

Enzyklopädie des Molybdändrahtes für die Beleuchtung

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und
Seltenerdmetallindustrie

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung des intelligenten, integrierten und flexiblen Designs und der Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erste erstklassige Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes, das sich auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie konzentriert. Mit fast drei Jahrzehnten umfassender Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän erbt die CTIA GROUP die außergewöhnlichen Design- und Fertigungskapazitäten, die hervorragenden Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihrer Muttergesellschaft und wird zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, Legierungen mit hoher Dichte, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 200 mehrsprachige professionelle Websites für Wolfram und Molybdän eingerichtet, die mehr als 20 Sprachen abdecken und über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden enthalten. Seit 2013 hat der offizielle WeChat-Account "CHINATUNGSTEN ONLINE" über 40.000 Informationen veröffentlicht, fast 100.000 Follower bedient und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen zur Verfügung gestellt. Mit kumulativen Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto, die Milliarden von Malen erreichen, hat es sich zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie entwickelt, die 24/7 mehrsprachige Nachrichten, Produktleistungen, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die personalisierten Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Verwendung der KI-Technologie entwirft und produziert das Unternehmen gemeinsam mit Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen rund um den Prozess, die von der Werkzeugöffnung über die Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik reichen. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 130.000 Kunden weltweit F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten erbracht und damit den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer mehr als 30-jährigen Branchenerfahrung auch Wissens-, Technologie-, Wolframpreis- und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und diese frei mit der Wolframindustrie geteilt. Dr. Han verfügt seit den 1990er Jahren über mehr als 30 Jahre Erfahrung im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen und ist ein anerkannter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte im In- und Ausland. Das Team der CTIA GROUP hält sich an das Prinzip, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zur Verfügung zu stellen, und verfasst kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte, die auf der Produktionspraxis und den Bedürfnissen der Marktkunden basieren und in der Branche weithin gelobt werden. Diese Erfolge sind eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP und machen sie zu einem führenden Unternehmen bei der Herstellung und Information von Wolfram- und Molybdänprodukten.



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verzeichnis

Kapitel 1 Einleitung

- 1.1 Definition und Überblick über Molybdändraht
 - 1.1.1 Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften von Molybdändraht
 - 1.1.2 Die Kernfunktion von Molybdändraht im Bereich der Beleuchtung
 - 1.1.3 Vergleich von Molybdändraht mit anderen Metallwerkstoffen
- 1.2 Geschichte und Entwicklung des Molybdändrahtes
 - 1.2.1 Entdeckung und frühe industrielle Anwendung von Molybdän
 - 1.2.2 Die Entwicklung von Molybdändraht in der Beleuchtungstechnik
 - 1.2.3 Wichtige technologische Durchbrüche und Meilensteine
- 1.3 Die Bedeutung von Molybdändraht in der modernen Beleuchtungsindustrie
 - 1.3.1 Leistungsvergleich zwischen Molybdändraht und herkömmlichem Wolframdraht
 - 1.3.2 Die strategische Position von Molybdändraht in der hocheffizienten Beleuchtung
 - 1.3.3 Die Rolle von Molybdändraht in Energiesparlampen
- 1.4 Forschungs- und Anwendungsstatus von Molybdändraht
 - 1.4.1 Forschungsfortschritte der Molybdändrahttechnologie im In- und Ausland
 - 1.4.2 Globale Marktgröße und Anwendungsverteilung
 - 1.4.3 Technische Engpässe und zukünftige Herausforderungen

Kapitel 2 Klassifizierung von Molybdändraht für die Beleuchtung

- 2.1 Einteilung nach chemischer Zusammensetzung
 - 2.1.1 Reiner Molybdändraht
 - 2.1.2 Molybdän-Lanthan-Draht
 - 2.1.3 Molybdän-Rheniumdraht
 - 2.1.4 Sonstige dotierte Molybdändrähte
- 2.2 Klassifizierung nach Verwendung
 - 2.2.1 Molybdändraht für Glühlampen
 - 2.2.2 Molybdändraht für Halogenlampen
 - 2.2.3 Molybdändraht für Leuchtstofflampen und Gasentladungslampen
 - 2.2.4 Molybdändraht für Speziallampen
- 2.3 Klassifizierung nach Spezifikation
 - 2.3.1 Durchmesserbereich und Toleranz
 - 2.3.2 Art der Oberflächenbehandlung
 - 2.3.3 Drahtform

Kapitel 3 Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

- 3.1 Physikalische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.1.1 Dichte und Schmelzpunkt von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.1.2 Wärmeausdehnungskoeffizient und Temperaturabhängigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.1.3 Wärmeleitfähigkeit und Leitfähigkeitsanalyse von Molybdändraht für die Beleuchtung
- 3.2 Chemische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 3.2.1 Oxidationsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität von Molybdändraht für die Beleuchtung
- 3.2.2 Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung
- 3.2.3 Wechselwirkung zwischen Molybdändraht für die Beleuchtung und Inertgas- und Vakuumumgebung
- 3.3 Mechanische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.3.1 Hochtemperaturzugfestigkeit und Kriecheigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.3.2 Duktilität und Zähigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.3.3 Ermüdungsbeständigkeit und Bruchfestigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung
- 3.4 Elektrische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.4.1 Widerstand und Temperaturkoeffizient von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.4.2 Strombelastbarkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.4.3 Lichtbogenstabilität von Molybdändraht für die Beleuchtung
- 3.5 Optische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.5.1 Oberflächenbeschaffenheit und Reflexionsvermögen von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.5.2 Hochtemperatur-Strahlungseigenschaften und Spektralanalyse von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 3.5.3 Einfluss der Oberflächenoxidation von Molybdändraht für die Beleuchtung auf die optischen Eigenschaften
- 3.6 Molybdändraht für Beleuchtungs-Sicherheitsdatenblätter von CTIA GROUP LTD

Kapitel 4 Aufbereitungs- und Produktionstechnik von Molybdändraht für die Beleuchtung

- 4.1 Auswahl des Rohmaterials und Vorbehandlung von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 4.1.1 Anforderungen an die Reinheit von Molybdänpulver und Kontrolle der Partikelgröße
 - 4.1.2 Auswahl und Verhältnis von Dotierungsmaterialien (Lanthan, Rhenium, etc.)
 - 4.1.3 Rohstoffvorbehandlung (Reinigen, Sieben, Mischen)
- 4.2 Schmelzen und Formen von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 4.2.1 Prozess der Pulvermetallurgie
 - 4.2.2 Vakuumsintern und Hochtemperatur-Sintertechnik
 - 4.2.3 Warmpress-, Schmiede- und Walzverfahren
- 4.3 Ziehprozess von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 4.3.1 Grobziehen, Feinziehen und Feinstziehtechnik
 - 4.3.2 Schmierstoffauswahl und Optimierung des Werkzeugdesigns
 - 4.3.3 Zwischenglüh- und Endglühprozesse
- 4.4 Oberflächenbehandlungstechnologie von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 4.4.1 Chemische Reinigung und Elektropolieren
 - 4.4.2 Prozessunterschiede zwischen schwarzem Molybdändraht und gereinigtem Molybdändraht
 - 4.4.3 Oberflächenbeschichtungstechnologien (z.B. Antioxidationsbeschichtungen)
- 4.5 Dotierungsprozess von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 4.5.1 Dopingmethoden von Lanthan, Rhenium und anderen Elementen
 - 4.5.2 Kontrolle der Gleichmäßigkeit des Dopings
 - 4.5.3 Mechanismus der Dotierung zur Verbesserung der Leistung bei hohen Temperaturen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

4.6 Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung von Molybdändraht für die Beleuchtung

4.6.1 Online-Überwachung der Prozessparameter

4.6.2 Fehlerkontrolle (Risse, Porosität, Einschlüsse)

4.6.3 Produktivitäts- und Kostenoptimierung

Kapitel 5 Die Verwendung von Molybdändraht für die Beleuchtung

5.1 Glühlampen

5.1.1 Filamentstützung und leitende Funktion

5.1.2 Stabilität und Lebensdauer in Hochtemperaturumgebungen

5.2 Halogenlampen

5.2.1 Die Schlüsselrolle von Molybdändraht im Halogenzyklus

5.2.2 Hohe Temperaturbeständigkeit und chemische Korrosionsbeständigkeit

5.3 Gasentladungslampen

5.3.1 Molybdändraht für Hochdruckentladungslampen (HID)

5.3.2 Elektrodenmaterialien für Leuchtstofflampen

5.4 Spezielle Beleuchtung

5.4.1 Scheinwerfer und Nebelscheinwerfer

5.4.2 Projektionslampen, Bühnenbeleuchtung und Fotoleuchten

5.4.3 UV-Lampen, Infrarotlampen und medizinische Beleuchtung

5.5 Weitere Anwendungsbereiche

5.5.1 Vakuumelektronik (Röhren, Röntgenröhren)

5.5.2 Molybdändraht für die Funkenerosion (EDM)

5.5.3 Heizelemente und Thermoelemente für Hochtemperaturöfen

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Molybdändraht für die Beleuchtung

6.1 Molybdändraht-Rohmaterialverarbeitungsanlagen für Lampen

6.1.1 Molybdänpulver-Schleif- und Siebanlagen

6.1.2 Dopan-Misch- und Homogenisierungsanlagen

6.1.3 Ausrüstung zur Reinigung von Rohstoffen

6.2 Molybdändrahtschmelz- und Formanlagen für Lampen

6.2.1 Vakuum-Sinterofen und Atmosphärenschutzöfen

6.2.2 Heißpress- und Multidirektionale Schmiedeausrüstung

6.2.3 Präzisionswalzwerke

6.3 Drahtziehausrüstung für Molybdändraht für die Beleuchtung

6.3.1 Mehrpass-Drahtziehmaschine und kontinuierliche Drahtziehanlage

6.3.2 Hochpräzise Formen und Schmiersysteme

6.3.3 Glühofen und Temperiersystem

6.4 Oberflächenbehandlungsausrüstung für Molybdändraht für die Beleuchtung

6.4.1 Elektrolytische Polier- und chemische Reinigungsgeräte

6.4.2 Anlagen zur Abscheidung von Oberflächenbeschichtungen

6.4.3 Prüfgeräte für die Oberflächenqualität

6.5 Prüf- und Qualitätskontrollgeräte für Molybdändraht für die Beleuchtung

6.5.1 Mikroskope (optisch, elektronisch) und Oberflächenanalysatoren

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 6.5.2 Zugprüfmaschinen und Härteprüfgeräte
- 6.5.3 Zusammensetzungsanalytoren (ICP, RFA)
- 6.5.4 Prüfgeräte für Umweltsimulationen

