reduce en un 10%-20% y la velocidad de trefilado es de 1-5 m / min. La máquina trefiladora utiliza un servomotor para controlar la tensión ($\pm 0,5$ N) para garantizar la uniformidad del alambre.

Equipos de embutición continua: como la línea de trefilado continuo de Frigerio en Italia, adecuada para embutición ultrafina (diámetro 0,01-0,05 mm). La máquina integra trefilado, recocido y bobinado de varias pasadas a velocidades de 0,1-0,5 m/min y tolerancias $\pm 0,001$ mm. El embutición continua puede aumentar la eficiencia de la producción hasta en un 30%.

Características del proceso: La máquina trefiladora debe estar equipada con detección de tensión en línea y sistema de alarma de alambre roto para evitar la rotura del alambre. El trefilado ultrafino debe llevarse a cabo en un entorno de temperatura constante (20-25 °C) para reducir el efecto de la expansión térmica. El equipo tiene un alto grado de automatización, lo que puede reducir la intervención manual.

Impacto de la aplicación: El equipo de trefilado continuo es adecuado para la producción a gran escala, con un rendimiento de más del 90%, y es adecuado para alambre de molibdeno para lámparas halógenas y lámparas HID.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

6.3.2 Moldes y sistemas de lubricación de alta precisión

El troquel y el sistema de lubricación están en el corazón del proceso de trefilado, lo que afecta directamente la calidad de la superficie y la precisión dimensional del alambre de molibdeno.

Molde de alta precisión: se utiliza material de carburo de tungsteno (WC) o diamante policristalino (PCD), como el molde PCD de Sumitomo en Japón. La tolerancia del orificio de la herramienta $\pm 0,001$ mm, el ángulo de entrada es de $8-12^\circ$ y la longitud de la zona reductora está optimizada para reducir la tensión de trefilado. La precisión de apertura del troquel de trefilado ultrafino es de $\pm 0,0005$ mm y la rugosidad de la superficie es $Ra < 0,05 \mu\text{m}$.

Sistema de lubricación: el dispositivo de pulverización automática (como el sistema alemán Schumag) se utiliza para rociar emulsión de grafito o lubricante de disulfuro de molibdeno (MoS_2), con un coeficiente de fricción de $0,1-0,2$. Los lubricantes a base de aceite (por ejemplo, polietilenglicol) se utilizan para el trefilado ultrafino y el caudal se controla a $0,1-0,5$ L/min. El sistema de lubricación debe estar equipado con un dispositivo de filtración para evitar la contaminación por impurezas.

Características del proceso: El molde debe pulirse y reemplazarse regularmente (después de estirar cada $100-200$ km) para garantizar el acabado de la superficie. El sistema de lubricación garantiza una cobertura uniforme con control de circuito cerrado y reduce los arañazos en la superficie. El análisis de elementos finitos (FEA) se utiliza para optimizar el diseño del troquel y mejorar la estabilidad del embutición.

Impacto de la aplicación: Los sistemas de lubricación y herramientas de alta precisión pueden reducir la tasa de defectos superficiales del alambre de molibdeno a menos del $0,5\%$, lo cual es adecuado para lámparas de alto rendimiento como faros de automóviles.

6.3.3 Horno de recocido y sistema de control de temperatura

El horno de recocido se utiliza para eliminar el endurecimiento por trabajo durante el proceso de estirado y restaurar la ductilidad y tenacidad del alambre de molibdeno.

Horno de recocido: como el horno de recocido continuo de Koyo en Japón, la temperatura de trabajo es de $800-1300^\circ\text{C}$, el caudal de hidrógeno es de $0,5-1$ m³/h y el punto de rocío es de $< -40^\circ\text{C}$. En el horno se utilizan elementos calefactores de molibdeno o tungsteno, y la precisión del control de temperatura es de $\pm 5^\circ\text{C}$. El recocido intermedio ($800-1000^\circ\text{C}$, mantención durante $10-30$ segundos) se utiliza para el estirado grueso y fino, y el recocido final ($900-1200^\circ\text{C}$, retención durante $5-15$ segundos) se utiliza para optimizar el rendimiento.

Sistema de control de temperatura: el controlador PID y el termopar (como el termopar tipo K, precisión $\pm 1^\circ\text{C}$) se utilizan para monitorear la temperatura en el horno en tiempo real. El sistema de enfriamiento (enfriado por agua o por aire) controla la velocidad de enfriamiento ($10-50^\circ\text{C}/\text{s}$) para evitar el crecimiento excesivo de los granos.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Características del proceso: El horno de recocido debe estar equipado con un sistema de monitoreo de atmósfera en línea para garantizar la pureza del hidrógeno. El horno de recocido continuo puede realizar el paso continuo del alambre, aumentando la eficiencia en un 20%. El alambre de molibdeno dopado (como el alambre de lantano y molibdeno) requiere una temperatura de recocido más alta (1000-1300 °C) para garantizar la estabilidad de los elementos dopados.

Impacto de la aplicación: El proceso de recocido preciso puede aumentar el alargamiento a la rotura del alambre de molibdeno a un 15% -20%, reducir el riesgo de rotura del alambre y es adecuado para la producción de alambre de molibdeno ultrafino.

6.4 Equipo de tratamiento de superficies para alambre de molibdeno para iluminación

El equipo de tratamiento de superficies se utiliza para mejorar el acabado de la superficie, la resistencia a la corrosión y las propiedades ópticas del alambre de molibdeno, incluido el pulido electrolítico, la limpieza química y la deposición del recubrimiento de la superficie.

6.4.1 Equipos de pulido electrolítico y limpieza química

El pulido electrolítico y el equipo de limpieza química se utilizan para eliminar óxidos, grasa y residuos de dibujo de la superficie del alambre de molibdeno para preparar el alambre de molibdeno limpio.

Equipo de pulido electrolítico: como la máquina pulidora electrolítica alemana KAMMERER, que utiliza electrolito NaOH (concentración 5%-10%), densidad de corriente de 0,5-2 A / cm², tiempo de pulido de 10-30 segundos. El equipo está equipado con electrodos de acero inoxidable y un sistema de filtración circulante para garantizar la pureza del electrolito. Después del pulido, la rugosidad de la superficie del alambre de molibdeno alcanza Ra 0.1-0.5 μm y la reflectividad aumenta a 60%-70%.

Equipo de limpieza química: Por ejemplo, el tanque de decapado de la fábrica de equipos de limpieza de Nantong en China utiliza una mezcla de HNO₃-HF (proporción 3:1, concentración 5%-10%), temperatura de limpieza 40-60 °C, tiempo 1-3 minutos. El equipo está equipado con revestimiento de PTFE y sistema de tratamiento de líquidos residuales (neutralización y precipitación), que cumple con los requisitos de protección ambiental.

Características del proceso: el pulido electrolítico es adecuado para alambre de molibdeno de alta gama (como la lámpara HID) y la limpieza química es adecuada para la producción a gran escala. Ambos deben estar equipados con un sistema de enjuague con agua desionizada y secado al vacío (100-150 °C) para evitar la contaminación residual. El sistema de eliminación de residuos garantiza el cumplimiento de la directiva RoHS.

Impacto de la aplicación: el equipo de tratamiento de superficies puede mejorar la resistencia a la corrosión por arco y la conductividad del alambre de molibdeno, y prolongar la vida útil de la lámpara entre un 10% y un 20%.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

6.4.2 Equipos de deposición de recubrimientos superficiales

El equipo de recubrimiento de superficies se utiliza para depositar recubrimientos antioxidantes o resistentes a la corrosión (por ejemplo, alúmina Al_2O_3 , siliciuro de molibdeno $MoSi_2$) para mejorar el rendimiento del alambre de molibdeno en entornos hostiles.

Equipos CVD: como el horno CVD de materiales aplicados en los Estados Unidos, con una temperatura de trabajo de 800-1200 °C y un vacío de $<10^{-2}$ Pa. Se utiliza para depositar recubrimientos de alúmina (0,1-1 μm de espesor) o siliciuro de molibdeno (0,5-2 μm) a una velocidad de deposición de 0,1-0,5 $\mu m/min$. El equipo está equipado con un sistema de control de gas (control preciso del caudal de CH_4 , SiH_4 , etc.).

Equipos PVD: como el equipo de pulverización catódica con magnetrón de Leybold en Alemania, con una temperatura de trabajo de 500-800 °C, adecuado para la deposición de recubrimientos de alta uniformidad. El objetivo de pulverización catódica es molibdeno o aluminio de alta pureza, y la tasa de deposición es de 0,05-0,2 $\mu m / min$. El equipo PVD es adecuado para alambres de molibdeno con formas complejas.

Características del proceso: CVD es adecuado para recubrimientos gruesos, PVD es adecuado para recubrimientos delgados y de alta uniformidad. El equipo debe estar equipado con un sistema de monitoreo de espesor en línea (por ejemplo, oscilador de cristal de cuarzo) para garantizar un espesor de recubrimiento constante. La adherencia del recubrimiento se verifica mediante prueba de tracción (esfuerzo de desconchado > 50 MPa).

Impacto de la aplicación: el equipo de recubrimiento puede aumentar la temperatura de oxidación del alambre de molibdeno a más de 1500 °C, lo que es adecuado para lámparas infrarrojas y lámparas ultravioleta, y extiende la vida útil en un 20% -30%.

6.4.3 Equipos de ensayo de calidad superficial

El equipo de inspección de calidad de la superficie se utiliza para evaluar la rugosidad, los defectos y la calidad del recubrimiento del alambre de molibdeno.

Probador de rugosidad superficial: como Mitutoyo SJ-410 en Japón, el rango de medición es R_a 0.01-10 μm y la precisión es $\pm 0.001 \mu m$. Se utiliza para inspeccionar la calidad de la superficie del alambre de molibdeno limpio (R_a 0,1-0,5 μm) y el alambre de molibdeno negro (R_a 0,5-2,0 μm).

Microscopio láser: como el alemán Zeiss LSM 800, aumento 100-1000x, para la detección de arañazos superficiales, grietas y residuos de óxido. El dispositivo está equipado con una función de imagen 3D para analizar la topografía de la superficie.

Características del proceso: El equipo de prueba debe integrarse con el sistema de monitoreo en línea de la línea de producción para retroalimentar los datos de calidad de la superficie en tiempo real. La inspección automatizada puede aumentar la eficiencia de la inspección hasta en un 50%.

Impacto de la aplicación: La inspección de la calidad de la superficie puede reducir la tasa de fallas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

a menos del 0,5%, lo que garantiza la estabilidad del arco y el rendimiento óptico del alambre de molibdeno en las luminarias.

6.5 Equipos de prueba y control de calidad para alambre de molibdeno para iluminación

El equipo de inspección y control de calidad se utiliza para evaluar la microestructura, las propiedades mecánicas, la composición química y la adaptabilidad ambiental del alambre de molibdeno para garantizar que el producto cumpla con los estándares de la industria de la iluminación.

6.5.1 Microscopios (ópticos, electrónicos) y analizadores de superficies

Los microscopios y analizadores de superficies se utilizan para analizar la microestructura y las propiedades de la superficie de los alambres de molibdeno.

Microscopio óptico: como el Olympus japonés BX53M, aumento 50-1000x, para la observación del tamaño de grano (10-50 μm) y defectos superficiales (como grietas, porosidad). El equipo está equipado con un software de análisis de imágenes para contar automáticamente la distribución del grano.

Microscopía electrónica de barrido (SEM): por ejemplo, FEI Quanta 650 en los Estados Unidos, equipado con espectroscopía de energía (EDS), para el análisis de la distribución de elementos dopados (por ejemplo, espaciado de partículas de óxido de lantano de 0,5-2 μm) y topografía de corrosión superficial. Con una resolución de hasta 1 nm, es adecuado para la inspección de alambre de molibdeno ultrafino.

Analizadores de superficies: como el XPS (espectroscopia de fotoelectrones de rayos X) de Bruker, Alemania, para el análisis de la composición de óxidos de la superficie (por ejemplo, MoO_2 , MoO_3) y la química del recubrimiento. La profundidad de detección es de 1-10 nm y la precisión es $\pm 0,1$ eV.