Kapitel 7 In- und ausländische Normen für Molybdändraht für die Beleuchtung

- 7.1 Inländische Normen für Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 7.1.1 GB/T 3462-2017
 - 7.1.2 GB/T 4191-2015
 - 7.1.3 GB/T 4182-2000
 - 7.1.4 Sonstige einschlägige nationale Normen
- 7.2 Internationale Normen für Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 7.2.1 ASTM B387 Standardspezifikation für Stäbe, Stangen und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen
 - 7.2.2 ISO 22447 Molybdän und Molybdänlegierungen Artikel
 - 7.2.3 JIS H 4461
 - 7.2.4 Weitere ISO-Normen
- 7.3 Vergleich und Umrechnung zwischen verschiedenen Standards von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 7.3.1 Vergleich der technischen Parameter in- und ausländischer Normen
 - 7.3.2 Standard-Konvertierungsmethoden
 - 7.3.3 Analyse der gegenseitigen Anerkennung zwischen internationalen und nationalen Normen
- 7.4 Umweltschutz und RoHS-Vorschriften für Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 7.4.1 Anforderungen der RoHS-Richtlinie (EU 2011/65/EU) an Molybdändrahtmaterialien
 - 7.4.2 China RoHS (Maßnahmen zur Kontrolle der Umweltverschmutzung durch elektronische Informationsprodukte)
 - 7.4.3 Einhaltung der Umweltvorschriften bei der Herstellung von Molybdändraht
 - 7.4.4 Anforderungen an umweltfreundliche Produktion und nachhaltige Entwicklung
- 7.5 Industriestandards und Unternehmensspezifikationen für Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 7.5.1 Standards der China Nonferrous Metals Industry Association
 - 7.5.2 Interne Spezifikationen für die Beleuchtungsindustrie

Kapitel 8 Detektionstechnologie von Molybdändraht für die Beleuchtung

- 8.1 Prüfung der chemischen Zusammensetzung von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 8.1.1 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)
 - 8.1.2 Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)
 - 8.1.3 Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- 8.2 Prüfung der physikalischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 8.2.1 Maß- und Toleranzmessung (Lasermikrometrie, Mikroskopie)
 - 8.2.2 Dichtepfung und Qualitätsanalyse
 - 8.2.3 Prüfung von Zugfestigkeit, Duktilität und Härte
- 8.3 Oberflächenqualitätsprüfung von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 8.3.1 Mikroskopische und Oberflächenrauheitsprüfung
 - 8.3.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Energiespektroskopie (EDS)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 8.3.3 Technologie zur Erkennung von Oberflächenfehlern
- 8.4 Hochtemperatur-Leistungstest von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 8.4.1 Prüfung der Oxidationsbeständigkeit und thermischen Stabilität bei hohen Temperaturen
 - 8.4.2 Temperaturwechsel- und Kriechfestigkeitsprüfung
 - 8.4.3 Prüfung der mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen
- 8.5 Elektrische Leistungsprüfung von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 8.5.1 Prüfung des spezifischen Widerstands und der Leitfähigkeit
 - 8.5.2 Temperaturkoeffizienten- und Lichtbogenstabilitätsanalyse
 - 8.5.3 Elektrischer Leistungstest bei hohen Temperaturen
- 8.6 Zerstörungsfreie Prüfung von Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 8.6.1 Ultraschall-Fehlererkennungstechnologie
 - 8.6.2 Röntgenfehlererkennung und CT-Abtastung
 - 8.6.3 Magnetpulverprüfung und Wirbelstromprüfung

Kapitel 9 Der zukünftige Entwicklungstrend von Molybdändraht für die Beleuchtung

- 9.1 Neue Materialien und Dotierungstechnologien
 - 9.1.1 Erforschung neuer dotierter Elemente
 - 9.1.2 F&E und Anwendung von nanoskaligem Molybdändraht
 - 9.1.3 Verbundwerkstoffe und Molybdänbasislegierungen
- 9.2 Intelligenter und grüner Produktionsprozess
 - 9.2.1 Intelligente Fertigung und Industrie 4.0-Technologien
 - 9.2.2 Umweltfreundliche Produktionsprozesse und Abfallverwertung
 - 9.2.3 Energieoptimierung und kohlenstoffarme Fertigung
- 9.3 Alternative Materialien für Molybdändraht für die Beleuchtung
 - 9.3.1 Wolframbasierte Werkstoffe und neue Legierungen
 - 9.3.2 Keramik und kohlenstoffbasierte Werkstoffe
 - 9.3.3 Neue hochtemperaturleitfähige Materialien
- 9.4 Markt- und Anwendungserweiterung
 - 9.4.1 Mögliche Anwendungen in der LED- und Laserbeleuchtung
 - 9.4.2 Expansion in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Hochtemperaturindustrie
 - 9.4.3 Globale Marktnachfrage und Analyse der Schwellenländer

Anhang

- A. Glossar der Begriffe
- B. Verweise

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Definition und Überblick über Molybdändraht

1.1.1 Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften von Molybdändraht

Molybdändraht ist ein längliches Metallmaterial mit Molybdänmetall als Hauptbestandteil, Molybdän (chemisches Symbol Mo, Ordnungszahl 42) ist ein Refraktärmetall, das aufgrund seiner einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften häufig in Industrieprodukten in Hochtemperaturumgebungen verwendet wird. Molybdändraht wird in der Regel in einer hochreinen Form mit extrem hoher Reinheit hergestellt, um eine gleichbleibende Leistung zu gewährleisten. Einige Molybdändrähte sind mit Spurenelementen wie Lanthan oder Rhenium dotiert, um spezifische Eigenschaften zu verbessern, die den Anforderungen verschiedener Anwendungsszenarien gerecht werden. Die Kristallstruktur von Molybdän ist kubisch und körperzentriert, was dem Molybdändraht eine hervorragende mechanische Festigkeit und Verformungsbeständigkeit bei hohen Temperaturen verleiht, so dass er extremen Betriebsbedingungen standhält.

Molybdändraht hat einen extrem hohen Schmelzpunkt, der ausreicht, um den hohen Temperaturen in Beleuchtungsgeräten standzuhalten. Seine hohe Dichte verleiht dem Material solide physikalische Eigenschaften, während seine thermische und elektrische Leitfähigkeit ausgezeichnet ist, was ihm einen Vorteil in elektrischen Anwendungen verschafft. Molybdändraht hat eine gute chemische Stabilität bei Raumtemperatur und kann der Erosion von Säuren, Laugen und anderen Chemikalien widerstehen, aber wenn er bei hohen Temperaturen an der Luft ausgesetzt wird, reagiert er leicht mit Sauerstoff zu Oxiden, so dass Vakuum oder Inertgas (wie Argon oder Stickstoff) in der Regel in Lampen und Laternen Schutz vor Umwelteinflüssen erforderlich ist, um zu verhindern, dass Oxidationsreaktionen die Materialeigenschaften beeinträchtigen.

Die Wärmeausdehnungseigenschaften von Molybdändraht sind einer der wichtigen Faktoren für seine Anwendung im Beleuchtungsbereich. Sein Wärmeausdehnungskoeffizient ist stark auf bestimmte Glasmaterialien, wie z. B. Borosilikatglas, abgestimmt, was Molybdändraht zu einer idealen Wahl für Glas-Metall-Dichtungsprozesse im Leuchtenbau macht, um Luftdichtheit und strukturelle Stabilität zu gewährleisten. Darüber hinaus haben die Oberflächeneigenschaften von Molybdändraht einen wesentlichen Einfluss auf seine Eigenschaften. Durch elektrolytisches Polieren oder chemische Reinigung kann die Oberfläche des Molybdändrahtes ein hohes Finish erzielen, wodurch die Unebenheiten bei der Lichtbogenentladung reduziert und dadurch die Stabilität und optische Leistung der Leuchte verbessert werden. Dotierter Molybdändraht (z.g. Blybdän-Lanthandraht oder Molybdän-Rheniumdraht) durch Zugabe von Seltenen Erden oder anderen Elementen werden die Kriechfestigkeit und die Rekristallisationstemperatur des Materials bei hohen Temperaturen deutlich verbessert, wodurch es sich besser für anspruchsvolle Beleuchtungsanwendungsszenarien eignet.

1.1.2 Die Kernfunktion von Molybdändraht im Bereich der Beleuchtung

Die Anwendung von Molybdändraht im Beleuchtungsbereich umfasst eine Vielzahl von Schlüsselfunktionen, einschließlich Glühfadenträger, Elektrodenmaterial, Dichtungskomponenten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und Unterstützung für Halogenzyklen usw., die im Folgenden beschrieben werden:

Glühfadenstütze: In Glühlampen und Halogenlampen wird Molybdänfaden häufig als Strukturmaterial zur Unterstützung von Wolframfaden verwendet. Wolframfaden neigt bei hohen Temperaturen zu Verformungen oder Durchhängen, während Molybdänfaden mit seiner hervorragenden Hochtemperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit den Glühfaden fest stützen und seine Geometrie beibehalten kann, wodurch die Lichtausbeute und Lebensdauer der Lampe gewährleistet wird. Diese Stützfunktion ist besonders wichtig in Umgebungen mit hohen Temperaturen, in denen sich das Filament über längere Zeiträume nahe dem Schmelzpunkt befinden kann.

Elektrodenmaterial: In Gasentladungslampen (z. B. Hochdruckentladungslampen, Leuchtstofflampen) fungiert Molybdändraht als Elektrodenmaterial, das für die Führung des Lichtbogens und die Stromübertragung verantwortlich ist. Seine hohe Leitfähigkeit und Beständigkeit gegen Lichtbogenkorrosion ermöglichen es ihm, den Auswirkungen von sofortigen Hochspannungs- und Hochtemperaturlichtbögen standzuhalten und die Integrität der Elektrodenstruktur zu erhalten. Bei Hochdruck-Natriumdampf- oder Halogen-Metaldampflampen muss die Molybdändrahtelektrode beispielsweise unter extremen Bedingungen stabil arbeiten, um sicherzustellen, dass die Leuchte leuchtet und weiterhin Licht abgibt.

Dichtungskomponenten: Molybdändraht entspricht dem Wärmeausdehnungskoeffizienten von Glas und ist damit das Material der Wahl für die Glas-Metall-Abdichtung im Leuchtenbau. Die Dichtungskomponenten müssen die Luftdichtheit im Inneren der Leuchte gewährleisten und das Austreten von Inertgas oder das Eindringen von Außenluft verhindern, um so die Umwelt im Inneren der Leuchte zu schützen und die Lebensdauer zu verlängern. Die chemische Stabilität des Molybdändrahtes ermöglicht es, Korrosion in der Hochtemperatur-Gasumgebung im Inneren der Lampe zu widerstehen, wodurch eine langfristige Zuverlässigkeit des Dichtungsteils gewährleistet wird.

Halogenzyklusunterstützung: Bei Halogenlampen sind Molybdänfilamente zusammen mit Halogenen (wie Jod oder Brom) in der Lampe am Halogenzyklusprozess beteiligt. Der Halogenzyklus lagert das verdampfte Wolfram durch eine chemische Reaktion wieder in den Glühfaden ein, wodurch die Lebensdauer des Glühfadens erheblich verlängert und gleichzeitig die Lichtausbeute erhöht wird. Die chemische Beständigkeit von Molybdändraht sorgt dafür, dass er in Halogenumgebungen nicht angegriffen wird, wodurch die Stabilität des zyklischen Prozesses erhalten bleibt und die hohe Leistung von Halogenlampen unterstützt wird.