Características del proceso: El microscopio debe estar equipado con un equipo de preparación de muestras (como una máquina pulidora de iones) para garantizar una superficie lisa. SEM y XPS se ejecutan en ultra alto vacío ($<10^{-6}$ Pa) con un tiempo de detección de 10-30 minutos.

Impacto de la aplicación: El análisis microscópico puede optimizar la estructura del grano y la uniformidad del dopaje del alambre de molibdeno, mejorar el rendimiento a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión.

6.5.2 Máquinas de ensayo de tracción y durómetros

Las máquinas de prueba de tracción y los probadores de dureza se utilizan para evaluar las propiedades mecánicas de los alambres de molibdeno.

Máquina de prueba de tracción: como la estadounidense Instron 5982, el rango de prueba es de 0 a 100 kN y la precisión es $\pm 0,5\%$. Se utiliza para medir la resistencia a la tracción (800-1000 MPa a

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

temperatura ambiente, 200-400 MPa a 1500 °C) y el alargamiento a la rotura (10%-25%) del alambre de molibdeno. El dispositivo puede simular entornos de alta temperatura (hasta 2000 °C).

Probador de dureza: como el probador de dureza alemán Zwick Vickers, el rango de prueba es HV 0.1-1000 y la precisión es ± 0.5 HV. Se utiliza para evaluar la dureza de la superficie del alambre de molibdeno (aprox. HV 200-250 para alambre de molibdeno puro y HV 250-300 para alambre de molibdeno dopado).

Características del proceso: la prueba de tracción debe estar equipada con accesorios de alta temperatura y dispositivos de protección de la atmósfera (hidrógeno o argón), y la prueba de dureza debe controlar la profundidad de indentación ($<0,01$ mm). Los sistemas de pruebas automatizados pueden aumentar la eficiencia hasta en un 20%.

Impacto de la aplicación: La prueba de propiedades mecánicas garantiza la estabilidad mecánica y la resistencia a la fatiga del alambre de molibdeno en la luminaria y cumple con los requisitos de las lámparas halógenas y HID.

6.5.3 Analizadores de composición (ICP, XRF)

Los analizadores de composición se utilizan para detectar la composición química y el contenido de impurezas de los alambres de molibdeno.

ICP-OES: como PerkinElmer Optima 8300 en los Estados Unidos, con un límite de detección de 0,01 ppm, para el análisis de impurezas (por ejemplo, Fe, Si, C) en polvo de molibdeno y alambre de molibdeno. El tiempo de detección es de 5 a 10 minutos y la precisión $\pm 0.1\%$.

XRF: p. ej., Bruker S8 Tiger alemán, rango de detección 0,01%-100%, utilizado para analizar el contenido y la distribución de elementos dopantes (p. ej., La, Re). El equipo está equipado con la función de pruebas no destructivas y es adecuado para el monitoreo en línea.

Características del proceso: ICP debe disolverse en la muestra (solución HNO_3 -HF), XRF es una detección no destructiva, adecuada para el análisis de productos terminados. Ambos requieren una calibración periódica para garantizar la precisión de la detección.

Impacto de la aplicación: El análisis de composición puede controlar el contenido de impurezas por debajo del 0,01% para garantizar la estabilidad química y el rendimiento eléctrico del alambre de molibdeno.

6.5.4 Equipos de ensayo de simulación ambiental

El equipo de prueba de simulación ambiental se utiliza para evaluar el rendimiento del alambre de molibdeno en entornos de alta temperatura, corrosivos y de arco.

Horno de prueba de alta temperatura: como el horno de alta temperatura de Nabertherm en Alemania, el rango de temperatura es de 500-2000 °C y la precisión es ± 5 °C, que se utiliza para simular el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

entorno de trabajo de lámparas y linternas (como lámparas halógenas de 1500 °C). El argón o el gas halógeno se pueden introducir en el horno para probar la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión.

Equipo de prueba de arco: como el simulador de arco del Instituto de Investigación Electroóptica de Shanghai en China, con un voltaje de 1-30 kV y una corriente de 0,1-100 A, que se utiliza para probar la estabilidad del arco del alambre de molibdeno. El dispositivo está equipado con una cámara de alta velocidad que registra los cambios de arco (<0,1 mm).

Características del proceso: El equipo de simulación ambiental debe estar equipado con un sistema de adquisición de datos para registrar la temperatura, la corriente y la velocidad de corrosión. El ciclo de prueba es de 1 a 100 horas, simulando la vida útil de la lámpara (1000 a 20.000 horas).

Impacto de la aplicación: Las pruebas ambientales verifican la confiabilidad y longevidad del alambre de molibdeno en aplicaciones del mundo real, lo que garantiza que se cumplan los requisitos de las lámparas HID y UV.



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Capítulo 7 Normastécnicas y extranjeras para alambre de molibdeno para iluminación

Como material importante en la industria de la iluminación, el alambre de molibdeno para iluminación tiene un impacto directo en la confiabilidad y la vida útil de las lámparas y linternas. Con el fin de garantizar la consistencia del producto y la competitividad en el mercado, se han formulado una serie de estándares en el país y en el extranjero, que cubren la composición química, la precisión dimensional, las propiedades mecánicas y los requisitos de protección ambiental del alambre de molibdeno. Este capítulo discutirá en detalle los estándares nacionales, los estándares internacionales, la comparación y conversión entre estándares, las regulaciones ambientales y las especificaciones de la industria y la empresa del alambre de molibdeno para iluminación, y proporcionará un análisis técnico integral para satisfacer las necesidades de la industria de la iluminación para la producción estandarizada en combinación con el contenido estándar específico y los escenarios de aplicación.

7.1 Normas nacionales para el alambre de molibdeno para iluminación

Como el mayor productor mundial de alambre de molibdeno, China ha formulado una serie de normas nacionales (GB/T) para regular la producción y aplicación de alambre de molibdeno. Estas normas especifican en detalle las materias primas, el procesamiento, las propiedades y los métodos de prueba del alambre de molibdeno para iluminación, y son adecuadas para aplicaciones como lámparas incandescentes, lámparas halógenas y lámparas de descarga de gas.

7.1.1 GB/T 3462-2017

GB/T 3462-2017 es el estándar nacional de China para barras de molibdeno y losas de molibdeno, que es adecuado para la producción de alambre de molibdeno para iluminación y proporciona una base para el proceso de trefilado posterior.

Ámbito de aplicación: La norma estipula la composición química, el tamaño, la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas de las barras de molibdeno y las losas de molibdeno, que son adecuadas para la sinterización, la forja y el laminado de piezas en bruto, y se utilizan indirectamente en la producción de alambre de molibdeno para iluminación.

Requisitos técnicos:

Composición química: contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, impurezas totales (como Fe, Ni, Si) $< 0,05\%$. El molibdeno dopado (por ejemplo, molibdeno-lantano) requiere un claro contenido de elementos dopantes (por ejemplo, La_2O_3 0,3%-1,0%).

Precisión dimensional: diámetro de la barra de molibdeno 5-100 mm, tolerancia $\pm 0,05$ mm; El espesor de la losa es de 2-50 mm y la tolerancia $\pm 0,1$ mm.

Calidad de la superficie: sin grietas, incrustaciones de óxido, rugosidad $Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$.

Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción (temperatura ambiente) ≥ 600 MPa, alargamiento a la rotura $\geq 10\%$.

Método de detección: La composición química se analiza mediante ICP-OES (espectroscopia de plasma acoplado inductivamente), las dimensiones se detectan mediante micrómetro o telémetro

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

láser y la calidad de la superficie se verifica mediante inspección visual y microscópica.

Impacto de la aplicación: Las piezas en bruto de alambre de molibdeno para lámparas necesitan una alta densidad ($\geq 95\%$ de densidad teórica) y una microestructura uniforme, GB/T 3462-2017 garantiza la calidad de la pieza en bruto y reduce el riesgo de fractura en el proceso de trefilado.

7.1.2 GB/T 4191-2015

GB/T 4191-2015 aborda directamente el rendimiento y las especificaciones del alambre de molibdeno, y es adecuado para la producción y aceptación de alambre de molibdeno para iluminación.

Ámbito de aplicación: La norma cubre el alambre de molibdeno puro y el alambre de molibdeno dopado (como el alambre de molibdeno y lantano, el alambre de molibdeno renio) para lámparas incandescentes, lámparas halógenas, lámparas de descarga de gas, etc.

Requisitos técnicos:

Composición química: El contenido de molibdeno del alambre de molibdeno puro $\geq 99.95\%$, y el alambre de molibdeno dopado debe marcarse con la proporción de elementos dopados (como Re 1% -5%).

Rango de tamaños: diámetro 0,01-2 mm, tolerancias $\pm 0,002$ mm (ultrafino) a $\pm 0,01$ mm (grosso).

Calidad de la superficie: Rugosidad $Ra \leq 0,5$ μm de alambre de molibdeno limpio, $Ra \leq 2,0$ μm de alambre de molibdeno negro, sin grietas, arañazos ni residuos de óxido.

Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción a temperatura ambiente 800-1200 MPa, resistencia a la tracción a alta temperatura (1500 °C) ≥ 200 MPa, alargamiento a la rotura 10%-20%.

Método de prueba: la precisión dimensional se mide mediante un calibrador láser, las propiedades mecánicas se miden mediante una máquina de prueba de tracción y la calidad de la superficie se detecta mediante un microscopio óptico y un medidor de rugosidad.

Impacto de la aplicación: La norma garantiza la estabilidad mecánica y las propiedades eléctricas del alambre de molibdeno en entornos de alta temperatura, y es adecuada para los altos requisitos de las lámparas halógenas y HID.

7.1.3 GB/T 4182-2000

GB/T 4182-2000 estipula el método de análisis de la composición química del molibdeno y las aleaciones de molibdeno para garantizar la pureza de las materias primas y los productos terminados del alambre de molibdeno para iluminación.

Ámbito de aplicación: La norma es aplicable a las pruebas de composición química de polvo de molibdeno, barra de molibdeno y alambre de molibdeno, incluidos los elementos principales (Mo) e impurezas (Fe, Ni, Si, C, O, etc.).

Métodos analíticos:

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

ICP-OES: Detección de elementos de impurezas, sensibilidad de 0,01 ppm, adecuado para el análisis de Fe, Ni, Si y otros oligoelementos.

Analizador de gases: detecta el contenido de O, N, H, precisión $\pm 0.001\%$, para garantizar que el contenido de oxígeno $< 0.005\%$.

Método gravimétrico y método de valoración: determinación del contenido de molibdeno con un error de $\pm 0,01\%$.

Características del proceso: El análisis se realizó en un ambiente limpio (clase ISO 7) y la preparación de la muestra fue soluble en ácido (mezcla HNO₃-HF). La norma exige que el instrumento se calibre con regularidad para garantizar la coherencia de las pruebas.

Impacto de la aplicación: El análisis químico de alta precisión garantiza la estabilidad química del alambre de molibdeno y evita la corrosión del límite del grano causada por impurezas a altas temperaturas. El estándar es ampliamente utilizado por las instituciones de prueba de metales no ferrosos de China.

7.1.4 Otras normas nacionales pertinentes

Además de las normas anteriores, China también ha formulado otras normas relacionadas con el alambre de molibdeno para iluminación:

GB/T 3461-2017 "Polvo de molibdeno": especifica el tamaño de partícula (1-5 μm), la pureza ($\geq 99,95\%$) y la morfología (esférica o casi esférica) del polvo de molibdeno, que es adecuado para materias primas de alambre de molibdeno para lámparas.

GB/T 17792-1999 "Métodos de inspección para productos procesados de molibdeno y aleaciones de molibdeno": métodos de prueba que cubren el tamaño, la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas, como la detección ultrasónica de defectos y la inspección por rayos X.

YS/T 357-2006 "Tira de molibdeno dopado": Para los blancos de molibdeno dopado (como molibdeno, lantano, molibdeno-renio), se especifica el contenido y la uniformidad de distribución de los elementos dopados.