Die Vielseitigkeit von Molybdändraht macht ihn zu einer unverzichtbaren Rolle sowohl in der traditionellen Beleuchtung (z. B. Glühlampen, Halogenlampen) als auch in der Spezialbeleuchtung (z. B. Automobilampfen, Bühnenlampen, medizinische Lampen). Sein Potenzial in neuen Beleuchtungstechnologien, wie z. B. Hochleistungsentladungslampen, wird auch zu einer wichtigen Säule der modernen Beleuchtungsindustrie.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

1.1.3 Vergleich von Molybdändraht mit anderen Metallwerkstoffen

Die einzigartigen Vorteile von Molybdändraht in der Beleuchtung lassen sich durch einen detaillierten Vergleich mit gängigen Metallwerkstoffen wie Wolfram, Kupfer, Nickel und Platin aufzeigen:

Kontrast zu Wolfram: Wolfram ist aufgrund seines extrem hohen Schmelzpunkts das Material der Wahl für Glühfilamente, wodurch es sich für den direkten Einsatz als lichtemittierendes Element eignet. Die Lichtausbeute von Wolfram bei hohen Temperaturen ist besser als die von Molybdän, aber sein Wärmeausdehnungskoeffizient ist etwas weniger verträglich mit dem von Glas, und es ist leicht, bei hohen Temperaturen zu rekristallisieren, was zu einer Versprödung des Materials führt. Im Gegensatz dazu weist Molybdändraht eine bessere Kriechfestigkeit und strukturelle Stabilität bei hohen Temperaturen auf, wodurch er sich besonders als Filamentträger oder Elektrodenmaterial eignet. Darüber hinaus sind die Rohstoffkosten und die Verarbeitungsschwierigkeiten von Molybdän niedriger als bei Wolfram, was es wirtschaftlicher und weit verbreitet in Szenarien macht, die Hochtemperaturstabilität und Dichtungsfunktionen erfordern.

Gegensatz zu Kupfer: Kupfer hat eine extrem hohe elektrische Leitfähigkeit und eine gute Duktilität, hält aber aufgrund seines niedrigen Schmelzpunkts den hohen Temperaturen in Beleuchtungsgeräten nicht stand. Darüber hinaus unterscheidet sich der Wärmeausdehnungskoeffizient von Kupfer stark von dem von Glas, was es für die Glas-Metall-Abdichtung ungeeignet macht. Die Hochtemperaturstabilität und Verträglichkeit von Molybdändraht mit Glas machen ihn im Leuchtenbau weit besser als Kupfer, insbesondere bei Anwendungen, die eine hohe Temperaturbeständigkeit und Luftdichtheit erfordern.

Vergleich mit Nickel: Nickel wird aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und Verarbeitbarkeit als Elektrodenmaterial in einigen Low-Power-Lampen verwendet. Nickel hat jedoch einen niedrigen Schmelzpunkt und eine unzureichende Festigkeit bei hohen Temperaturen, um die hohen Anforderungen von Hochdruckentladungs- oder Halogenlampen zu erfüllen. Die hervorragenden Eigenschaften von Molybdändraht in Hochtemperatur-Lichtbogen- und chemisch korrosiven Umgebungen machen ihn zu einem geeigneteren Material für Hochleistungsbeleuchtungsanwendungen.

Kontrast zu Platin: Platin wird aufgrund seiner hohen chemischen Stabilität und Oxidationsbeständigkeit gelegentlich in High-End-Speziellampen verwendet. Platin hat jedoch einen niedrigeren Schmelzpunkt als Molybdän und seine extrem hohen Kosten, was seine großtechnische Anwendung in der Industrie einschränkt. Molybdändraht bietet ein gutes Verhältnis zwischen Leistung und Kosten und eignet sich daher für eine Vielzahl von Beleuchtungs- und Hochtemperaturanwendungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Molybdändraht aufgrund seiner Kombination aus Hochtemperaturleistung, Dichtfähigkeit, chemischer Stabilität und Kosteneffizienz eine einzigartige Position im Beleuchtungsbereich einnimmt, insbesondere in Anwendungen, die eine hohe Temperaturstabilität und hermetisch dichte Verbindung erfordern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

1.2 Geschichte und Entwicklung des Molybdändrahtes

1.2.1 Entdeckung und frühe industrielle Anwendung von Molybdän

Die Entdeckung von Molybdän geht auf das Ende des 18. Jahrhunderts zurück. Im Jahr 1778 isolierte der schwedische Chemiker Carl Wilhelm Scheerer durch chemische Experimente Molybdänsäure aus Molybdänit und legte damit den Grundstein für die Molybdänforschung. Im Jahr 1781 gelang es Peter Jacob Hiyem, Molybdänmetall durch Reduktion von Molybdänsäure herzustellen, was die offizielle Entdeckung von Molybdän darstellte. Ende des 19. Jahrhunderts, mit dem Fortschritt der metallurgischen Technologie, begann Molybdän in den industriellen Bereich einzudringen, zunächst hauptsächlich bei der Herstellung von Stahllegierungen, um die Festigkeit, Hitzebeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Stahl zu verbessern. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden nach und nach die feuerfesten Eigenschaften von Molybdän erkannt, und sein hoher Schmelzpunkt und seine Hochtemperaturfestigkeit führten zu seiner Anwendung in Hochtemperaturindustrien, wie z. B. Heizelementen für Elektroöfen und Vakuumgeräten.

Im Bereich der Beleuchtung begann die Anwendung von Molybdän mit der Entwicklung von Glühlampen Ende des 19. Jahrhunderts. Frühe Glühlampen verwendeten Kohlefaden oder Platinfaden als Glühfaden, aber der Kohlefaden hatte eine kurze Lebensdauer, und die Kosten für Platinglühfaden waren hoch, was es schwierig machte, die Anforderungen der Großserienproduktion zu erfüllen. Molybdän wurde aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner guten mechanischen Eigenschaften, insbesondere in Vakuum- oder Inertgasumgebungen, für Filamentträger- und Elektrodenmaterialien getestet. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde Molybdändraht in den Dichtungsteilen von Glühlampen verwendet, da er der Wärmeausdehnung von Glas besser entsprach als andere Metalle und die Luftdichtheit und Zuverlässigkeit von Lampen erheblich verbesserte.

1.2.2 Die Entwicklung von Molybdändraht in der Beleuchtungstechnik

Die Anwendung von Molybdändraht in der Beleuchtungstechnik hat mit der Entwicklung der Leuchtentechnik mehrere Evolutionsstufen durchlaufen:

Die Ära der Glühlampen (spätes 19. bis frühes 20. Jahrhundert): Die Erfindung der Glühlampen trieb die frühe Verwendung von Molybdändraht voran. Als Thomas Edison und andere Glühlampen entwickelten, standen sie vor dem Problem, Glühfadenträger und Dichtungsmaterialien auszuwählen. Molybdändraht wurde aufgrund seiner Hochtemperaturfestigkeit und Verträglichkeit mit Glas verwendet, um Wolframfilamente zu stützen und hermetisch dichte Verbindungen zu bilden. In den 1900er Jahren reifte der Ziehprozess von Molybdändraht allmählich heran, wodurch feinerer und gleichmäßigerer Molybdändraht hergestellt wurde, der den Anforderungen an die Präzisionsfertigung von Glühlampen entsprach.

Der Aufstieg der Halogenlampen (Mitte des 20. Jahrhunderts): In den 1950er Jahren stellte die Erfindung der Halogenlampen höhere Anforderungen an den Molybdändraht. Halogenlampen arbeiten bei extrem hohen Temperaturen und sind mit chemisch aktiven Halogengasen gefüllt. Molybdändraht ist aufgrund seiner hohen Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit eine ideale Wahl für Elektroden und Stützmaterialien. In dieser Zeit wurde dotierter Molybdändraht (z. B.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdän-Lanthan-Draht) entwickelt, um die Leistung bei hohen Temperaturen weiter zu verbessern.

Gasentladungslampen und Spezialbeleuchtung (spätes 20. Jahrhundert): Mit der Beliebtheit von Hochdruckentladungslampen (HID), Leuchtstofflampen und Spezialbeleuchtungen (z. B. Autolampen, Projektionslampen) wurde der Anwendungsbereich von Molybdändraht weiter erweitert. Seine Stabilität in Lichtbogenentladungsumgebungen und die Zuverlässigkeit seiner Abdichtung auf Glas machen es zum Material der Wahl für Gasentladungslampenelektroden und Dichtungskomponenten.

Moderne Lichttechnik (21. Jahrhundert): Obwohl die LED-Beleuchtung nach und nach die traditionelle Beleuchtung ablöst, ist Molybdändraht an der Börse der Hochleistungs-Spezialbeleuchtung (z.B. Bühnenleuchten, medizinische Lampen) und traditionellen Leuchten nach wie vor unverzichtbar. Darüber hinaus wurde das Anwendungspotenzial von Molybdändraht in elektronischen Vakuumgeräten, Hochtemperaturkomponenten in der Luft- und Raumfahrt und anderen Bereichen weiter erforscht, was seine feldübergreifende Anpassungsfähigkeit zeigt.

1.2.3 Wichtige technologische Durchbrüche und Meilensteine

Die breite Anwendung von Molybdändraht im Bereich der Beleuchtung ist auf die folgenden wichtigen technologischen Durchbrüche zurückzuführen:

Reife der Pulvermetallurgie-Technologie: Zu Beginn des 20. Jahrhunderts ermöglichte der Fortschritt der Pulvermetallurgie-Technologie die Herstellung von hochreinem Molybdändraht in großem Maßstab. Durch das Pressen, Sintern und Schmieden des Molybdänpulvers zu einem Rohling liefert es einen hochwertigen Rohstoff für den anschließenden Ziehprozess.

Verbesserung des Drahtziehprozesses: In den 1920er Jahren führte die Optimierung der Mehrzug-Drahtziehtechnologie und des Werkzeugdesigns zu einer deutlichen Verringerung des Durchmessers von Molybdändraht, der in der Lage war, mikrometergroße Filamente herzustellen, die den Anforderungen von Präzisionslampen gerecht wurden. Die Einführung des Glühprozesses verbessert die Duktilität und Zähigkeit von Molybdändraht und reduziert die Bruchrate während der Verarbeitung.

Entwicklung der Dotierungstechnologie: In den 1950er Jahren wurden die hohe Temperaturkriechbeständigkeit und die Rekristallisationstemperatur von Molybdändraht durch Dotierungselemente wie Lanthanoxid oder Rhenium deutlich verbessert. Zum Beispiel hat Molybdän-Lanthandraht eine um Hunderte von Grad Celsius höhere Rekristallisationstemperatur als reiner Molybdändraht, so dass er unter anspruchsvolleren Bedingungen eingesetzt werden kann.

Fortschritte in der Oberflächenbehandlungstechnik: In den 1980er Jahren wurde durch den Einsatz von elektrolytischer Polier- und chemischer Reinigungstechnik die Oberflächengüte von Molybdändraht deutlich verbessert, die Inhomogenität bei der Lichtbogenentladung reduziert und die Lebensdauer von Leuchten verlängert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Einführung der automatisierten Produktion: Zu Beginn des 21. Jahrhunderts hat die breite Anwendung automatisierter Produktionslinien die Konsistenz und Effizienz der Molybdändrahtproduktion verbessert, die Produktionskosten gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit von Molybdändraht auf dem Weltmarkt weiter erhöht.

Diese technologischen Durchbrüche fördern nicht nur die Anwendung von Molybdändraht im Beleuchtungsbereich, sondern legen auch den Grundstein für seine Expansion in anderen Hochtemperatur-Industriebereichen.

1.3 Die Bedeutung von Molybdändraht in der modernen Beleuchtungsindustrie

1.3.1 Leistungsvergleich zwischen Molybdändraht und herkömmlichem Wolframdraht

Molybdändraht und [Wolframdraht](#) sind die beiden am häufigsten verwendeten Hochtemperatur-Metallwerkstoffe in der Beleuchtungsindustrie. Im Folgenden finden Sie einen detaillierten Vergleich unter mehreren Aspekten:

Hohe Temperaturbeständigkeit: Der Schmelzpunkt von Wolfram ist höher als der von Molybdän, wodurch es sich besser als Leuchtfaden für Glühlampen eignet und Hochtemperatur-Lumineszenzaufgaben direkt standhält. Molybdän hat jedoch eine bessere Kriechbeständigkeit und strukturelle Stabilität bei hohen Temperaturen, wodurch es sich als Stützmaterial oder Elektrode eignet, insbesondere in Szenarien, in denen eine langfristige Formbeständigkeit erforderlich ist.

Wärmeausdehnungseigenschaften: Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdän ist in hohem Maße mit Dichtungsmaterialien wie Borosilikatglas abgestimmt, die eine zuverlässige hermetische Abdichtung bilden können. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolfram ist etwas weniger kompatibel mit Glas, und für die Abdichtung sind häufig zusätzliche Übergangsmaterialien erforderlich, was die Herstellungskomplexität erhöht.

Chemische Stabilität: In der Halogengasumgebung von Halogenlampen ist die Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht besser als die von Wolfram, das dem chemischen Angriff von Halogengas effektiv widerstehen kann, den Halogenzyklusprozess unterstützt und die Lebensdauer der Lampe verlängert.

Kosten und Verarbeitbarkeit: Molybdän hat niedrigere Rohstoff- und Verarbeitungskosten als Wolfram, und seine Zieh- und Umformprozesse sind relativ einfach, wodurch es für die Großserienproduktion geeignet ist. Wolfram ist vor allem bei der Herstellung von ultrafeinen Drähten schwer zu verarbeiten und die Ausbeute gering.

Elektrische Eigenschaften: Der spezifische Widerstand von Wolfram und Molybdän ist ähnlich, aber Molybdän hat eine bessere Lichtbogenstabilität in Gasentladungslampen und eignet sich als Elektrodenmaterial, um den Auswirkungen von sofortiger Hochspannung und Hochtemperaturlichtbogen standzuhalten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Molybdändraht und Wolframdraht eine komplementäre

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Beziehung in Beleuchtungsgeräten bilden, Molybdändraht wird aufgrund seiner hervorragenden Dichtungsleistung, chemischen Stabilität und Wirtschaftlichkeit häufig in Träger-, Elektroden- und Dichtungsfunktionen verwendet, während Wolframdraht hauptsächlich für lichtemittierende Filamente verwendet wird.

1.3.2 Die strategische Stellung von Molybdändraht in der hocheffizienten Beleuchtung

Hocheffiziente Beleuchtung (z. B. Halogenlampen, Hochdruckentladungslampen) stellt höhere Anforderungen an die Hochtemperaturleistung, die chemische Stabilität und die elektrischen Eigenschaften von Materialien, und Molybdändraht hat seine strategische Position in folgenden Aspekten unter Beweis gestellt:

Eine Schlüsselrolle bei Halogenlampen: Halogenlampen erreichen durch Halogenzyklen eine höhere Lichtausbeute und eine längere Lebensdauer. Als Elektrode und Trägermaterial muss Molybdändraht hohen Temperaturen und chemischen Angriffen von Halogengas standhalten, und seine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und hohe Temperaturfestigkeit gewährleisten den stabilen Betrieb der Lampe und bieten eine wichtige Unterstützung für den hohen Wirkungsgrad der Halogenlampe.

Anwendung von Hochdruckentladungslampen: In Hochdruckentladungslampen wie Halogen-Metalldampf lampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen muss Molybdändraht als Elektrodenmaterial einer sofortigen Hochspannung und einer extrem hohen Lichtbogenumgebung standhalten. Seine Lichtbogenstabilität und hohe Temperaturbeständigkeit machen es zu einem unersetzlichen Material, das einen schnellen Start und eine kontinuierliche Lumineszenz der Leuchte gewährleistet.

Zuverlässigkeit in der Spezialbeleuchtung: In Scheinwerfern, Projektionslampen und Bühnenbeleuchtung für Kraftfahrzeuge müssen Leuchten in komplexen Umgebungen wie Vibrationen und hohen Temperaturen stabil funktionieren. Die hohe Zuverlässigkeit des Molybdändrahtes und die Möglichkeit, mit Glas abzudichten, gewährleisten die Langlebigkeit und Leistungsstabilität der Leuchte.

Unterstützung der Energieeinsparung und des Umweltschutzes: Der hohe Wirkungsgrad und die lange Lebensdauer von Molybdändraht unterstützen die Konstruktion von Energiesparlampen und -laternen, die den Anforderungen der modernen Beleuchtungsindustrie an Energieeffizienz und Umweltschutz gerecht werden. Sein Produktions- und Verwendungsprozess erfüllt zudem strenge Umweltstandards, wie z. B. die RoHS-Richtlinie der Europäischen Union.

Die strategische Position von Molybdändraht spiegelt sich in seiner Fähigkeit wider, die Entwicklung der Beleuchtungstechnologie in Richtung hoher Leistung, langer Lebensdauer und Energieeinsparung zu fördern, insbesondere bei der Umwandlung der traditionellen Beleuchtung in eine hocheffiziente Beleuchtung.

1.3.3 Die Rolle von Molybdändraht in Energiesparlampen

Energiesparende Leuchten (z.B. Halogenlampen, Kompaktleuchtstofflampen,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Hochdruckentladungslampen) sind der Mainstream der modernen Beleuchtung, und Molybdändraht spielt dabei eine Schlüsselrolle:

Halogenlampen: Molybdän-Glühfäden verlängern die Lebensdauer der Glühfäden und senken den Energieverbrauch, indem sie Halogenzyklen unterstützen. Die Zuverlässigkeit von Molybdän-Glühlampen ist der Schlüssel zur Erzielung dieses Vorteils, da der Anteil der Lichtausbeute von Halogenlampen im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen einen stabilen Betrieb der Leuchten in Umgebungen mit hohen Temperaturen und chemischer Attacke gewährleistet.

Kompaktleuchtstofflampen: Bei Kompaktleuchtstofflampen fungiert Molybdändraht als Elektrodenmaterial und ist für die Einleitung und Aufrechterhaltung der Leuchtstoffentladung verantwortlich. Die hohe Leitfähigkeit und Störlichtbogenbeständigkeit sorgen für einen schnellen Start und eine langfristige Stabilität der Leuchten und erfüllen damit die Anforderungen an eine hohe Effizienz in der energieeffizienten Beleuchtung.

Hochdruckentladungslampen: Die Lichtausbeute von Hochdruckentladungslampen übertrifft die herkömmlicher Glühlampen bei weitem und sie sind der Vertreter einer hocheffizienten Beleuchtung. Als Elektrode und Dichtungsmaterial unterstützt Molybdändraht den Betrieb von Lampen in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hohem Druck und verbessert die Energieeffizienz erheblich.

Umweltschutzeigenschaften: Die Herstellung und Verwendung von Molybdändraht entspricht strengen Umweltschutzvorschriften, enthält kein Blei, Quecksilber und andere Schadstoffe und erfüllt die Anforderungen an umweltfreundliches Licht. Die hohe Langlebigkeit reduziert auch die Häufigkeit des Leuchtenwechsels, wodurch der Ressourcenverbrauch und die Abfallerzeugung reduziert werden.

Die Verwendung von Molybdändraht in Energiesparlampen und Laternen fördert die Miniaturisierung, hohe Leistung und den Umweltschutz von Lampen und Laternen und entspricht den Bedürfnissen der modernen Gesellschaft nach kohlenstoffarmer und nachhaltiger Entwicklung.

1.4 Forschungs- und Anwendungsstatus von Molybdändraht

1.4.1 Forschungsfortschritte der Molybdändrahttechnologie im In- und Ausland

Weltweit konzentriert sich die Forschung zur Molybdändrahttechnologie hauptsächlich auf die folgenden Richtungen:

Dotierungstechnologie: In- und ausländische Forschungseinrichtungen engagieren sich für die Entwicklung neuer dotierter Molybdändrähte, indem sie Seltenerdelemente (wie Lanthan, Cer, Yttrium) oder Edelmetalle (wie Rhenium) hinzufügen, um die Kriechbeständigkeit und Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen zu verbessern. So hat der vom Institut für Metallforschung der Chinesischen Akademie der Wissenschaften entwickelte Hochleistungs-Molybdän-Lanthan-Draht eine deutlich höhere Rekristallisationstemperatur und eignet sich für anspruchsvollere Hochtemperaturumgebungen. Die Forschung in Europa und den Vereinigten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Staaten konzentrierte sich auf die Entwicklung von Molybdän-Rhenium-Legierungen zur Verbesserung der Duktilität und Oxidationsbeständigkeit.

Optimierung des Produktionsprozesses: Unternehmen in Deutschland und Österreich haben durch die Einführung intelligenter Fertigungstechnologie und Präzisionsdrahtziehenanlagen die Oberflächenqualität und Produktionskonsistenz von Molybdändraht deutlich verbessert. Chinesische Unternehmen haben Durchbrüche in der Pulvermetallurgie und bei Drahtziehprozessen erzielt, die Produktionseffizienz optimiert und Kosten gesenkt.

Nanoskaliger Molybdändraht: Mit dem Aufkommen der Nanotechnologie haben einige Forschungseinrichtungen die Herstellung von nanoskaligem Molybdändraht für hochpräzise elektronische Geräte und neue Beleuchtungstechnologien untersucht. Es wird erwartet, dass die Festigkeit und Leitfähigkeit von Nano-Molybdändraht weiter verbessert wird, was die Möglichkeit für Beleuchtungstechnologie der nächsten Generation bietet.

Grüne Fertigung: Die Forschung in Europa und Japan konzentriert sich auf umweltfreundliche Produktionstechnologien, wie z. B. die Reduzierung des Energieverbrauchs und der Abgasemissionen im Sinterprozess. China fördert auch die kohlenstoffarme Produktion von Molybdändraht, entwickelt Abfallrecyclingtechnologien und umweltfreundliche Prozesse und reagiert auf den globalen Umweltschutztrend.

1.4.2 Globale Marktgröße und Anwendungsverteilung

Laut Branchenanalyse ist der globale Markt für Molybdändraht in den letzten Jahren stetig gewachsen, und der Beleuchtungsbereich ist eines seiner Hauptanwendungsszenarien. Das Wachstum der Marktgröße wird hauptsächlich durch die folgenden Faktoren angetrieben:

Regionale Verteilung: China ist der weltweit größte Produzent von Molybdändraht mit reichen Molybdänervorkommen und ausgereifter Verarbeitungstechnologie, die einen erheblichen Anteil an der weltweiten Produktion ausmachen. Europa (Deutschland, Österreich) und die Vereinigten Staaten haben technologische Vorteile bei der Herstellung von hochwertigen dotierten Molybdändrähten, wobei der Schwerpunkt auf Produkten mit hoher Wertschöpfung liegt.