Impacto en la aplicación: Estas normas complementan los requisitos de GB/T 3462 y GB/T 4191 para formar un sistema de estandarización completo que garantice el control de calidad del alambre de molibdeno desde las materias primas hasta los productos terminados. Las empresas chinas pueden mejorar la competitividad de sus productos siguiendo una combinación de múltiples estándares.

7.2 Normas internacionales para el alambre de molibdeno para iluminación

Las normas internacionales proporcionan una especificación unificada para el comercio global y la aplicación de alambre de molibdeno para iluminación, que cubre los Estados Unidos (ASTM), la Organización Internacional de Normalización (ISO) y Japón (JIS) y otros sistemas estándar.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

7.2.1 Especificación estándar ASTM B387 para varillas, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno

ASTM B387 es un estándar para molibdeno y aleaciones de molibdeno desarrollado por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales, que es ampliamente utilizado en el mercado internacional.

Ámbito de aplicación: La norma cubre varillas, tiras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno (molibdeno puro, lantano de molibdeno, molibdeno-renio) para aplicaciones de iluminación, electrónica y alta temperatura.

Requisitos técnicos:

Composición química: Contenido de molibdeno $\geq 99.95\%$, las impurezas (como $\text{Fe} < 0.01\%$, $\text{Si} < 0.005\%$) están estrictamente controladas. En el caso del molibdeno dopante, debe especificarse la relación de dopaje (por ejemplo, La_2O_3 0,3%-1,0%).

Precisión dimensional: diámetro del alambre 0,01-3 mm, tolerancia $\pm 0,002$ mm (alambre ultrafino) a $\pm 0,015$ mm (alambre grueso).

Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción a temperatura ambiente 700-1100 MPa, resistencia a la tracción a alta temperatura (1500 °C) ≥ 150 MPa, alargamiento a la rotura 10%-25%.

Calidad de la superficie: $R_a \leq 0,4$ μm para alambre de molibdeno limpio, $R_a \leq 2,5$ μm para alambre de molibdeno negro, sin grietas ni óxidos.

Método de detección: la composición química adopta ICP-MS, el tamaño es probado por el calibrador láser, las propiedades mecánicas son probadas por la máquina de prueba de tracción y la calidad de la superficie es probada por SEM.

Implicaciones de la aplicación: ASTM B387 es ampliamente adoptado por los fabricantes de luminarias europeos y americanos para garantizar la confiabilidad del alambre de molibdeno en lámparas halógenas y HID. Los altos requisitos de los estándares han promovido la modernización tecnológica de las empresas chinas.

7.2.2 ISO 22447 Artículos de molibdeno y aleaciones de molibdeno

ISO 22447 es una norma para productos de molibdeno desarrollada por la Organización Internacional de Normalización y es aplicable al mercado global.

Ámbito de aplicación: La norma cubre alambres, varillas, placas y otros productos de molibdeno, y es adecuada para las industrias de iluminación, aeroespacial y electrónica.

Requisitos técnicos:

Composición química: contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, contenido de impurezas totales $< 0,05\%$. El molibdeno dopado (por ejemplo, molibdeno-renio) requiere proporciones elementales claras y uniformidad.

Rango de tamaño: diámetro del alambre 0,02-2 mm, tolerancia $\pm 0,003$ mm.

Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción a temperatura ambiente 750-1200 MPa, resistencia a la tracción a alta temperatura (1500 °C) ≥ 200 MPa.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Calidad de la superficie: sin grietas ni porosidad en la superficie, rugosidad $Ra \leq 0,5 \mu\text{m}$ (alambre de molibdeno limpio).

Método de detección: la composición química es XRF o ICP-OES, el tamaño se pasa por un calibrador láser y la calidad de la superficie se pasa por un microscopio óptico.

Implicaciones de la aplicación: La norma ISO 22447 es aplicable internacionalmente y adecuada para empresas orientadas a la exportación, lo que garantiza que los productos cumplan con los requisitos del mercado mundial de luminarias.

7.2.3 JIS H 4461

JIS H 4461 es un estándar industrial japonés para los requisitos de rendimiento y producción de alambre de molibdeno y varilla de molibdeno.

Ámbito de aplicación: La norma se aplica al alambre de molibdeno puro y al alambre de molibdeno dopado para iluminación y dispositivos electrónicos.

Requisitos técnicos:

Composición química: contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, impurezas (como Fe, Ni) $< 0,01\%$.

Precisión dimensional: diámetro del alambre 0,01-2 mm, tolerancia $\pm 0,002$ mm (ultrafino).

Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción a temperatura ambiente 800-1100 MPa, alargamiento a la rotura 10%-20%.

Calidad de la superficie: $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$ para el alambre de molibdeno limpio y $2,0 \mu\text{m}$ para el \leq de molibdeno negro.

Método de detección: la composición química adopta ICP-OES, el tamaño pasa a través del calibrador láser y las propiedades mecánicas pasan a través de la máquina de prueba de tracción.

Impacto de la aplicación: JIS H 4461 es ampliamente utilizado por las empresas de iluminación japonesas, especialmente para el alambre de molibdeno para lámparas de proyección y faros de automóviles. El mercado japonés tiene requisitos estrictos de precisión dimensional y calidad de la superficie, lo que ha impulsado el desarrollo de la tecnología de trefilado de alta precisión.

7.2.4 Otras normas ISO

Otras normas internacionales también tienen orientación para la producción y aplicación de alambre de molibdeno para iluminación:

DIN EN 10204 (Alemania): Especifica los requisitos para la certificación de calidad y la documentación de inspección del alambre de molibdeno, que se aplica a los productos exportados al mercado europeo.

IEC 60357: Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional para los requisitos de rendimiento del alambre de molibdeno para lámparas de descarga halógena y de gas, como la resistencia a la corrosión por arco y la fiabilidad del sellado.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

ASTM E3171: Métodos de análisis químico para molibdeno y aleaciones de molibdeno, que complementan los requisitos de ASTM B387.

Impacto en la aplicación: Estas normas proporcionan una base técnica para el comercio internacional de alambre de molibdeno y promueven la estandarización de la cadena de suministro mundial. Las empresas europeas y japonesas garantizan la competitividad de sus productos en mercados de alta gama, como el de la iluminación de automóviles, siguiendo una combinación de múltiples estándares.

7.3 Comparación y conversión entre diferentes estándares de alambre de molibdeno para iluminación

La diferencia entre los estándares nacionales y extranjeros puede afectar el comercio internacional y la aplicación de alambre de molibdeno para iluminación, y el reconocimiento mutuo debe lograrse a través de la comparación y conversión de parámetros técnicos.

7.3.1 Comparación de parámetros técnicos de estándares nacionales y extranjeros (pureza, tamaño, rendimiento)

A continuación se muestra una comparación de los parámetros de los criterios principales:

Pureza:

GB/T 4191-2015: Contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, impurezas $< 0,05\%$.

ASTM B387: Contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, Fe $< 0,01\%$, Si $< 0,005\%$.

ISO 22447: Contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, impurezas $< 0,05\%$.

JIS H 4461: Contenido de molibdeno $\geq 99,95\%$, Fe, Ni $< 0,01\%$.

Análisis: Los requisitos de pureza de las normas nacionales y extranjeras son consistentes, y ASTM B387 es más estricto para impurezas específicas (como Fe, Si), que es adecuado para lámparas de gama alta (como lámparas HID).

Precisión dimensional:

GB/T 4191-2015: diámetro 0,01-2 mm, tolerancia $\pm 0,002$ mm (ultrafino).

ASTM B387: Diámetro 0,01-3 mm, tolerancias $\pm 0,002$ mm (ultrafino) a $\pm 0,015$ mm (grueso).

ISO 22447: Diámetro 0,02-2 mm, tolerancia $\pm 0,003$ mm.

JIS H 4461: diámetro 0,01-2 mm, tolerancia $\pm 0,002$ mm.

Análisis: JIS H 4461 y GB/T 4191 tienen requisitos de tolerancia más altos para filamentos ultrafinos y son adecuados para lámparas de proyección y lámparas UV. ASTM B387 cubre una gama más amplia de diámetros para adaptarse a una amplia gama de aplicaciones.

Propiedades mecánicas:

GB/T 4191-2015: Resistencia a la tracción a temperatura ambiente 800-1200 MPa, alta temperatura (1500°C) ≥ 200 MPa.

ASTM B387: 700-1100 MPa a temperatura ambiente, ≥ 150 MPa a alta temperatura.

ISO 22447: 750-1200 MPa a temperatura ambiente, ≥ 200 MPa a alta temperatura.

JIS H 4461: 800-1100 MPa a temperatura ambiente.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Análisis: GB/T 4191 e ISO 22447 requieren un mayor rendimiento a altas temperaturas y son adecuados para lámparas halógenas y HID. ASTM B387 tiene un rango de rendimiento más amplio y es adecuado para una variedad de escenarios de aplicación.

7.3.2 Métodos de conversión estándar (por ejemplo, tolerancias, unidades de propiedades mecánicas)

Conversión de tolerancia: los estándares nacionales y extranjeros están en milímetros (mm) y las tolerancias se comparan directamente. La tolerancia del alambre grueso de ASTM B387 (± 0.015 mm) puede cumplir con los requisitos de ± 0.01 mm de GB/T 4191 con equipos de trefilado de alta precisión.

Conversión de unidades de propiedades mecánicas: la resistencia a la tracción se expresa en MPa y el alargamiento a la rotura se expresa en porcentaje (%), lo que es consistente con las normas nacionales y extranjeras. La temperatura de prueba a alta temperatura (1500 °C) debe calibrarse uniformemente para garantizar que las condiciones de prueba sean consistentes.

Conversión de composición química: El contenido de impurezas se expresa como un porcentaje en masa (%) o ppm, $1\% = 10,000$ ppm. GB/T 4182 y ASTM E3171 son compatibles entre sí, y los resultados de ICP-OES se pueden comparar directamente.

Características del proceso: La precisión del equipo de prueba (por ejemplo, la precisión del calibrador láser $\pm 0,001$ mm) y los estándares de calibración deben tenerse en cuenta en la conversión. Las pequeñas diferencias entre los estándares pueden compensarse mediante la optimización del proceso, como los ajustes de la temperatura del recocido.

7.3.3 Análisis del reconocimiento mutuo entre las normas internacionales y las normas nacionales

Reconocimiento mutuo: GB/T 4191-2015 es altamente compatible con ASTM B387 e ISO 22447 en términos de pureza, tamaño y propiedades mecánicas, y el reconocimiento mutuo es superior al 90%. JIS H 4461 requiere procesos de pulido adicionales debido a los requisitos más estrictos para la calidad de la superficie.

Diferencias: ASTM B387 tiene requisitos más estrictos para impurezas específicas (por ejemplo, Fe) y requiere materias primas de alta pureza. GB/T 4191 tiene requisitos más altos para tolerancias de alambre ultrafinas y requiere equipos de trefilado de precisión. La versatilidad de la norma ISO 22447 la hace más aceptable para el mercado global.

Impacto en la aplicación: Las empresas chinas pueden ampliar los mercados de exportación (por ejemplo, Europa, Estados Unidos) cumpliendo con las normas GB/T y ASTM/ISO. El análisis de reconocimiento mutuo ayuda a optimizar los procesos de producción y reducir los costes de certificación. Plansee en Austria y H.C. Starck en los Estados Unidos han aprobado la certificación multiestándar para garantizar que los productos son universalmente aplicables.

7.4 Protección del medio ambiente y regulaciones RoHS de alambre de molibdeno para iluminación

Las regulaciones ambientales han establecido requisitos estrictos para la producción y aplicación de alambre de molibdeno para iluminación, lo que implica el control de metales pesados, las emisiones de escape y la fabricación ecológica.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

7.4.1 Requisitos de la Directiva RoHS (UE 2011/65/UE) para materiales de alambre de molibdeno

La Directiva RoHS (Restricción de Sustancias Peligrosas) restringe las sustancias peligrosas en productos eléctricos y electrónicos, y se aplica al alambre de molibdeno para iluminación, lámparas y linternas.