Anwendungsverteilung: Im Bereich der Beleuchtung sind Halogenlampen und Hochdruckentladungslampen die Hauptanwendungsszenarien für Molybdändraht und nehmen einen großen Marktanteil von Molybdändraht für die Beleuchtung ein. Weitere Anwendungen sind Spezialbeleuchtung (z. B. Automobilbeleuchtung, medizinische Leuchten) und Vakuumelektronik (z. B. Röntgenröhren).

Markttreiber: Die wachsende Nachfrage nach hocheffizienter Beleuchtung, die rasche Expansion des Marktes für Automobilbeleuchtung und der Einsatz von Spezialbeleuchtung in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Medizin treiben das anhaltende Wachstum des Marktes für Molybdändraht voran. Die weltweite Betonung auf energieeffiziente und umweltfreundliche Beleuchtung hat auch die Verwendung von Molybdändraht weiter gefördert.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

1.4.3 Technische Engpässe und künftige Herausforderungen

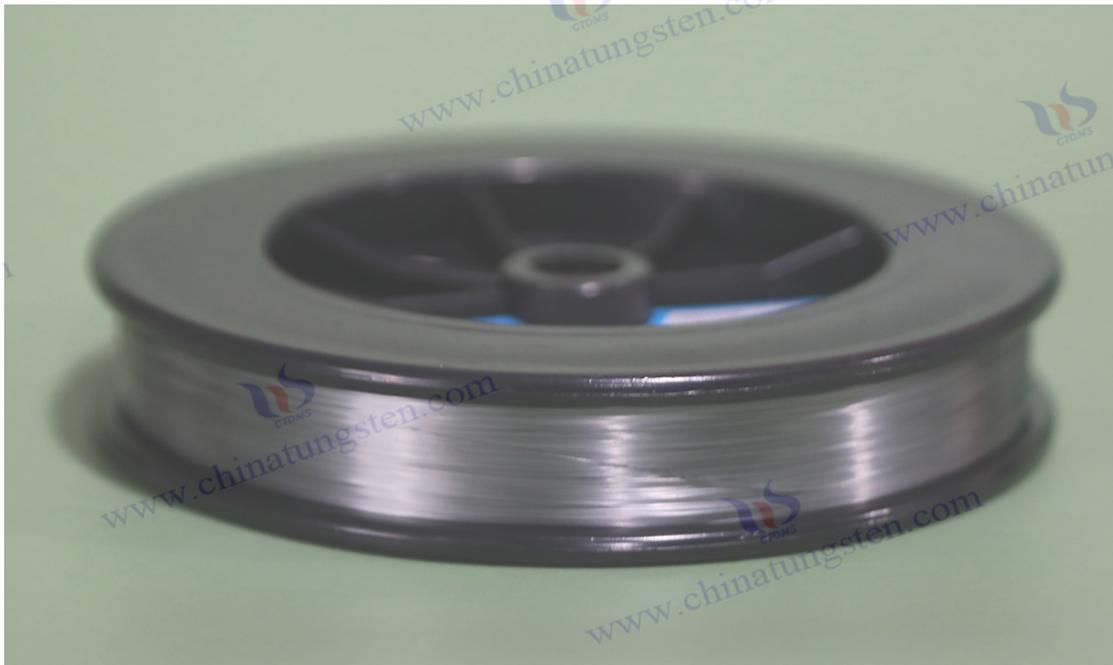
Obwohl Molybdändraht im Beleuchtungsbereich weit verbreitet ist, steht er immer noch vor den folgenden technischen Engpässen und Herausforderungen:

Problem der Hochtemperaturoxidation: Molybdändraht wird in Luft mit hohen Temperaturen leicht oxidiert, was seine Anwendung in Umgebungen ohne Vakuum oder ohne Inertgas einschränkt. Die Entwicklung von Antioxidationsschichten oder neuen dotierten Materialien steht im Mittelpunkt der zukünftigen Forschung, um deren Anwendungsszenarien weiter zu erweitern.

Schwierigkeit bei der Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht: Die Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht (Durchmesser unter 0,02 mm) erfordert eine extrem hohe Prozessgenauigkeit und eine geringe Ausbeute, was zu einer Kostensteigerung führt. Die Verbesserung der Produktionskonsistenz und die Senkung der Kosten sind wichtige Herausforderungen für die Branche.

Wettbewerb bei der LED-Beleuchtung: Die Popularität von LED-Lampen hat die Nachfrage nach herkömmlichen Lampen (wie Glühlampen und Halogenlampen) erheblich reduziert, und der Marktanteil von Molybdändraht im Beleuchtungsbereich wurde bis zu einem gewissen Grad beeinträchtigt. Die Entwicklung von Anwendungen von Molybdändraht in LED-bezogenen Hochtemperaturkomponenten oder in aufstrebenden Bereichen ist der Schlüssel, um diese Herausforderung zu meistern.

Umweltschutz und Nachhaltigkeit: Der Energieverbrauch und die Abfallentsorgung bei der Herstellung von Molybdändraht unterliegen immer strengeren Umweltauflagen (z.B. RoHS- und REACH-Richtlinien in der Europäischen Union). Die Entwicklung einer umweltfreundlichen Fertigungstechnologie und eines Abfallrecyclingsystems ist zu einer wichtigen Entwicklungsrichtung der Branche geworden.



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 2 Klassifizierung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Als Schlüsselmaterial in der Beleuchtungsindustrie hat Molybdändraht für die Beleuchtung aufgrund unterschiedlicher chemischer Zusammensetzungen, Verwendungen und physikalischer Spezifikationen vielfältige Eigenschaften und Anwendungsszenarien. Entsprechend der chemischen Zusammensetzung kann Molybdändraht in reinen Molybdändraht, Molybdän-Lanthandraht, Molybdän-Rheniumdraht und anderen dotierten Molybdändraht unterteilt werden; Je nach Anwendung wird es in Glühlampe, Halogenlampe, Leuchtstofflampe und Gasentladungslampe sowie Molybdändraht für Speziallampen unterteilt. Entsprechend den Vorgaben wird es in verschiedene Durchmesserbereiche, Oberflächenbehandlungsarten und Drahtformen unterteilt. Dieses Kapitel bietet eine umfassende und detaillierte Analyse der Merkmale, Aufbereitungsprozesse, Anwendungsszenarien, technischen Herausforderungen und des Marktstatus jeder Klassifikation in Kombination mit globalen Forschungs- und Industriepraktiken.

2.1 Einstufung nach chemischer Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung von Molybdändraht ist der Kernfaktor, der seine physikalischen, chemischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften bestimmt. Durch die Dotierung verschiedener Elemente in einer Molybdänmatrix oder die Beibehaltung einer hohen Reinheit kann Molybdändraht vielfältige Anforderungen erfüllen, von kostengünstigen Glühlampen bis hin zu Hochleistungs-Speziallampen. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Einführung in die Eigenschaften, den Produktionsprozess und die Anwendung von reinem Molybdändraht, Molybdän-Lanthandraht, Molybdän-Rheniumdraht und anderen dotierten Molybdändrähten.

2.1.1 Reiner Molybdändraht

Reiner Molybdändraht bezieht sich auf Molybdändraht mit einem Molybdängehalt von $\geq 99,95\%$ ohne Zusatz von Dotierungselementen und ist die grundlegendste und am weitesten verbreitete Art von Molybdändraht für die Beleuchtung. Seine hohe Reinheit und seine hervorragenden physikalisch-chemischen Eigenschaften machen es zum Material der Wahl für herkömmliche Beleuchtungsgeräte.

Chemische Zusammensetzung und Reinheit: Reiner Molybdändraht basiert auf hochreinem Molybdän, und der Gesamtgehalt an Verunreinigungen (wie Eisen, Nickel, Kohlenstoff, Sauerstoff, Silizium usw.) wird in der Regel unter $0,05\%$ kontrolliert und kann in einigen Anwendungen mit hoher Nachfrage bis zu $0,01\%$ betragen. Eine hohe Reinheit wird durch die Wasserstoffreduktion von Ammoniummolybdat (AMT) oder Molybdäntrioxid (MoO_3) zur Herstellung von Molybdänpulver erreicht. Eine strenge Kontrolle der Verunreinigungen auf die Leitfähigkeit von Molybdändraht (spezifischer Widerstand ca. $5,5 \times 10^{-8} \Omega \text{ nm}$) und die Korrosionsbeständigkeit sind von entscheidender Bedeutung. So kann beispielsweise ein zu hoher Sauerstoffgehalt bei hohen Temperaturen zu einer beschleunigten Oxidation führen, was zu flüchtigem MoO_3 führt und die Lebensdauer der Leuchte beeinträchtigt.

Physikalische Eigenschaften: Reiner Molybdändraht hat einen hohen Schmelzpunkt ($2623\text{ }^\circ\text{C}$), eine hohe Dichte ($10,2\text{ g/cm}^3$) und einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ($4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Seine Wärmeleitfähigkeit (138 W/m·K) ist besser als die von Wolfram (174 W/m·K) und eignet sich daher für die thermische und elektrische Leitfähigkeit. Die körperzentrierte kubische (BCC) Kristallstruktur von Molybdändraht verleiht ihm eine hervorragende mechanische Festigkeit, neigt jedoch bei hohen Temperaturen (>1000 °C) zur Rekristallisation, was zu Kornwachstum und Versprödung führt.

Mechanische Eigenschaften: Bei Raumtemperatur beträgt die Zugfestigkeit von reinem Molybdändraht 800-1000 MPa und die Bruchdehnung etwa 5%-10%. Bei hohen Temperaturen (1500 °C) sinkt die Zugfestigkeit auf 200-300 MPa, und die Kriechfestigkeit ist schwach, was den Einsatz in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen einschränkt. Die Duktilität von Molybdändraht ermöglicht die Verarbeitung zu ultrafeinen Drähten mit Durchmessern von nur 0,01 mm im Mehrgangziehen.

Chemische Stabilität: Reiner Molybdändraht hat bei Raumtemperatur eine gute Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren, Laugen und Wasser, oxidiert jedoch schnell, wenn er bei hoher Temperatur (>600 °C) an der Luft zu MoO₃ wird. Daher wird reiner Molybdändraht für die Beleuchtung in der Regel in einer Vakuum- oder Inertgasumgebung (z. B. Argon, Stickstoff) verwendet, um Oxidationsverluste zu vermeiden.

Zubereitungsprozess:

Rohstoffaufbereitung: Hochreines Molybdänpulver (Partikelgröße 1-5 µm) wird durch Reduktion von Ammoniummolybdat oder Molybdäntrioxid durch Wasserstoff hergestellt. Verunreinigungen wie Sauerstoff und Kohlenstoff im Pulver müssen streng kontrolliert werden.

Pulvermetallurgie: Molybdänpulver wird durch kalisostatisches Pressen (CIP) zu einem Knüppel gepresst und in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre gesintert (1800-2000 °C), um einen dichten Molybdänknüppel zu bilden.

Warmumformung: Der Rohling wird warmgeschmiedet, warmgewalzt oder rundgeschmiedet, um Molybdänstäbe mit einem auf 1-5 mm reduzierten Durchmesser zu formen.

Drahtziehen: Der Molybdänstab wird mit Hilfe einer Diamantmatrize und einem Schmiermittel wie z.B. Graphitemulsion in mehreren Durchgängen (10-20 Durchgängen) auf den Zieldurchmesser gedehnt. Während des Ziehprozesses wird ein Zwischenglühen (800-1200 °C) durchgeführt, um eine Kaltverfestigung zu vermeiden.

Oberflächenbehandlung: Je nach Anwendungsanforderung kann die Oxidschicht (schwarzer Molybdändraht) zurückgehalten oder gereinigt werden, Molybdändraht kann durch Beizen und elektrolytisches Polieren hergestellt werden.

Anwendungsszenario: Reiner Molybdändraht wird hauptsächlich für Glühfadenstützfilamente und Dichtelektroden in Glühlampen mit geringer Leistung (40-100 W) verwendet, da er stark auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Borosilikatglas abgestimmt ist (Differenz $0,5 \times 10^{-6}/K$), wodurch eine zuverlässige hermetisch dichte Verbindung eingehen kann. Darüber hinaus wird reiner Molybdändraht auch als Elektrodenmaterial für Leuchtstofflampen verwendet und ist für die Einleitung der Entladung verantwortlich. Es ist kostengünstig und eignet sich für die Großserienproduktion.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Markt- und Technologiestatus: Die Produktionstechnologie von reinem Molybdändraht ist weltweit sehr ausgereift, und China macht mehr als 60% der weltweiten Produktion aus.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Niedrige Kosten (ca. 1-2 USD / kg, je nach Spezifikationen), hervorragende Verarbeitungsleistung, geeignet für kostengünstige Beleuchtungsgeräte. Der Herstellungsprozess von reinem Molybdändraht ist einfach und die Ausbeute ist hoch (>95%).

Einschränkungen: Schlechte Kriech- und Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen schränken den Einsatz in Hochleistungs-Halogen- oder Gasentladungslampen ein. In > Umgebung von 1500 °C beträgt die Lebensdauer von reinem Molybdändraht in der Regel weniger als 1000 Stunden.

Technische Herausforderungen: Die Verbesserung der Hochtemperaturleistung von reinem Molybdändraht erfordert einen optimierten Glühprozess oder eine Oberflächenpassivierung, um das Kornwachstum und die Oxidationsverluste zu reduzieren. In Zukunft könnte die Entwicklung kostengünstiger Antioxidationsbeschichtungen ein Durchbruch in die Richtung sein.

2.1.2 Molybdän-Lanthan-Draht

Molybdän-Lanthandraht wird durch Dotierung von Lanthanoxid (La_2O_3 , Gehalt 0,3 %-1,0 %) in Molybdänmatrix hergestellt, die aufgrund ihrer hervorragenden Hochtemperaturleistung und Kriechbeständigkeit häufig in High-End-Beleuchtungsgeräten verwendet wird.

Chemische Zusammensetzung: Molybdän-Lanthandraht basiert auf hochreinem Molybdän ($\geq 99,5\%$) und ist mit Lanthanoxidpartikeln (Partikelgröße 10-100 nm) dotiert. Lanthanoxid wird in Form einer diffusen Phase an der Molybdänkorngrenze verteilt, die durch den Pinning-Effekt das Kornwachstum und den Versetzungsschlupf hemmt. Verunreinigungen (z. B. Eisen, Kohlenstoff) sollten unter 0,03 % kontrolliert werden, um eine Verschlechterung der Leistung zu vermeiden.

Physikalische Eigenschaften: Der Schmelzpunkt von Molybdän-Lanthandraht liegt nahe an dem von reinem Molybdän (ca. 2620 °C), aber die Rekristallisationstemperatur wird deutlich auf 1800-2000 °C (1400-1600 °C für reinen Molybdändraht) erhöht. Sein Wärmeausdehnungskoeffizient ($4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$) und seine Wärmeleitfähigkeit (ca. 135 W/m·K) sind vergleichbar mit denen von reinem Molybdändraht, jedoch ist die Oxidationsbeständigkeit leicht verbessert, da Lanthanoxid-Partikel die Sauerstoffdiffusion verlangsamen können.

Mechanische Eigenschaften: Die Zugfestigkeit von Molybdän-Lanthandraht bei hohen Temperaturen (2000 °C) beträgt 300-500 MPa, und die Kriechfestigkeit ist 2-3 mal höher als die von reinem Molybdändraht. Seine Bruchdehnung beträgt 8%-12% bei Raumtemperatur und behält auch bei hohen Temperaturen eine gewisse Zähigkeit bei. Die Pinning-Wirkung von Lanthanoxid macht Molybdän-Lanthandraht ermüdungsbeständiger bei thermischen Zyklen.

Chemische Stabilität: Molybdän-Lanthandraht eignet sich gut für Halogengasumgebungen (z. B.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Jod, Brom) und ist chemisch beständiger als reiner Molybdändraht. Im Vakuum oder in inerten Gasen kann seine Oxidationsbeständigkeit eine Lebensdauer der Leuchte von > 2000 Stunden unterstützen.

Zubereitungsprozess:

Dopingvorbereitung: Sorgen Sie für eine gleichmäßige Verteilung des Lanthanoxids durch Nassdotierung (Mischen von Lanthanoxidlösung mit Molybdänpulver) oder Sprühtrocknung. Das Dotierungsverhältnis muss genau kontrolliert werden (0,3%-1,0%), ein zu hohes Verhältnis kann zur Versprödung des Materials führen.

Pulvermetallurgie: Dotiertes Molybdänpulver wird in einen Rohling gepresst und in einer Wasserstoffatmosphäre (1900-2100 °C) gesintert, um eine gleichmäßige diffuse Phasenstruktur zu bilden.

Warmumformung und Drahtziehen: Der Rohling wird nach dem Warm Schmieden und Warmwalzen durch Mehrlagendrahtziehen umgeformt. Während des Ziehprozesses sind mehrere Glühvorgänge (900-1300 °C) erforderlich, um die Duktilität zu erhalten. Die Wahl der Form und des Schmiermittels ist entscheidend für die Oberflächenqualität.

Oberflächenbehandlung: Es wird normalerweise zu gereinigtem Molybdändraht verarbeitet, und die Oxidschicht wird durch elektrolytisches Polieren entfernt, um die Lichtbogenstabilität und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

Anwendungsszenario: Molybdän-Lanthandraht wird häufig als Elektrode und Trägermaterial für Halogenlampen und Hochdruckentladungslampen (HID) verwendet. In Autoscheinwerfern beispielsweise kann Molybdän-Lanthan-Draht hohen Temperaturen (>2500 °C) und Vibrationen standhalten und eine Lampenlebensdauer von mehr als 2000 Stunden gewährleisten. Die Elektrodenapplikation in Halogen-Metaldampflampen verbessert zudem die Entladestabilität erheblich.

Markt und technischer Status: Molybdän-Lanthandraht macht etwa 30 % des Marktes für Lampenmolybdändraht aus. Durch die Einführung von Technologien und unabhängige Forschung und Entwicklung hat China die Großproduktion von Molybdän-Lanthan-Draht realisiert, der nach Europa und Nordamerika exportiert wird. Der Weltmarkt wächst mit einer jährlichen Rate von etwa 5 % und wird von der Nachfrage nach Automobilbeleuchtung angetrieben.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Die Kriechfestigkeit und die Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen sind deutlich besser als bei reinem Molybdändraht, geeignet für Hochleistungslampen. Die Lebensdauer kann das 2-3-fache der von reinem Molybdändraht erreichen.

Einschränkungen: Der Dotierungsprozess erhöht die Produktionskosten (ca. 3-5 USD/kg), und die gleichmäßige Verteilung von Lanthanoxid stellt hohe Anforderungen an Anlagen und Prozesse. Eine unsachgemäße Dotierung kann zu einer Partikelagglomeration und einer verminderten Leistung führen.

Technische Herausforderungen: Die Optimierung der Gleichmäßigkeit des Dopings und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Reduzierung der Kosten sind die Hauptrichtungen. Die Präparations- und Dispergiertechnologie von nanoskaligen Lanthanoxidpartikeln steht im Mittelpunkt der zukünftigen Forschung und Entwicklung.

2.1.3 Molybdän-Rheniumdraht

Molybdän-Rheniumdraht ist ein Legierungsdraht, der durch Dotierung von Rhenium (Re) in einer Molybdänmatrix hergestellt wird und durch seine hervorragende Duktilität und Oxidationsbeständigkeit einzigartige Vorteile in der Spezialbeleuchtung aufweist.

Chemische Zusammensetzung: Molybdän-Rheniumdraht wird auf Molybdänbasis und mit Rheniummetall dotiert, um eine feste Lösung zu bilden. Die Zugabe von Rhenium verbessert die Kristallstruktur von Molybdän und reduziert die Sprödigkeit bei niedrigen Temperaturen. Verunreinigungen (wie Sauerstoff und Stickstoff) sollten unter 0,02 % kontrolliert werden, um eine stabile Leistung zu gewährleisten.

Physikalische Eigenschaften: Der Schmelzpunkt von Molybdän-Rheniumdraht ist etwas niedriger als der von reinem Molybdän (ca. 2600 °C), da der Schmelzpunkt von Rhenium (3186 °C) etwas niedriger ist. Sein Wärmeausdehnungskoeffizient ($4,9 \times 10^{-6}/K$) und seine Wärmeleitfähigkeit (ca. 130 W/m·K) sind ähnlich wie bei reinem Molybdän, jedoch wird die Oxidationsbeständigkeit deutlich verbessert und die Oxidationsrate bei hohen Temperaturen um etwa 30 % reduziert.

Mechanische Eigenschaften: Die Zugfestigkeit von Molybdän-Rheniumdraht bei Raumtemperatur beträgt 900-1200 MPa, und die Bruchdehnung beträgt 15%-20%, was viel höher ist als die von reinem Molybdändraht (5%-10%). Bei 2000 °C beträgt die Zugfestigkeit 300-400 MPa, und die Ermüdungsbeständigkeit ist besser als die von Molybdän-Lanthandraht, der für häufige Temperaturwechselumgebungen geeignet ist.

Chemische Stabilität: Molybdän-Rheniumdraht funktioniert gut in Halogengas- und Vakuumumgebungen, und seine chemische Korrosionsbeständigkeit ist besser als die von reinem Molybdändraht und Molybdän-Lanthandraht. Seine antioxidativen Eigenschaften beruhen auf der durch Rhenium gebildeten schützenden Oxidschicht, die die Verflüchtigung von MoO_3 verlangsamt.

Zubereitungsprozess:

Dopingvorbereitung: Rheniumpulver wird durch mechanisches Mischen oder chemische Co-Präzipitation mit Molybdänpulver vermischt, wobei unter Vakuum oder inerte Atmosphäre gearbeitet werden muss, um eine Rheniumoxidation zu verhindern.