Requisitos: El alambre de molibdeno debe limitar 6 sustancias nocivas como el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), etc., con un contenido de $< 0,1\%$ (1000 ppm) y el cadmio $< 0,01\%$ (100 ppm). Las impurezas del alambre de molibdeno (como Fe, Ni) deben ser probadas por ICP-OES para garantizar el cumplimiento de los requisitos de RoHS.

Impacto en el proceso: es necesario utilizar polvo de molibdeno de alta pureza ($\geq 99,95\%$) en la producción para evitar la contaminación de las materias primas. La limpieza química (HNO_3 -HF) y el electropulido (NaOH) requieren un sistema de eliminación de residuos para evitar las emisiones de metales pesados.

Impacto en la aplicación: El alambre de molibdeno que cumple con RoHS puede ingresar al mercado de la UE y se usa ampliamente en lámparas halógenas y lámparas HID. Los fabricantes europeos de luminarias, como Philips, exigen a los proveedores que proporcionen un certificado de conformidad con RoHS.

7.4.2 RoHS de China (Medidas para el control de la contaminación de los productos de información electrónica)

China RoHS (GB/T 26572-2011) es el estándar de China para restringir sustancias peligrosas en productos electrónicos, similar a RoHS de la UE.

Requisitos: Límite de 6 tipos de sustancias peligrosas y los requisitos de contenido son consistentes con RoHS de la UE. El alambre de molibdeno debe proporcionar un informe de prueba de sustancias peligrosas, que indique el período de uso de protección ambiental (generalmente de 10 a 50 años).

Impacto en el proceso: Los fabricantes deben establecer un sistema de gestión de sustancias peligrosas y utilizar XRF o ICP-MS para detectar materias primas y productos terminados. Los gases residuales y los líquidos residuales deben tratarse mediante una torre de absorción y neutralización y precipitación, de acuerdo con GB 25466-2010 (norma de emisiones).

Impacto de la aplicación: RoHS de China ha promovido la transformación ecológica del mercado de iluminación nacional, y los proveedores de alambre de molibdeno deben proporcionar certificados de cumplimiento para satisfacer las necesidades de iluminación doméstica y comercial.

7.4.3 Cumplimiento ambiental en la producción de alambre de molibdeno (metales pesados, emisiones de escape)

Control de metales pesados: La solución de limpieza (HNO_3 -HF) y el electrolito (NaOH) en la producción de alambre de molibdeno pueden contener trazas de metales pesados (como Cr y Ni), que deben precipitarse y filtrarse, y la concentración de descarga es $< 0,1 \text{ mg / L}$, de acuerdo con GB 8978-1996 (estándar de descarga de aguas residuales).

Emisión de gases de escape: El proceso de reducción y sinterización de hidrógeno produce una pequeña cantidad de gas óxido (como MoO_3), que debe ser tratado por la torre de absorción de gas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de cola (absorción de lejía), y la concentración de emisiones es $< 0,05 \text{ mg/m}^3$, que cumple con GB 16297-1996 (norma de emisión de contaminantes atmosféricos).

Características del proceso: las empresas deben estar equipadas con equipos de protección ambiental (como un sistema de neutralización de líquidos residuales, una torre de tratamiento de gases de cola), lo que aumenta los costos de producción entre un 5% y un 10%. Los sistemas de monitoreo automatizados detectan los parámetros de emisión en tiempo real para garantizar el cumplimiento.

Impacto de la aplicación: El cumplimiento ambiental es una condición necesaria para ingresar a los mercados europeos y americanos, y las empresas chinas (como Jinduicheng Molybdenum) han mejorado su competitividad internacional a través de la certificación ambiental.

7.4.4 Requisitos de fabricación ecológica y desarrollo sostenible

Fabricación ecológica: Adopte equipos de baja energía (como hornos de sinterización que ahorran energía, que reducen el consumo de energía en un 15%) y tecnología de reciclaje de residuos (tasa de reciclaje de hasta el 30%) para reducir el consumo de recursos. El secado por pulverización y el equipo de trefilado continuo pueden aumentar la eficiencia de producción entre un 10% y un 20%. Sostenibilidad: Promover la transformación de la producción de alambre de molibdeno hacia una economía circular, como el reciclaje de los residuos de trefilado, alambre roto y sinterización, y reducir los costos de las materias primas. Las certificaciones de fabricación ecológica, como la ISO 14001, se convierten en una ventaja competitiva.

Impacto de la aplicación: La fabricación ecológica cumple con los requisitos de sostenibilidad de los clientes globales e impulsa el crecimiento de la participación de las empresas chinas en mercados de alta gama, como la iluminación automotriz.

7.5 Estándares de la industria y especificaciones empresariales para alambre de molibdeno para iluminación

Además de los estándares nacionales y los estándares internacionales, las asociaciones de la industria y las especificaciones internas de la empresa refinan aún más los requisitos para el alambre de molibdeno para iluminación.

7.5.1 Estándares de la Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China

La Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China (norma YS/T) ha formulado una serie de normas de molibdeno y aleaciones de molibdeno, que complementan las normas nacionales.

YS/T 357-2006 "Tira de molibdeno dopado": estipula la composición química, el tamaño y las propiedades del molibdeno dopado (como molibdeno, lantano, molibdeno-renio) y la desviación de la uniformidad de los elementos dopados $< 0,01\%$.

YS / T 659-2007 "Método de prueba de alambre de molibdeno": especifica el análisis XRF y el método de prueba mecánica a alta temperatura del alambre de molibdeno dopado, que es adecuado para el alambre de molibdeno de lámpara.

Impacto en la aplicación: El estándar YS/T presta más atención al rendimiento de los hilos de molibdeno dopados y es adecuado para lámparas halógenas y lámparas HID. Las empresas chinas (por ejemplo, Xiamen Honglu) optimizan el proceso de dopaje a través del estándar YS/T para aumentar el valor añadido de sus productos.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

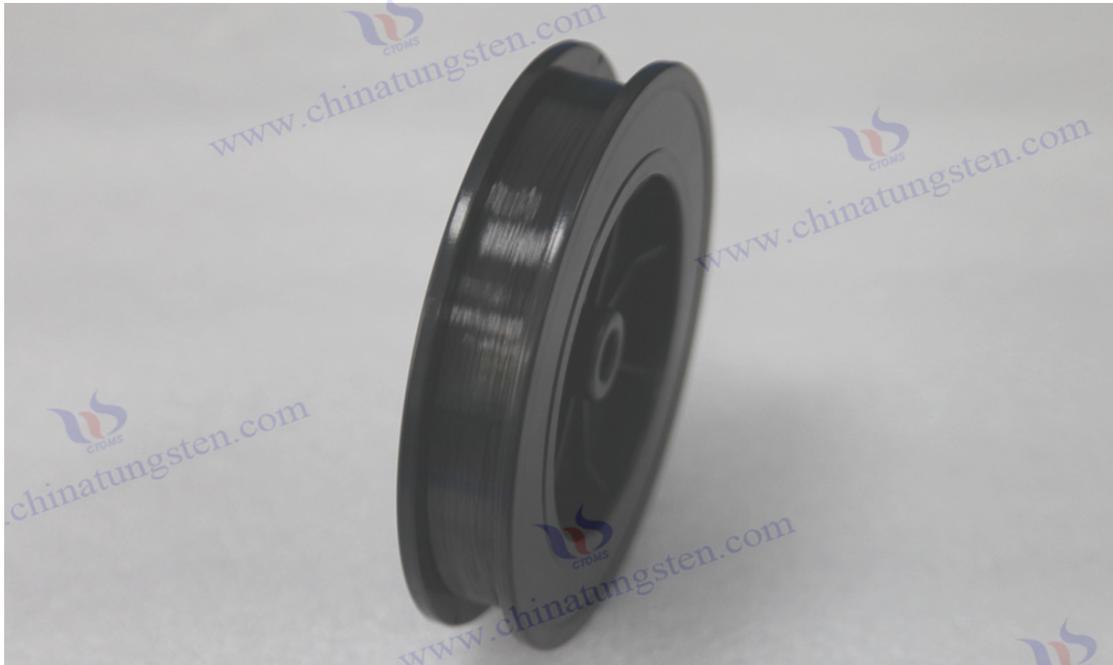
7.5.2 Especificaciones internas para la industria de la iluminación

Las especificaciones internas para la industria de la iluminación son desarrolladas por fabricantes de luminarias y asociaciones industriales para aplicaciones específicas de alambre de molibdeno.

Especificación de la Sociedad de Iluminación de China: Se requiere la resistencia a la corrosión (tasa de corrosión $< 0,005 \text{ mg / cm}^2 \cdot \text{h}$) y la estabilidad del arco (desplazamiento $< 0,1 \text{ mm}$) del alambre de molibdeno en lámparas halógenas.

La especificación del Instituto Internacional de Iluminación (CIE) especifica la resistencia a la tracción a alta temperatura ($1500 \text{ }^\circ\text{C} \geq 200 \text{ MPa}$) y la rugosidad de la superficie ($R_a \leq 0,4 \text{ } \mu\text{m}$) para el alambre de molibdeno para lámparas HID.

Implicaciones de la aplicación: Las normas de la industria han impulsado la producción personalizada de alambre de molibdeno en luminarias específicas, como el alambre de lantano y molibdeno para faros de automóviles, que deben cumplir con requisitos de resistencia a la vibración más estrictos.



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 8 Tecnología de detección de alambre de molibdeno para iluminación

El rendimiento del alambre de molibdeno para iluminación afecta directamente la confiabilidad, la vida útil y la eficiencia de los dispositivos de iluminación, y su tecnología de detección cubre muchos aspectos, como la composición química, las propiedades físicas, la calidad de la superficie, el rendimiento a alta temperatura, las propiedades eléctricas y las pruebas no destructivas. Este capítulo discutirá en detalle las diversas tecnologías de detección de alambre de molibdeno para iluminación, analizará los métodos de detección, las funciones del equipo, la precisión y los escenarios de aplicación, y proporcionará una explicación técnica completa basada en prácticas tecnológicas avanzadas en el país y en el extranjero.

8.1 Pruebas de composición química del alambre de molibdeno para iluminación

Las pruebas de composición química se utilizan para determinar la pureza ($\geq 99,95\%$) y el contenido de impurezas (como Fe, Ni, Si) del alambre de molibdeno, para garantizar su estabilidad química y propiedades eléctricas, y para cumplir con los requisitos del entorno de alta temperatura de las lámparas.

8.1.1 Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF)

El análisis de fluorescencia de rayos X es un método rápido y no destructivo para la detección de componentes de alambre de molibdeno terminado y materias primas.

Principio: Los rayos X excitan los átomos en la superficie de la muestra para producir una fluorescencia característica, y el contenido del elemento se determina mediante análisis espectral.

Función del dispositivo: el rango de detección del dispositivo es de 0.01% a 100%, la sensibilidad es de 0.01 ppm y el tiempo de análisis es de 1 a 5 minutos.

Parámetros técnicos:

Elementos detectados: molibdeno (Mo), hierro (Fe), níquel (Ni), silicio (Si), etc. La desviación del contenido de los elementos dopados (como La, Re) es del $<0,01\%$.

Requisitos de la muestra: La superficie del alambre de molibdeno debe estar limpia, sin óxidos, y el diámetro de la muestra debe ser de 0,01-2 mm.

Precisión: $\pm 0,01\%$ (elementos de alta concentración), $\pm 0,001\%$ (oligoelementos).

Características del proceso: XRF es una prueba no destructiva y adecuada para el control de calidad en línea. El equipo debe calibrarse con regularidad y se utilizan muestras estándar para garantizar la precisión. El entorno de prueba debe estar limpio (ISO clase 7) para evitar interferencias de polvo.

Impacto de la aplicación: XRF es ampliamente utilizado para detectar la uniformidad de dopaje del alambre de molibdeno para lámparas halógenas y lámparas HID, lo que garantiza la resistencia a la corrosión y la estabilidad a altas temperaturas, con una eficiencia de detección del 98%.