Pulvermetallurgie: dotiertes Pulver, das in einen Rohling gepresst und unter Wasserstoff oder Vakuum (1900-2100°C) gesintert wird. Die Sintertemperatur muss genau geregelt werden, um eine Rheniumverflüchtigung zu vermeiden.

Warmumformung und Drahtziehen: Der Rohling wird nach dem Warm Schmieden und Warmwalzen durch Präzisionsdrahtziehen geformt. Während des Drahtziehprozesses ist ein Glühen bei niedrigen Temperaturen (700-1000 °C) erforderlich, um die Zähigkeit zu erhalten.

Oberflächenbehandlung: Es wird hauptsächlich gereinigter Molybdändraht verwendet, und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Oberflächengüte wird durch elektrolytisches Polieren oder chemische Reinigung verbessert.

Anwendungsszenario: Molybdän-Rheniumdraht wird hauptsächlich für Speziallampen verwendet, wie z.B. Projektionslampen, Bühnenlichter, medizinische UV-Lampen und Flugleuchten. Seine hohe Duktilität eignet sich für komplexe Elektrodenformen (z. B. spiralförmige oder gebogene Elektroden) und seine Oxidationsbeständigkeit verlängert die Lebensdauer der Leuchte (bis zu mehr als 3000 Stunden).

Markt- und Technologiestatus: Molybdän-Rheniumdraht macht etwa 10 % des Molybdändrahtmarktes für Lampen aus. China hat in den letzten Jahren durch die Einführung von Technologien eine Produktion in kleinem Maßstab erreicht, aber die Knappheit und der hohe Preis von Rhenium begrenzen die Marktgröße.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Duktilität und Oxidationsbeständigkeit sind besser als bei reinem Molybdändraht und Molybdän-Lanthandraht, geeignet für komplexe Formen und extreme Umgebungen. Hohe Zähigkeit und starke Beständigkeit gegen thermische Zyklen.

Einschränkungen: Die hohen Kosten für Rhenium machen den Preis für Molybdän-Rheniumdraht etwa 3-5 mal so hoch wie den von reinem Molybdändraht, was die großflächige Anwendung einschränkt. Das Dotierungsverhältnis muss genau kontrolliert werden, da ein zu hohes Verhältnis zu einer Aufweichung des Materials führen kann.

Technische Herausforderungen: Die Reduzierung der Rheniummenge oder die Entwicklung alternativer Elemente (z. B. Ruthenium, Osmium) ist der Schlüssel zur Kostenoptimierung. Die Verbesserung der Dotierungsgleichmäßigkeit und der Produktionseffizienz ist auch der Weg in die Zukunft.

2.1.4 Sonstige dotierte Molybdändrähte

Neben Molybdän-Lanthandraht und Molybdän-Rheniumdraht gehören zu den weiteren dotierten Molybdändrähten Molybdändrähte, die mit Wolfram-, Yttrium-, Cer- oder Mehrelement-Verbunddotierten Drähten dotiert sind und für bestimmte High-End-Anwendungen optimiert sind.

Molybdän-Wolframdraht:

Eigenschaften: Mit Wolfram dotierter Molybdändraht (W, Gehalt 1%-10%) kombiniert die Dichteigenschaften von Molybdän mit dem hohen Schmelzpunkt von Wolfram (3422°C). Seine Zugfestigkeit kann 600 MPa bei 2000 °C erreichen, wodurch es für Hochleistungsleuchten geeignet ist.

Anwendung: Elektroden und Trägermaterialien für Hochleistungsglühlampen und Halogen-Metaldampflampen.

Einschränkungen: Schlechte Duktilität (Bruchdehnung <5%), hohe Verarbeitungsschwierigkeiten, und die Kosten sind etwa 2-mal so hoch wie bei reinem Molybdändraht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdän-Yttrium-Draht:

Eigenschaften: dotiert mit Yttriumoxid (Y_2O_3 , Gehalt 0,5%-2%), Rekristallisationstemperatur bis 1900 °C, ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit und Kriechbeständigkeit.

Anwendung: Wird in Speziallampen (z. B. Navigationslichtern) und Hochtemperatur-Infrarotlampen in der Luft- und Raumfahrt verwendet.

Einschränkungen: Der Dotierungsprozess von Yttriumoxid ist komplex und die Ausbeute ist gering (ca. 80%).

Molybdän- und Cerdraht:

Eigenschaften: Dotiertes Ceroxid (CeO_2 , Gehalt 0,3%-1%), starke Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit, geeignet für Umgebungen mit hochfrequenten Entladungen.

Anwendung: wird für UV-Lampen und medizinische Lichtquellen verwendet.

Einschränkungen: Höhere Kosten und enge Marktanwendung.

Multielement-dotierter Molybdändraht:

Eigenschaften: wie z. B. mit Lanthan, Rhenium und Yttrium dotierter Molybdän-Verbunddraht, der hohe Temperaturfestigkeit, Duktilität und Oxidationsbeständigkeit kombiniert.

Anwendungen: Einsatz in extremen Umgebungen wie z. B. in Hochdruckentladungslampen und wissenschaftlichen Lichtquellen.

Einschränkungen: Der Vorbereitungsprozess ist komplex, die Kosten sind hoch und er ist auf die Produktion in kleinen Chargen beschränkt.

Vorbereitungsprozess: Ähnlich wie Molybdän-Lanthan-Draht muss er durch Nassdotierung oder Sprühtrocknung gleichmäßig gemacht werden, die Sintertemperatur beträgt 1900-2200 °C, und für das Drahtziehen sind hochpräzise Formen und Multi-Pass-Glügen erforderlich.

Markt und technischer Status: Sonstiger dotierter Molybdändraht macht 5 % des Marktes für Lampenmolybdändraht aus, der hauptsächlich von ausländischen Unternehmen hergestellt wird. China hat auf dem Gebiet des Molybdän-Yttrium-Drahtes sowie des Molybdän- und Cer-Drahtes einige Fortschritte gemacht, aber die Technologie muss noch durchbrochen werden.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Optimierte Leistung für spezifische Anforderungen für High-End-Anwendungen.

Einschränkungen: hohe Kosten, geringe Marktgröße, komplexe Produktionstechnologie.

Technische Herausforderungen: Die Entwicklung kostengünstiger Dotierungselemente und vereinfachter Prozesse sind entscheidend. Es wird erwartet, dass die Anwendung der nanoskaligen Dotierungstechnologie die Leistung weiter verbessern wird.

2.2 Einstufung nach Verwendung

Entsprechend seiner Funktionen und Einsatzszenarien in verschiedenen Lampentypen kann Molybdändraht für die Beleuchtung in Glühlampen, Halogenlampen, Leuchtstofflampen und Gasentladungslampen sowie Molybdändrähte für Speziallampen unterteilt werden. Jede

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwendung stellt unterschiedliche Leistungsanforderungen an Molybdändraht, die eine hohe Temperaturstabilität, Korrosionsbeständigkeit, elektrische Eigenschaften und Verarbeitbarkeit umfassen.

2.2.1 Molybdändraht für Glühlampen

Molybdändraht für Glühlampen wird hauptsächlich für die Filamentstützung und die Glas-Metall-Versiegelung verwendet und ist die häufigste Anwendung von Molybdändraht in der traditionellen Beleuchtung.

Funktion und Funktion: In Glühlampen wird Molybdändraht hauptsächlich als Stützdraht verwendet, um Wolframfaden zu fixieren, um zu verhindern, dass er bei hohen Temperaturen (2500-3000 °C) durchhängt oder bricht. Als Dichtelektrode wird ein elektrischer Strom in die Glühbirne eingeleitet und eine hermetische Verbindung mit dem Glas hergestellt, die dafür sorgt, dass kein Vakuum oder Inertgase (wie Argon, Stickstoff) in der Lampe austreten.

Leistungsanforderungen:

Hohe Temperaturstabilität: Es muss einer Arbeitstemperatur von mehr als 2000 °C standhalten, und die Zugfestigkeit wird bei hohen Temperaturen bei mehr als 200 MPa gehalten.

Anpassung der Wärmeausdehnung: Der Wärmeausdehnungskoeffizient sollte stark auf Borosilikatglas abgestimmt sein ($4,3-5,0 \times 10^{-6}/K$), und die Differenz sollte $< 0,5 \times 10^{-6}/K$ betragen.

Leitfähigkeit: Der spezifische Widerstand sollte niedrig sein (ca. $5,5 \times 10^{-8} \Omega \eta m$), um die Effizienz der Stromübertragung zu gewährleisten.

Oberflächenqualität: In der Regel wird gereinigter Molybdändraht verwendet, und die Oberflächenrauheit von $Ra < 0,5 \mu m$ wird verwendet, um die Instabilität des Lichtbogens zu reduzieren.

Anwendungsmerkmale: Glühlampen haben eine geringe Lichtausbeute (10-15 lm/W) und eine Lebensdauer von etwa 1000 Stunden und werden hauptsächlich in der Heimbeleuchtung, dekorativen Beleuchtung (z. B. Retro-Glühbirnen) und kostengünstigen Szenen eingesetzt. Molybdändraht muss in einer Vakuum- oder Inertgasumgebung arbeiten, um Oxidation zu verhindern.

Zubereitungsprozess:

Auswahl der Rohstoffe: Für die Herstellung durch Wasserstoffreduktion wird hochreines Molybdänpulver ($\geq 99,95\%$) verwendet.

Umformen & Ziehen: Molybdändrähte mit einem Durchmesser von 0,1-0,5 mm werden durch Pulvermetallurgie und Mehrgangziehen hergestellt. Während des Ziehprozesses sind mehrere Glühvorgänge (800-1200 °C) erforderlich, um die Duktilität zu erhalten.

Oberflächenbehandlung: Gereinigter Molybdändraht wird in der Regel durch elektrolytisches Polieren oder Beizen (HNO_3 -HF-Gemisch) hergestellt, um die Haftung auf Glas und die Lichtbogenstabilität zu gewährleisten.

Marktstatus: Der Markt für Glühlampen ist aufgrund der Popularität der LED-Beleuchtung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

geschrumpft, macht aber immer noch etwa 10 % des weltweiten Beleuchtungsmarktes aus, und die Menge an Molybdändraht macht etwa 20 % des Molybdändrahts der Lampe aus. Die Hauptmärkte konzentrieren sich auf Entwicklungsländer wie Südostasien und Afrika, wobei China der Hauptlieferant ist.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: ausgereifte Technologie, niedrige Kosten (ca. 1 USD/kg), geeignet für die Großproduktion. Reiner Molybdändraht hat eine hervorragende Siegeleistung und eine hohe Ausbeute (>95 %).

Einschränkungen: Schlechte Kriechbeständigkeit bei hohen Temperaturen, kurze Lebensdauer, nicht geeignet für Hochleistungs- oder Langzeitlampen.

Technische Herausforderungen: Verbesserung der Hochtemperaturleistung und Lebensdauer von Molybdändraht und Entwicklung kostengünstiger Antioxidationsbeschichtungen, um die Lebensdauer von Glühlampen zu verlängern.