8.1.2 Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)

ICP-OES es un método altamente sensible para el análisis de componentes que es adecuado para la detección de trazas de impurezas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Principio: Después de que la muestra se disuelve, el plasma la excita y se emite un espectro de longitud de onda específico para analizar el contenido del elemento.

Función del equipo: el límite de detección del dispositivo es de 0,001 ppm y el tiempo de análisis es de 5 a 10 minutos.

Parámetros técnicos:

Elementos de detección: Fe, Ni, Si, C, O, etc., rango de detección 0.001-1000 ppm.

Preparación de la muestra: El alambre de molibdeno debe disolverse con una mezcla de HNO₃-HF (relación 3:1) a una temperatura de 60-80 °C.

Precisión: ±0,1% (elemento principal), ± 0,001% (elemento traza).

Características del proceso: ICP-OES debe ser destruido por la muestra, que es adecuada para el análisis de laboratorio. El equipo está equipado con gas argón de alta pureza (≥99,999%) para evitar interferencias de fondo. El líquido residual debe neutralizarse y tratarse para cumplir con los estándares de descarga de aguas residuales.

Impacto de la aplicación: ICP-OES se utiliza para detectar el contenido de oxígeno (<0.005%) en el alambre de molibdeno, garantizar la estabilidad química de las lámparas incandescentes y las lámparas halógenas, y controlar el contenido de impurezas por debajo del 0.01%.

8.1.3 Espectroscopía de absorción atómica (AAS)

El AAS se utiliza para detectar trazas de elementos específicos y es adecuado para las impurezas de metales pesados en el alambre de molibdeno.

Principio: Después de la atomización, la muestra absorbe una longitud de onda específica de luz y la intensidad de absorción se analiza para determinar el contenido del elemento.

Características del dispositivo: El dispositivo tiene un límite de detección de 0,01 ppm y un tiempo de análisis de 3-5 minutos/elemento.

Parámetros técnicos:

Elementos de detección: Fe, Ni, Cr, Pb, etc., rango de detección 0.01-100 ppm.

Preparación de la muestra: Alambre de molibdeno disuelto en una mezcla de HNO₃-HCl (relación 1:3) a 50-70 °C.

Precisión: ±0,05% (oligoelementos).

Características del proceso: AAS es un análisis de un solo elemento, adecuado para la detección dirigida (por ejemplo, Pb<0.01% para cumplir con RoHS). El equipo debe equiparse con una lámpara de cátodo hueco y reemplazarse regularmente. La eliminación de líquidos residuales debe cumplir con los requisitos de protección del medio ambiente.

Implicaciones de la aplicación: AAS se utiliza para verificar el cumplimiento de RoHS del alambre de molibdeno y cumplir con los requisitos del mercado de la UE para el alambre de molibdeno para faros de automóviles.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

8.2 Pruebas de las propiedades físicas del alambre de molibdeno para iluminación

Las pruebas de propiedades físicas evalúan el tamaño, la densidad y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno para garantizar que cumpla con los requisitos mecánicos y estructurales de la luminaria.

8.2.1 Medición dimensional y de tolerancia (micrometría láser, microscopía)

El tamaño y la tolerancia afectan directamente las propiedades eléctricas y la confiabilidad del sellado del alambre de molibdeno.

Micrómetro láser:

Función del dispositivo: rango de medición 0,005-2 mm, precisión $\pm 0,0001$ mm.

Principio: El rayo láser escanea el alambre de molibdeno y calcula el diámetro y la redondez.

Parámetros técnicos: control de tolerancia $\pm 0,002$ mm (alambre ultrafino), velocidad de medición 1-10 m/min, adecuado para inspección en línea.

Características del proceso: El equipo necesita un ambiente de temperatura constante (20-25 °C) para evitar errores de expansión térmica. El micrómetro en línea se puede integrar con la máquina de trefilado para monitorear la consistencia del diámetro en tiempo real.

Microscopía óptica:

Función del dispositivo: aumento de 50 a 1000 veces, precisión $\pm 0,001$ mm.

Principio: El diámetro del alambre de molibdeno y la topografía de la superficie se miden mediante imágenes de alta resolución.

Parámetros técnicos: adecuado para inspección fuera de línea, rango de medición 0,01-2 mm, verificación de tolerancia $\pm 0,002$ mm.

Características del proceso: corte y pulido de la muestra, tiempo de detección 5-10 minutos. El software de análisis de imágenes calcula automáticamente la distribución de tamaños.

Impacto de la aplicación: El micrómetro láser se utiliza para el control de producción de alambre de molibdeno ultrafino (0,01-0,05 mm de diámetro), y el microscopio se utiliza para investigación y desarrollo y análisis de fallas, cumpliendo con las normas GB/T 4191-2015 y ASTM B387.

8.2.2 Ensayos de densidad y análisis de calidad

La prueba de densidad evalúa la densidad del alambre de molibdeno, que refleja indirectamente la porosidad y el contenido de inclusión.

Función del equipo: Según el principio de Arquímedes, la precisión $\pm 0,001$ g/cm³.

Parámetros técnicos:

La densidad teórica del molibdeno es de 10,22 g/cm³ y la densidad medida es $\geq 9,8$ g/cm³ (densidad $\geq 96\%$).

Requisitos de la muestra: longitud del alambre de molibdeno 10-50 mm, superficie limpia.

Características del proceso: La prueba requiere etanol de alta pureza (densidad 0,789 g/cm³) como

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

solución de inmersión, y la temperatura se controla a 20 °C. El equipo debe calibrarse con regularidad y se utilizan muestras estándar.

Impacto de la aplicación: El alambre de molibdeno de alta densidad reduce la volatilización de los estomas a altas temperaturas, prolonga la vida útil de las lámparas halógenas y las lámparas HID.

8.2.3 Ensayos de resistencia a la tracción, ductilidad y dureza

La prueba de propiedades mecánicas evalúa la estabilidad mecánica del alambre de molibdeno a temperatura ambiente y alta temperatura.

Ensayo de tracción:

Función del dispositivo: rango de prueba 0-100 kN, precisión $\pm 0,5\%$.

Parámetros técnicos: resistencia a la tracción a temperatura ambiente 800-1200 MPa, alargamiento a la rotura 10%-25%; Resistencia a la tracción a alta temperatura (1500 °C) 200-400 MPa.

Características del proceso: La prueba de alta temperatura debe estar equipada con un horno de protección de hidrógeno (punto de rocío < -40 °C) y el material del accesorio es molibdeno o tungsteno. Velocidad de prueba 0,1-1 mm/min.

Pruebas de dureza:

Función del dispositivo: rango de prueba HV 0.1-1000, precisión ± 0.5 HV.

Parámetros técnicos: alambre de molibdeno puro HV 200-250, alambre de molibdeno dopado HV 250-300, profundidad de indentación $< 0,01$ mm.

Características del proceso: la superficie de la muestra debe pulirse, la fuerza de prueba es de 0,1-0,5 N y el tiempo de retención es de 10 segundos.

Impacto de la aplicación: Las pruebas de tracción y dureza garantizan la confiabilidad mecánica del filamento de molibdeno en soportes de filamentos y electrodos, cumpliendo con los requisitos de los faros de automóviles y las lámparas de proyección.

8.3 Inspección de la calidad de la superficie del alambre de molibdeno para iluminación

La calidad de la superficie afecta la estabilidad del arco, la resistencia a la corrosión y las propiedades ópticas del alambre de molibdeno, que deben evaluarse mediante técnicas de microscopía y detección de defectos.

8.3.1 Microscopio óptico y ensayos de rugosidad superficial

Los microscopios ópticos y los medidores de rugosidad se utilizan para evaluar la topografía de la superficie y el acabado de los alambres de molibdeno.

Microscopía óptica:

Función del dispositivo: aumento 50-1000x, precisión $\pm 0,001$ μm .

Parámetros técnicos: Detección de arañazos, grietas y óxidos con una resolución de imagen de 0,1 μm .

Características del proceso: se requiere un pulido de la muestra, equipado con un software de análisis de imágenes, y el número de defectos se cuenta automáticamente. El tiempo de detección es de 5 a

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

10 minutos.

Probador de rugosidad superficial:

Función del dispositivo: rango de medición Ra 0,01-10 μm , precisión $\pm 0,001 \mu\text{m}$.

Parámetros técnicos: alambre de molibdeno limpio Ra 0,1-0,5 μm , alambre de molibdeno negro Ra 0,5-2,0 μm .

Características del proceso: medición de la sonda de contacto, radio de la sonda 2 μm , velocidad de movimiento 0,5 mm/s. La inspección en línea se puede integrar con el equipo de pulido.

Impacto de la aplicación: El alambre de molibdeno de alto acabado (Ra<0,4 μm) mejora la estabilidad del arco, adecuado para lámparas HID y lámparas UV, y controla la tasa de defectos superficiales < 0,5%.

8.3.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de energía (EDS)

SEM y EDS se utilizan para la topografía de superficie de alta resolución y el análisis de composición.

SIN:

Características del dispositivo: resolución 1 nm, aumento 100-100.000x.

Parámetros técnicos: detección de grietas superficiales, porosidad y topografía de corrosión, adecuado para alambre de molibdeno ultrafino (diámetro 0,01-0,05 mm).

Características del proceso: Se requiere un entorno de vacío ($<10^{-6}$ Pa) y se requiere un recubrimiento conductor (por ejemplo, película de carbono) en la superficie de la muestra.

Capacidades de imágenes 3D para analizar la topografía de la superficie.

EDS:

Parámetros técnicos: detección de elementos dopados (por ejemplo, La, Re) distribución, precisión $\pm 0,1\%$, profundidad de detección 1-2 μm .

Características del proceso: integrado con SEM para analizar la uniformidad del dopaje (espaciado de partículas 0,5-2 μm). Tiempo de detección: 10-20 minutos.

Implicaciones de la aplicación: SEM-EDS se utiliza para el análisis de fallos (por ejemplo, corrosión del electrodo de la lámpara halógena), para optimizar el proceso de dopaje y para mejorar el rendimiento del alambre de molibdeno y lantano.

8.3.3 Tecnología de detección de defectos superficiales

La tecnología de detección de defectos superficiales se utiliza para identificar grietas e inclusiones microscópicas.

Microscopio de escaneo láser:

Características del dispositivo: resolución de 0,1 μm , profundidad de imagen 3D de 10-100 μm .

Parámetros técnicos: Detección de arañazos, grietas y óxidos, tamaño de defecto $> 0,5 \mu\text{m}$.

Características del proceso: detección sin contacto, adecuado para el control de calidad en línea. La

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

velocidad de detección es de 1-5 m/min.

Sistemas de Visión Automatizados:

Características del dispositivo: Equipado con cámara CCD de alta resolución con una resolución de 0,01 μm .

Parámetros técnicos: La tasa de defectos de la superficie de detección es del $<0.5\%$, lo que es adecuado para la producción a gran escala.

Características del proceso: integrado con trefilado, retroalimentación en tiempo real de la ubicación de defectos, eficiencia aumentada en un 50%.

Impacto de la aplicación: La tecnología de detección de defectos reduce la tasa de fallas, cumple con los estrictos requisitos de las lámparas de proyección y los faros de automóviles, y la tasa de rendimiento alcanza el 98%.

8.4 Prueba de rendimiento a alta temperatura del alambre de molibdeno para iluminación

La prueba de rendimiento a alta temperatura evalúa la estabilidad del alambre de molibdeno en el entorno de trabajo (1500-3000 $^{\circ}\text{C}$) de la luminaria, cubriendo la resistencia a la oxidación, los ciclos térmicos y las propiedades mecánicas.

8.4.1 Ensayo de resistencia a la oxidación a alta temperatura y estabilidad térmica

La prueba antioxidante evalúa la estabilidad química del alambre de molibdeno a altas temperaturas.

Función del equipo: rango de temperatura 500-2000 $^{\circ}\text{C}$, precisión ± 5 $^{\circ}\text{C}$.

Parámetros técnicos:

Condiciones de prueba: protección de argón o hidrógeno (punto de rocío <-40 $^{\circ}\text{C}$), temperatura 1500-1800 $^{\circ}\text{C}$, conservación del calor 1-100 horas.

Índice: Ganancia de peso oxidativa $<0,01$ mg/cm^2 , sin volatilización de MoO_3 en la superficie.

Características del proceso: Debe estar equipado con un sistema de tratamiento de gases de escape (absorción de álcalis) para tratar los óxidos volátiles. La superficie de la muestra debe pulirse ($\text{Ra}<0,5$ μm) para reducir el punto de inicio de la oxidación.

Impacto de la aplicación: El rendimiento antioxidante garantiza la estabilidad química del alambre de molibdeno en lámparas incandescentes y lámparas halógenas, y prolonga la vida útil entre un 10% y un 20%.

8.4.2 Ciclos térmicos y ensayos de resistencia a la fluencia

Los ciclos térmicos y las pruebas de resistencia a la fluencia evalúan la estabilidad del alambre de molibdeno bajo cambios de temperatura y altas temperaturas durante largos períodos de tiempo.

Prueba de ciclado térmico:

Función del equipo: rango de temperatura de -40 $^{\circ}\text{C}$ a 800 $^{\circ}\text{C}$, velocidad de ciclo de 10-20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Parámetros técnicos: 100-1000 ciclos, detección de grietas y fallos de estanqueidad.

Características del proceso: Simule el proceso de conmutación de lámparas y linternas, y pruebe la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

coincidencia de expansión térmica de la pieza de sellado (alambre de molibdeno-vidrio).

Prueba de resistencia a la fluencia:

Función del equipo: temperatura 1500-1800 °C, tensión 50-200 MPa.

Parámetros técnicos: velocidad de fluencia $<10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (alambre de molibdeno y lantano), tiempo de prueba 100-1000 horas.

Características del proceso: se requiere protección contra el hidrógeno y el material del accesorio es molibdeno o tungsteno. La velocidad de fluencia se mide mediante un sensor de desplazamiento con una precisión de $\pm 0,001 \text{ mm}$.

Impacto de la aplicación: La prueba de ciclo térmico garantiza la confiabilidad del alambre de molibdeno en los faros de automóviles, y la prueba de resistencia a la fluencia optimiza el alambre de molibdeno dopado (como el alambre de lantano y molibdeno) para prolongar la vida útil de las lámparas HID.

8.4.3 Ensayo de propiedades mecánicas a alta temperatura

Las pruebas mecánicas a alta temperatura evalúan las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno a la temperatura de funcionamiento de la luminaria.

Función del equipo: rango de temperatura 500-2000 °C, precisión $\pm 0.5\%$.

Parámetros técnicos:

Condiciones de prueba: 1500 °C, protección contra hidrógeno, velocidad de tracción 0,1-1 mm/min.

Índice: resistencia a la tracción 200-400 MPa, alargamiento a la rotura 5%-15%.

Características del proceso: Debe estar equipado con accesorios de alta temperatura (material de molibdeno o tungsteno) y sistema de control de atmósfera (argón o hidrógeno, pureza $\geq 99,999\%$). Los datos de la prueba se registran mediante galgas extensométricas (precisión $\pm 0,01\%$).

Impacto de la aplicación: La prueba de propiedades mecánicas a alta temperatura garantiza la estabilidad mecánica del alambre de molibdeno en lámparas halógenas y lámparas infrarrojas, y cumple con los requisitos de ASTM B387 y GB / T 4191-2015.

8.5 Prueba de rendimiento eléctrico del alambre de molibdeno para iluminación

La prueba de rendimiento eléctrico evalúa la conductividad y la estabilidad del arco del cable de molibdeno, lo que afecta la eficiencia luminosa y la vida útil de la luminaria.

8.5.1 Ensayos de resistividad y conductividad

La prueba de resistividad evalúa la conductividad eléctrica del cable de molibdeno.

Función del dispositivo: probador de cuatro sondas, rango de medición 10^{-8} - $10^6 \Omega \cdot \text{m}$, la precisión $\pm 0.01\%$.

Parámetros técnicos:

Resistividad: Alambre de molibdeno puro $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (20 °C), alambre de molibdeno dopado ligeramente más alto ($6-7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$).

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Condiciones de prueba: longitud de la muestra 50-100 mm, corriente 1-10 mA.

Características del proceso: se requiere un entorno de temperatura constante (20 °C) y la sonda de contacto está hecha de oro o tungsteno para evitar la resistencia de contacto. Los resultados de la prueba se calculan según la ley de Ohm.

Impacto de la aplicación: El alambre de molibdeno de baja resistividad reduce la pérdida de calor Joule y mejora la eficiencia energética de las lámparas incandescentes y halógenas.

8.5.2 Análisis del coeficiente de temperatura y de la estabilidad del arco

El coeficiente de temperatura y la estabilidad del arco afectan el rendimiento del alambre de molibdeno en un entorno de arco de alta temperatura.

Prueba de coeficiente de temperatura:

Función del equipo: rango de temperatura 20-1500 °C, precisión $\pm 0.1\%$.

Parámetros técnicos: coeficiente de resistencia de temperatura del alambre de molibdeno $4,5 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ (20-1000°C).

Características del proceso: La prueba necesita protección de hidrógeno y la muestra se fija en un accesorio cerámico. La resistencia en función de la temperatura se mide mediante el método de cuatro sondas.

Prueba de estabilidad del arco:

Función del dispositivo: voltaje 1-30 kV, corriente 0,1-100 A.

Parámetros técnicos: desplazamiento del arco $< 0,1$ mm, tasa de corrosión del electrodo $< 0,01$ mg/cm²·h.

Características del proceso: Equipado con una cámara de alta velocidad (1000 fps) para registrar la trayectoria del arco. La prueba simula el entorno de trabajo de la lámpara HID (centro de arco de 6000 °C).

Implicaciones de la aplicación: Las pruebas de estabilidad del arco optimizan la calidad de la superficie de los hilos de molibdeno (Ra $<0,4$ μm) y mejoran la eficiencia luminosa de las lámparas HID y de xenón.

8.5.3 Ensayo de rendimiento eléctrico a alta temperatura

Las pruebas eléctricas de alta temperatura evalúan la conductividad del alambre de molibdeno a la temperatura de funcionamiento de la luminaria.

Función del equipo: analizador de semiconductores, rango de temperatura 500-1500 °C, precisión $\pm 0.01\%$.

Parámetros técnicos:

Resistividad: aprox. $2,5 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ a 1500°C m.

Condiciones de prueba: Protección contra el hidrógeno, corriente 0,1-1 A.

Características del proceso: se requiere un dispositivo de alta temperatura (material de molibdeno o

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

tungsteno) y un sistema de control de atmósfera. Los datos de prueba se analizan registrando el cambio de resistencia en tiempo real.

Impacto de la aplicación: Las pruebas eléctricas a alta temperatura garantizan la estabilidad de la conductividad del alambre de molibdeno en lámparas halógenas y de proyección para cumplir con los requisitos de JIS H 4461.

8.6 Ensayos no destructivos de alambre de molibdeno para iluminación

Los ensayos no destructivos (END) se utilizan para evaluar los defectos internos y la integridad estructural de los alambres de molibdeno sin afectar su rendimiento en uso.

8.6.1 Tecnología de detección de defectos por ultrasonidos

La detección ultrasónica de defectos detecta la porosidad y las inclusiones dentro del alambre de molibdeno.

Función del dispositivo: frecuencia 5-20 MHz, precisión $\pm 0,01$ mm.

Parámetros técnicos:

Rango de detección: diámetro 0,05-2 mm, tamaño de defecto $> 0,01$ mm.

Sensibilidad: Detecta estomas e inclusiones, y la intensidad de la señal reflejada $> 10\%$.

Características del proceso: requiere acoplante de agua, diámetro de la sonda 2-5 mm. La velocidad de detección es de 1-5 m/min, lo que es adecuado para la inspección en línea.

Impacto de la aplicación: La detección ultrasónica de defectos mejora la calidad interna del alambre de molibdeno, reduce el riesgo de fallo del electrodo de la lámpara HID y la tasa de detección de defectos alcanza el 95%.

8.6.2 Detección de defectos en rayos X y tomografía computarizada

La detección de defectos por rayos X y la tomografía computarizada se utilizan para detectar pequeños defectos en el interior y la superficie de los cables de molibdeno.

Detección de defectos de rayos X:

Función del dispositivo: voltaje 50-225 kV, resolución 1 μm .

Parámetros técnicos: Detección de grietas, porosidad, tamaño del defecto $> 0,005$ mm.

Características del proceso: la muestra debe rotarse y el tiempo de imagen es de 5 a 10 minutos.

Adecuado para la inspección fuera de línea.

Tomografía computarizada:

Función del dispositivo: resolución de 0,5 μm , precisión de reconstrucción 3D $\pm 0,001$ mm.

Parámetros técnicos: Detección de inclusiones internas y defectos en el límite de grano, adecuado para alambre de molibdeno ultrafino.

Características del proceso: se requiere un entorno de alto vacío y el tiempo de escaneo es de 10 a 30 minutos. Reconstrucción 3D para analizar la distribución de defectos.

Implicaciones de la aplicación: Las radiografías y las tomografías computarizadas se utilizan para cables de molibdeno de alta gama (por ejemplo, para lámparas de proyección) para garantizar que

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

no haya defectos internos y mejorar la fiabilidad.

8.6.3 Ensayos de partículas magnéticas y ensayos de corrientes de Foucault

Las pruebas de partículas magnéticas y corrientes de Foucault se utilizan para el cribado rápido de defectos superficiales y cercanos a la superficie.

Inspección de partículas magnéticas:

Función del dispositivo: intensidad del campo magnético 0,1-1 T, sensibilidad 0,01 mm.

Parámetros técnicos: Detección de grietas y arañazos superficiales, adecuado para alambre de molibdeno con un diámetro de >0,1 mm.

Características del proceso: se requiere suspensión de polvo magnético (fluorescente o no fluorescente) y el tiempo de detección es de 1 a 3 minutos. Solo para inclusiones ferromagnéticas.

Pruebas de corrientes de Foucault:

Función del dispositivo: frecuencia 10 kHz-10 MHz, sensibilidad 0,01 mm.

Parámetros técnicos: detección de grietas superficiales y cercanas a la superficie, adecuado para la inspección en línea, velocidad 1-10 m/min.

Características del proceso: La bobina debe calibrarse para detectar el recubrimiento no conductor o la interferencia de la capa de óxido. El sistema de automatización aumenta la eficiencia en un 50%.

Implicaciones de la aplicación: La prueba de corrientes de Foucault se utiliza para la producción en masa, la prueba de partículas magnéticas se utiliza para el análisis de fallas, lo que garantiza la calidad de la superficie del alambre de molibdeno en los faros de automóviles.



Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 9 La tendencia de desarrollo futuro del alambre de molibdeno para iluminación

Como material importante en la industria de la iluminación, el alambre de molibdeno para iluminación se enfrenta a rápidos cambios en la tecnología de nuevos materiales, la mejora del proceso de producción, la competencia de materiales alternativos y la demanda del mercado. Este capítulo discutirá la tendencia de desarrollo futuro del alambre de molibdeno para iluminación en la nueva tecnología de dopaje, el proceso de producción inteligente y ecológico, la investigación y el desarrollo de materiales alternativos y la expansión del mercado y las aplicaciones, y proporcionará un análisis prospectivo basado en el progreso tecnológico global y las tendencias de la industria.

9.1 Nuevos materiales y tecnologías de dopaje

Los avances en nuevos materiales y tecnologías de dopaje mejorarán el rendimiento del alambre de molibdeno para iluminación para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de iluminación más exigentes, como la estabilidad a altas temperaturas, la resistencia a la corrosión y las propiedades eléctricas.

9.1.1 Exploración de nuevos elementos dopados (por ejemplo, tierras raras, metales preciosos).

La tecnología de dopaje mejora significativamente la resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la fluencia y la resistencia a la corrosión del alambre de molibdeno mediante la introducción de elementos de tierras raras o metales preciosos.

Tendencias tecnológicas: La investigación se centra en nuevos elementos dopados como el cerio (Ce), el itrio (Y), el renio (Re) y el platino (Pt). Los elementos de tierras raras (por ejemplo, CeO₂, dopaje 0,2%-1,0%) refinan los granos (tamaño de grano de 20 μm a 10 μm) y aumentan la resistencia a la tracción (aumento del 20% a 1500 °C). Los metales preciosos (por ejemplo, Re, dopaje 1%-5%) mejoran la resistencia a la corrosión por arco, reducen la tasa de corrosión en un 30% y son adecuados para lámparas de descarga de alta intensidad (HID).

Características del proceso: dopaje húmedo combinado con tecnología de secado por pulverización para garantizar una distribución uniforme de los elementos dopados (desviación < 0,01%). La sinterización a alta temperatura (2000-2300 °C) requiere un control preciso de la atmósfera (hidrógeno, punto de rocío < -40 °C) para evitar la volatilización del elemento.

Desafíos y perspectivas: El costo de los nuevos elementos de dopaje es alto (por ejemplo, el Re es 10 veces mayor que el del molibdeno) y la cantidad de dopaje debe optimizarse para equilibrar el rendimiento y el costo. En los próximos 5 a 10 años, se espera que el alambre de molibdeno dopado con tierras raras represente el 20% de la cuota de mercado de los faros de automóviles de alta gama y las lámparas de proyección.

Impacto en la aplicación: El nuevo alambre de molibdeno dopado extenderá la vida útil de la lámpara (30%-50%) y satisfará las necesidades de iluminación de alto brillo y larga duración.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

9.1.2 Investigación y desarrollo y aplicación de alambre de molibdeno a nanoescala

El alambre de molibdeno a nanoescala (<0,01 mm de diámetro) está optimizado por nanoestructura para mejorar las propiedades mecánicas y eléctricas.

Tendencias tecnológicas: Preparación de filamentos de molibdeno con un diámetro de 5-10 nm mediante tecnología de nano-trefilado y deposición química de vapor (CVD). La nanoestructura puede mejorar la resistencia a la tracción (hasta 1500 MPa a temperatura ambiente) y el alargamiento a la rotura (15%). El nanoprocesamiento de superficies (por ejemplo, deposición de recubrimiento de Al₂O₃, espesor 50-100 nm) mejora la resistencia a la oxidación y el aumento de peso oxidativo < 0,005 mg/cm².

Características del proceso: se requieren equipos de trefilado de ultra alta precisión (tolerancia ± 0,0005 mm) y moldes a nanoescala (precisión de apertura ± 0,001 μm). El proceso de recocido (900-1100 °C, protección contra hidrógeno) optimiza el tamaño de grano (<100 nm).

Desafíos y perspectivas: El costo de los equipos de trefilado nano es alto y la tasa de rendimiento es baja (alrededor del 70%). En los próximos 10 años, con el avance de la tecnología de fabricación de precisión, se espera que el alambre de molibdeno a nanoescala se utilice en lámparas miniaturizadas (como la iluminación médica), con una cuota de mercado estimada del 10%.

Implicaciones de la aplicación: El alambre de molibdeno a nanoescala es adecuado para la iluminación de alta precisión (por ejemplo, proyección láser) para mejorar la estabilidad del arco y el rendimiento óptico.

9.1.3 Materiales compuestos y aleaciones a base de molibdeno

Los compuestos y aleaciones de matriz de molibdeno amplían la gama de aplicaciones del alambre de molibdeno al combinarse con otros materiales de alta temperatura.

Tendencias tecnológicas: Desarrollo de compuestos de molibdeno-tungsteno (Mo-W), molibdeno-cerámica (por ejemplo, Mo-ZrO₂) y nanotubos de molibdeno-carbono (CNT). La aleación Mo-W (10%-30% de contenido W) aumenta el punto de fusión (hasta 2800 °C) y la resistencia a la fluencia (tasa de fluencia <10⁻⁷ s⁻¹). Los compuestos de Mo-ZrO₂ mejoran la resistencia a la oxidación y son adecuados para lámparas infrarrojas.

Características del proceso: pulvimetalurgia combinada con sinterización por plasma (temperatura 2000-2200 °C, presión 50 MPa) para preparar piezas en bruto compuestas. Los materiales compuestos requieren una distribución de fase controlada con precisión (desviación < 0,1 μm) para garantizar la uniformidad de las propiedades mecánicas.

Desafíos y perspectivas: Los materiales compuestos son difíciles de procesar y el costo aumenta entre un 20% y un 30%. En los próximos 5-10 años, se espera que la aleación Mo-W reemplace parte del alambre de molibdeno puro, lo que representa el 15% del mercado de alambre de molibdeno para lámparas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Impacto en la aplicación: Los compuestos mejoran la confiabilidad del alambre de molibdeno en entornos extremos (como lámparas ultravioleta, hornos de alta temperatura) y satisfacen las necesidades de iluminación especial.

9.2 Proceso de producción inteligente y ecológico

Los procesos de producción inteligentes y ecológicos mejorarán la eficiencia de la producción, la consistencia de la calidad y la sostenibilidad ambiental del alambre de molibdeno para iluminación.

9.2.1 Fabricación inteligente y tecnologías de la Industria 4.0

La fabricación inteligente optimiza la producción de alambre de molibdeno a través de la automatización, el análisis de datos y el Internet de las cosas (IoT).

Tendencias tecnológicas: Adopción de tecnologías de la Industria 4.0 como los sistemas de monitorización online, la inteligencia artificial (IA) y el análisis de big data. El calibrador láser en línea (precisión \pm 0,001 mm) monitorea el diámetro del alambre de molibdeno en tiempo real, y el algoritmo de IA predice el riesgo de rotura del alambre (tasa de precisión > 95%). El IIoT integra equipos de dibujo, recocido e inspección para automatizar todo el proceso.

Características del proceso: La máquina trefiladora inteligente controla la tensión (\pm 0,5 N) a través del servomotor, lo que reduce la tasa de rotura del alambre en un 10%. La tecnología de gemelo digital simula el proceso de sinterización y trefilado, optimiza los parámetros del proceso (temperatura, velocidad) y aumenta la tasa de rendimiento al 98%.

Desafíos y perspectivas: La inversión inicial de dispositivos inteligentes es alta (representa alrededor del 30% del costo total), pero puede reducir los costos de mano de obra en un 20%. En los próximos 5 años, se espera que la fabricación inteligente se popularice en las empresas de alambre de molibdeno de China, y la eficiencia de producción aumentará entre un 15% y un 20%.

Impacto en la aplicación: La producción inteligente garantiza la consistencia dimensional y la estabilidad del rendimiento del alambre de molibdeno, y cumple con los requisitos de alta precisión de las lámparas de gama alta (como las lámparas HID).

9.2.2 Procesos de producción ecológicos y reciclaje de residuos

La producción verde reduce el impacto ambiental a través del reciclaje de residuos y procesos respetuosos con el medio ambiente.

Tendencias tecnológicas: Desarrollo de sistemas de reciclaje de circuito cerrado para la recuperación de hilos rotos cepillados y residuos sinterizados (30%-40% de recuperación). El líquido residual de limpieza química se neutraliza y precipita, y la descarga de metales pesados < de 0,1 mg / L, lo que cumple con el estándar de descarga de aguas residuales. El sistema de tratamiento de gases de escape (absorción cáustica) controla las emisiones de óxidos < 0,05 mg/m³.

Características del proceso: El uso de lubricantes de baja volatilidad (como los lubricantes a base

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de agua) para reducir las emisiones de COV en el proceso de estirado (50%). Los residuos se reproducen a partir de polvo de molibdeno por reducción de hidrógeno (temperatura 800-1000 °C), lo que reduce el costo en un 10%.

Desafíos y perspectivas: Los equipos de reciclaje requieren una alta inversión inicial, y la eficiencia del reciclaje está limitada por la pureza de los residuos. En los próximos 10 años, la producción ecológica se convertirá en el estándar de la industria, en línea con los requisitos de RoHS e ISO 14001.

Impacto en la aplicación: La tecnología verde mejora la imagen ambiental de la empresa y satisface las necesidades de cumplimiento de los mercados europeo y americano (como la iluminación automotriz).

9.2.3 Optimización energética y fabricación con bajas emisiones de carbono

La fabricación baja en carbono reduce los costos de producción y las emisiones de carbono al optimizar el consumo de energía.

Tendencias tecnológicas: hornos de sinterización energéticamente eficientes (15% menos de consumo de energía) y trefiladoras de alta eficiencia (eficiencia del motor > 90%). El calentamiento por inducción reemplaza el calentamiento por resistencia y la eficiencia del calentamiento aumenta en un 20%. La optimización de los parámetros del proceso (por ejemplo, reducción de 50 °C en la temperatura de recocido) reduce el consumo de energía en un 10%.

Características del proceso: El sistema de gestión de energía (EMS) supervisa el consumo de energía en tiempo real y optimiza la programación de la producción. El sistema de recuperación de calor residual utiliza el calor residual del horno de sinterización para precalentar la pieza en bruto, ahorrando energía entre un 5% y un 10%.

Desafíos y perspectivas: La actualización de los equipos de ahorro de energía es costosa y se tarda entre 5 y 7 años en recuperar la inversión. En los próximos 10 años, la fabricación baja en carbono promoverá una reducción del 20% en las emisiones de carbono de la producción de alambre de molibdeno, en línea con el objetivo global de neutralidad de carbono.

Impacto de la aplicación: La fabricación con bajas emisiones de carbono reduce los costos de producción (alrededor del 5%), mejora la competitividad del mercado y satisface la demanda del mercado de iluminación verde.

9.3 Materiales alternativos al alambre de molibdeno para iluminación

Con el avance de la tecnología de iluminación, los materiales alternativos pueden reemplazar parcialmente el alambre de molibdeno, pero sus propiedades únicas aún tienen ventajas.

9.3.1 Materiales a base de tungsteno y nuevas aleaciones

Los materiales a base de tungsteno se consideran una alternativa potencial al alambre de molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

debido a su alto punto de fusión y resistencia.

Tendencia tecnológica: Aleación de tungsteno-renio (W-Re, 3%-10% Re) para mejorar la resistencia a la tracción (500 MPa a 1500 °C) y la resistencia a la corrosión por arco. Los compuestos de matriz de tungsteno (por ejemplo, W-ZrO₂) mejoran la resistencia a la oxidación y aumentan el peso oxidativo < 0,005 mg/cm².

Características del proceso: Los materiales a base de tungsteno requieren una temperatura de sinterización más alta (2500-2800 °C) y un equipo de trefilado de precisión (tolerancia ± 0,001 mm). Los recubrimientos superficiales (por ejemplo, Si₃N₄) mejoran la estabilidad química.

Desafíos y perspectivas: El costo de los materiales a base de tungsteno es 2-3 veces mayor que el del molibdeno y es difícil de procesar. En los próximos 5-10 años, la aleación W-Re puede representar el 10% de la cuota de mercado de las lámparas HID de gama alta, pero el alambre de molibdeno sigue siendo la corriente principal debido a las ventajas de costo.

Implicaciones de la aplicación: Los materiales a base de tungsteno son adecuados para aplicaciones de temperatura ultra alta (por ejemplo, lámparas de xenón), pero el alambre de molibdeno es más económico en lámparas halógenas e incandescentes.

9.3.2 Cerámica y materiales basados en el carbono

La cerámica y los materiales a base de carbono están llamando la atención por su estabilidad a altas temperaturas y sus propiedades de ligereza.

Tendencias tecnológicas: Las cerámicas de circonio (ZrO₂) y nitruro de silicio (Si₃N₄) tienen una excelente resistencia a la oxidación (estable a 2000 °C) y aislamiento eléctrico, lo que las hace adecuadas para estructuras de soporte de luminarias. Los nanotubos de carbono (CNT) y el grafeno se utilizan en los electrodos debido a su alta conductividad (10⁶ S/m) y resistencia (>1 GPa).

Características del proceso: las cerámicas deben sinterizarse con plasma (1800-2000 °C), los materiales a base de carbono se depositan mediante CVD (800-1200 °C). El procesamiento cerámico requiere moldes de alta precisión, y los materiales a base de carbono deben resolver el problema del desajuste de la expansión térmica con el sellado del vidrio.

Desafíos y perspectivas: La cerámica y los materiales basados en el carbono son costosos (3-5 veces más caros que el molibdeno) y tienen escalas de producción limitadas. En los próximos 10-15 años, puede representar el 5% de la cuota de mercado de la iluminación especializada (como las lámparas ultravioleta).

Impacto de la aplicación: Los materiales cerámicos y a base de carbono son adecuados para luminarias en miniatura de alta precisión, pero el dominio del alambre de molibdeno en la iluminación tradicional es difícil de reemplazar a corto plazo.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

9.3.3 Materiales conductores emergentes de alta temperatura

Los materiales conductores emergentes ofrecen más posibilidades para el alambre de molibdeno para la iluminación.

Tendencias tecnológicas: Los compuestos de matriz metálica (por ejemplo, TiC-Ni) y los superconductores de alta temperatura (por ejemplo, YBCO) tienen una excelente conductividad eléctrica (resistividad $< 10^{-8} \Omega \cdot m$) y resistencia a altas temperaturas ($> 2000^{\circ}C$). Los materiales bidimensionales, como las películas de MoS₂, están atrayendo la atención debido a su alta conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión.

Características del proceso: Los materiales emergentes requieren tecnologías de deposición avanzadas (como PVD, ALD) y el espesor se controla a 10-100 nm. La producción debe ser un entorno ultra limpio (ISO clase 5) para evitar la contaminación por impurezas.

Desafíos y perspectivas: Las tecnologías de materiales emergentes aún no están maduras y el costo es de 5 a 10 veces mayor que el del molibdeno. En los próximos 15-20 años, es posible que se logren avances en el campo de la iluminación láser y la industria aeroespacial, que representan el $< 5\%$ del mercado.

Impacto en la aplicación: Los materiales emergentes son adecuados para aplicaciones de vanguardia, pero el alambre de molibdeno sigue siendo dominante debido al proceso maduro y las ventajas de costo.

9.4 Expansión del mercado y de la aplicación

El campo de aplicación y la demanda del mercado de alambre de molibdeno para iluminación se expandirán con los cambios en la tecnología de iluminación y el mercado global.

9.4.1 Posibles aplicaciones en iluminación LED y láser

Aunque la iluminación LED y láser reduce la necesidad de alambre de molibdeno tradicional, todavía tiene potencial en áreas específicas.

Tendencia tecnológica: El alambre de molibdeno, como sustrato conductor de plomo y disipación de calor para lámparas LED, requiere una alta conductividad eléctrica ($> 10^7 S/m$) y conductividad térmica ($> 130 W/m \cdot K$). En la iluminación láser, el alambre de molibdeno se utiliza para soportar fósforos o electrodos y se somete a altas densidades de energía ($> 10^4 W/cm^2$).

Características del proceso: Se requiere un embutición ultrafina (diámetro $< 0,02 mm$) y un recubrimiento superficial (Al₂O₃, espesor 50 nm) para mejorar la disipación de calor y la resistencia a la corrosión. El proceso de sellado debe adaptarse al sustrato de zafiro (coeficiente de desviación de la expansión térmica $< 10^{-6}/^{\circ}C$).

Desafíos y perspectivas: El mercado de iluminación LED y láser está creciendo rápidamente (10% de crecimiento anual), pero el uso de alambre de molibdeno representa el 5% del mercado total. En

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

los próximos 10 años, se espera que la demanda de alambre de molibdeno en LED de alta gama (por ejemplo, iluminación automotriz) y proyección láser crezca un 15%.

Impacto de la aplicación: La aplicación de alambre de molibdeno en iluminación LED y láser prolonga su vida útil en el mercado y compensa la contracción del mercado de iluminación tradicional.

9.4.2 Expansión en las industrias aeroespacial y de alta temperatura

Las industrias aeroespacial y de alta temperatura ofrecen nuevas aplicaciones para el alambre de molibdeno.

Tendencias tecnológicas: El alambre de molibdeno es necesario en la industria aeroespacial como electrodo de alta temperatura ($>2000\text{ }^{\circ}\text{C}$) y material sensor, con una resistencia a la tracción de 1500 MPa (temperatura ambiente). Las industrias de alta temperatura (por ejemplo, pulverización de plasma, hornos de tratamiento térmico) utilizan alambre de molibdeno como elemento calefactor y necesitan resistencia a la fluencia (tasa de fluencia $< 10^{-7}\text{ s}^{-1}$).

Características del proceso: Es necesario desarrollar una aleación de molibdeno-renio (5% Re) y un recubrimiento superficial (por ejemplo, MoSi_2 , espesor 1-2 μm). La producción requiere procesos de sinterización al alto vacío ($<10^{-3}\text{ Pa}$) y moldeo de precisión.

Desafíos y perspectivas: El mercado aeroespacial tiene requisitos de confiabilidad extremadamente altos, y los cables de molibdeno deben certificarse (por ejemplo, AS9100). En los próximos 10 años, se espera que la demanda en este campo represente el 10% del mercado de alambre de molibdeno.

Impacto de la aplicación: Las industrias aeroespacial y de alta temperatura están expandiendo las aplicaciones de alto valor agregado del alambre de molibdeno para compensar la contracción del mercado de iluminación.

9.4.3 Demanda del mercado global y análisis de mercados emergentes

Los cambios en la demanda del mercado global y el surgimiento de nuevos mercados brindan oportunidades de crecimiento para el alambre de molibdeno.

Tendencias tecnológicas: El mercado de la iluminación convencional (por ejemplo, halógena, HID) sigue creciendo a una tasa anual del 5% al 7% en los países en desarrollo (por ejemplo, India, Sudeste Asiático). La demanda de iluminación de alta gama (por ejemplo, faros de automóviles, lámparas de proyección) impulsó un aumento del 10% en el alambre de molibdeno dopado (molibdeno, lantano, molibdeno-renio). Se espera que el mercado mundial de alambre de molibdeno mantenga una tasa de crecimiento anual promedio del 3% de 2025 a 2030.

Características del mercado: China representa el 70% de la producción mundial de alambre de molibdeno, que se exporta a Europa, América del Norte y Asia. Se espera que los mercados emergentes (por ejemplo, África y América Latina) representen el 15% del mercado mundial debido

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

al aumento de la demanda de construcción de infraestructuras.

Retos y perspectivas: Los mercados europeo y americano tienen estrictos requisitos de protección del medio ambiente (RoHS, REACH) y requieren procesos de producción ecológicos. En los próximos 10 años, la demanda de iluminación de bajo costo en los mercados emergentes impulsará un aumento del 20% en las ventas de alambre de molibdeno.

Impacto de la aplicación: El crecimiento de los mercados emergentes y la expansión de las aplicaciones de alta gama garantizarán la competitividad continua del alambre de molibdeno en el mercado mundial de iluminación.



alambre de molibdeno para iluminación de CTIA

Apéndice

A. Glosario

Alambre de molibdeno: Un alambre metálico delgado con molibdeno como componente principal, que se usa ampliamente en dispositivos de iluminación de alta temperatura.

Alambre de molibdeno puro: Alambre de molibdeno con una pureza del $\geq 99,95\%$, sin añadir elementos dopantes.

Alambre de lantano y molibdeno: Alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano para mejorar la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la fluencia.

Alambre de molibdeno y renio: Alambre de molibdeno dopado con elemento renio para mejorar la ductilidad y la resistencia a la oxidación.

Alambre de molibdeno negro: Alambre de molibdeno con una capa de óxido negro en la superficie, sin pulir.

Alambre de molibdeno limpio: Alambre de molibdeno que ha sido pulido o limpiado, con una superficie brillante.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Pulvimetalurgia: La tecnología de preparación de materiales metálicos a través de prensado en polvo, sinterización y otros procesos.

Proceso de trefilado: Un método de procesamiento para estirar una pieza en bruto de metal a través de un troquel para formar un filamento.

Resistencia a altas temperaturas: La resistencia a la tracción y la deformación del material a altas temperaturas.

Resistencia a la oxidación: La capacidad de un material para resistir la corrosión oxidativa a altas temperaturas.

Ciclo del halógeno: El proceso de prolongar la vida útil del filamento a través de la reacción química del gas halógeno con el filamento en una lámpara halógena.

Fluorescencia de rayos X (XRF): técnica de detección que utiliza rayos X para excitar una muestra para el análisis elemental.

Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES): Una técnica para la cuantificación elemental por excitación de plasma.

Microscopía electrónica de barrido (SEM): Microscopio de alta resolución utilizado para observar la topografía de la superficie de los materiales.

Resistividad: Medida de la capacidad de un material para resistir una corriente eléctrica, medida en ohmios-metros.

Coefficiente de expansión térmica: El grado en que un material se expande en volumen a medida que aumenta con la temperatura.

RoHS: Restricción de sustancias peligrosas.

Fabricación ecológica: Un método de producción con el objetivo de ahorrar energía, proteger el medio ambiente y reducir las emisiones de carbono.

B. Referencias

- [1] Manual de molibdeno y materiales de aleación de molibdeno, Metallurgical Industry Press, 2018.
- [2] "Proceso de preparación y tecnología de alambre de molibdeno", Revista china de metales no ferrosos, 2022.
- [3] ASTM B386-03, especificación estándar para placas, láminas, tiras y láminas de molibdeno y aleaciones de molibdeno.
- [4] GB/T 3462-2017, Barras y placas de molibdeno.
- [5] Avances en Tecnología de Pulvimetalurgia, Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2023.
- [6] "Optimización del proceso de trefilado de molibdeno", Procesamiento de metales, 2021.
- [7] "Mecanismo de mejora del rendimiento del alambre de molibdeno dopado", International Materials Review, 2020.
- [8] "Aplicación de la tecnología de tratamiento de superficies en alambre de molibdeno", Ingeniería de superficies, 2022.
- [9] Directiva RoHS 2011/65/UE, Unión Europea, 2011.
- [10] Informe de análisis del mercado global de molibdeno, Market Research Future, 2024.
- [11] Materiales y tecnología de dispositivos de iluminación, Revista de Ingeniería de Iluminación, 2023.
- [12] "Lámparas halógenas y tecnología de lámparas de descarga de gas", Informe técnico del Instituto Internacional de Iluminación, 2022.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- [13] Investigación sobre materiales de iluminación automotriz, Ingeniería automotriz, 2021.
- [14] "Avances en tecnología de iluminación especial", Óptica y tecnología optoelectrónica, 2023.
- [15] Materiales para dispositivos electrónicos de vacío, Editorial de la Industria Electrónica, 2020.
- [16] Tecnología EDM, Revista de Ingeniería Mecánica, 2022.
- [17] "Materiales y aplicaciones de los hornos de alta temperatura", Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2021.
- [18] Materiales avanzados y tecnología de fabricación, Science Press, 2023.
- [19] Fabricación inteligente e industria 4.0, China Machine Press, 2022.
- [20] «Avances en tecnología de fabricación ecológica», Ciencia y Tecnología Ambiental, 2023.
- [21] Materiales y tecnología de iluminación, Revista de ingeniería de iluminación, 2024.
- [22] ISO 22447, Molibdeno y productos de aleaciones de molibdeno, Organización Internacional de Normalización, 2019.
- [23] Directiva RoHS 2011/65/UE, Unión Europea, 2011.
- [24] Revista de Tecnología de Materiales Aeroespaciales, Revista de Materiales Aeronáuticos, 2023.
- [25] Tecnología de ensayo de materiales, Science Press, 2022.
- [26] GB/T 4182-2000 "Métodos para el análisis químico de molibdeno y aleaciones de molibdeno", Administración de Normalización de la República Popular China, 2000.
- [27] "Tecnología de ensayos no destructivos", Sociedad China de Ingeniería Mecánica, 2023.
- [28] «Ensayos de rendimiento de materiales de alta temperatura», Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2021.
- [29] "Tecnología de pruebas de rendimiento eléctrico", Electronic Industry Press, 2020.