2.2.2 Molybdändraht für Halogenlampen

Molybdändraht für Halogenlampen ist ein Schlüsselmaterial für High-End-Beleuchtungsanwendungen, wo er häufig für Elektroden, Halterungen und Dichtungen verwendet wird, wo er hohen Temperaturen und chemischen Angriffen durch Halogengase ausgesetzt ist.

Funktion und Funktion: In Halogenlampen wird Molybdändraht als Elektrode verwendet, um den Strom zu leiten und den Lichtbogen zu starten, als Stützdraht zur Fixierung des Wolframfadens und als Dichtungsmaterial, um die Luftdichtheit zu gewährleisten. Der Halogenzyklus beinhaltet die Reaktion von Halogengasen (z. B. Jod, Brom) mit dem verdampften Wolfram, um das Wolfram wieder in den Filament abzulagern und seine Lebensdauer zu verlängern.

Leistungsanforderungen:

Hohe Temperaturleistung: Die Betriebstemperatur kann 3000 °C erreichen, und die Zugfestigkeit > 300 MPa und eine ausgezeichnete Kriechfestigkeit sind erforderlich.

Chemische Beständigkeit: Es muss dem Angriff von Halogengas standhalten, und die Oberfläche muss beständig gegen chemische Reaktionen bei hohen Temperaturen sein.

Lichtbogenstabilität: Hohe Oberflächengüte ($R_a < 0,3 \mu\text{m}$) und geringer spezifischer Widerstand sorgen für einen gleichmäßigen Lichtbogen.

Anpassung der Wärmeausdehnung: Abgestimmt auf Quarzglas (Wärmeausdehnungskoeffizient $0,5-1,0 \times 10^{-6}/\text{K}$) oder Borosilikatglas.

Anwendungsmerkmale: Halogenlampen haben eine Lichtausbeute von 20-30 lm/W und eine Lebensdauer von 2000-4000 Stunden, die häufig in Autoscheinwerfern, Bühnenbeleuchtung und High-End-Beleuchtung für den Haushalt eingesetzt werden. Molybdändraht ist einer Kombination aus hohen Temperaturen, thermischen Zyklen und chemischer Korrosion ausgesetzt.

Zubereitungsprozess:

Rohstoffauswahl: dotiertes Molybdänpulver (z. B. Lanthanoxid dotiert, Gehalt 0,3 %-1,0 %) wird

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

hauptsächlich verwendet, um die Leistung bei hohen Temperaturen zu verbessern.

Formen & Ziehen: Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,05-0,3 mm wird durch Pulvermetallurgie, Warm Schmieden und Mehrgang-Drahtziehen hergestellt. Die Glüh Temperatur (900-1300 °C) muss genau geregelt werden, um die Kornstruktur zu optimieren.

Oberflächenbehandlung: Gereinigter Molybdändraht wird durch elektrolytisches Polieren oder chemische Reinigung hergestellt, und einige High-End-Anwendungen erfordern die Abscheidung von Korrosionsschutzbeschichtungen (wie MoSi₂).

Marktstatus: Halogenlampen machen 15 % des weltweiten Beleuchtungsmarktes aus, und die Menge an Molybdändraht macht mehr als 30 % des in Lampen verwendeten Molybdändrahts aus. Der Haupttreiber ist die Automobilbeleuchtung, für die von 2025 bis 2030 eine stabile Nachfrage erwartet wird. China, Europa und Japan sind die Hauptmärkte.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Die Hochtemperaturleistung und Korrosionsbeständigkeit von Molybdän-Lanthandraht erfüllen die Anforderungen von Halogenlampen mit langer Lebensdauer und stabiler Leistung.

Einschränkungen: Die Oxidation bei hohen Temperaturen muss immer noch durch einen Inertgasschutz gelöst werden, und der Dotierungsprozess erhöht die Kosten.

Technische Herausforderung: Entwicklung halogenbeständiger Oberflächenbeschichtungen und kostengünstiger Dotierungstechnologien, um die Lebensdauer von Molybdändraht in extremen Umgebungen zu verbessern.

2.2.3 Molybdändraht für Leuchtstofflampen und Gasentladungslampen

Molybdändraht für Leuchtstofflampen und Gasentladungslampen (z. B. Hochdruckentladungslampen, HIDs) wird hauptsächlich als Elektrode und Dichtungsmaterial verwendet und muss hohen Spannungen und Lichtbogentemperaturen standhalten.

Funktion und Funktion: In Leuchtstofflampen fungiert Molybdändraht als Elektrode, um die Leuchtstoffentladung einzuleiten und aufrechtzuerhalten; In HID-Lampen (z. B. Halogen-Metall dampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen) wird Molybdändraht als Elektrode verwendet, um transienten hohen Spannungen (>10 kV) und Lichtbogentemperaturen (bis zu 6000 °C) standzuhalten, während er gleichzeitig als Dichtungsmaterial fungiert, um die Hermetik zu gewährleisten.

Leistungsanforderungen:

Elektrische Eigenschaften: Hohe Leitfähigkeit (spezifischer Widerstand $6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) und Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit, um die Entladestabilität zu gewährleisten.

Leistung bei hohen Temperaturen: Die Struktur muss bei der hohen Temperatur des Lichtbogens intakt sein und die Zugfestigkeit > 300 MPa betragen.

Chemische Stabilität: Es muss dem chemischen Angriff von Hochdruckgasen (wie Quecksilberdampf, Natriumdampf) in der Lampe standhalten.

Anpassung der Wärmeausdehnung: Abgestimmt mit Borosilikatglas oder Quarzglas.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwendungsmerkmale: Die Lichtausbeute von Leuchtstofflampen beträgt 50-100 lm/W und HID-Lampen 100-150 lm/W, die in der gewerblichen Beleuchtung (Büro, Einkaufszentrum), Straßenbeleuchtung und Industriebeleuchtung weit verbreitet sind. Molybdändraht muss beständig gegen hochfrequente Entladungen und chemische Korrosion sein.

Zubereitungsprozess:

Rohstoffauswahl: Molybdän-Lanthandraht oder Molybdän-Rheniumdraht wird hauptsächlich verwendet, und das Dotierungsverhältnis beträgt 0,3 % bis 2 %, um die Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit zu verbessern.

Formen und Ziehen: Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,03-0,2 mm wird durch Präzisionsziehen hergestellt, der bei niedriger Temperatur (700-1000 °C) gegläht werden muss, um die Zähigkeit zu erhalten.

Oberflächenbehandlung: Elektrolytisches Polieren oder Passivieren, und einige Molybdändrähte für HID-Lampen müssen mit Korrosionsschutzbeschichtungen abgeschieden werden.

Marktstatus: Der Markt für Leuchtstofflampen schrumpft aufgrund des LED-Wettbewerbs, HID-Lampen machen immer noch 20 % des Marktanteils in der Außenbeleuchtung aus, und die Menge an Molybdändraht macht 25 % des in Lampen verwendeten Molybdändrahts aus. GE Lighting in den Vereinigten Staaten und NVC Lighting in China sind die Hauptnutzer.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Die hohe Leistung von Molybdän-Lanthandraht und Molybdän-Rheniumdraht erfüllt die Anforderungen einer hocheffizienten Beleuchtung und weist eine starke Lichtbogenstabilität auf.

Einschränkungen: Die Lebensdauer in der Umgebung mit hochfrequenten Entladungen muss weiter verbessert werden, und die Kosten für die Oberflächenbehandlung sind hoch.

Technische Herausforderung: Entwicklung lichtbogenbeständiger Beschichtungen und Optimierung des Elektrodendesigns, um die Entladungseffizienz und Lebensdauer zu verbessern.

2.2.4 Molybdändraht für Speziallampen (UV-Lampen, Infrarotlampen, etc.)

Molybdändraht für Speziallampen ist für spezifische spektrale oder extreme Umgebungen in medizinischen, wissenschaftlichen, Luft- und Raumfahrt- und Industrieanwendungen konzipiert.

Funktion und Funktion: Bei der UV-Lampe wird der Molybdändraht als Elektrode verwendet, um die ultraviolette Entladung einzuleiten; Bei Infrarotlampen werden Molybdändrähte als Träger oder Elektrode mit hoher Temperaturstrahlung bestrahlt; In medizinischen Lampen (z. B. OP-Leuchten) oder Luftfahrtlampen müssen Molybdändrähte die Anforderungen an hohe Zuverlässigkeit und komplexe Formen erfüllen.

Leistungsanforderungen:

Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit: Es muss hochfrequenten Entladungen und Quecksilberdampfkorrosion widerstehen.

Hohe Temperaturstabilität: Die Arbeitstemperatur kann mehr als 2000 ° C erreichen und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Zugfestigkeit > 300 MPa.

Duktilität: Komplexe Elektrodenformen (z. B. Spirale, Biegung) müssen unterstützt werden.

Oberflächenqualität: Ein hohes Finish ist erforderlich, um die spektrale Reinheit zu gewährleisten.

Anwendungsmerkmale: UV-Lampen werden zur Sterilisation und medizinischen Behandlung verwendet, Infrarotlampen werden zum Erhitzen und zur industriellen Verarbeitung verwendet, und Luftfahrtlampen benötigen eine hohe Zuverlässigkeit. Molybdändraht muss komplexen chemischen Umgebungen und Hochtemperaturstrahlung standhalten.

Zubereitungsprozess:

Auswahl der Rohstoffe: Molybdän-Rheniumdraht oder Molybdänyttriumdraht wird hauptsächlich verwendet, und das Dotierungsverhältnis beträgt 0,5%-2%.

Formen und Ziehen: Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,02 bis 0,1 mm wird durch Ultrapräzisionsziehen hergestellt, was ein Tieftemperaturglühen und ein High-End-Formen erfordert.

Oberflächenbehandlung: CVD oder PVD für Antioxidationsbeschichtungen (z. B. Al_2O_3 , MoSi_2).

Marktstatus: Die Marktgröße von Speziallampen ist klein (sie macht 5 % des weltweiten Beleuchtungsmarktes aus), aber die Wertschöpfung ist hoch, und die Menge an Molybdändraht macht 10 % des in Lampen verwendeten Molybdändrahts aus.

Vorteile und Einschränkungen:

Vorteile: Hohe Leistung erfüllt professionelle Anforderungen und lange Lebensdauer (bis zu 5000 Stunden).

Einschränkungen: Hohe Kosten (ca. 10 USD / kg), kundenspezifische Produktion erforderlich.

Technische Herausforderung: Erweiterung des Anwendungsspektrums von Speziallampen durch die Entwicklung kostengünstiger Beschichtungs- und komplexer Formbearbeitungstechnologien.

2.3 Einteilung nach Spezifikation

Die Spezifikationen von Molybdändraht für die Beleuchtung werden nach dem Durchmesserbereich, der Art der Oberflächenbehandlung und der Drahtmorphologie klassifiziert, was sich direkt auf seine Leistung und Anwendung auswirkt.

2.3.1 Durchmesserbereich und Toleranz

Der Durchmesser und die Toleranz von Molybdändraht sind die Kernparameter seiner Spezifikationen, die seine elektrischen, mechanischen und Verarbeitungseigenschaften bestimmen.

Durchmesserbereich:

Ultrafeiner Molybdändraht (0,01-0,05 mm): wird für hochpräzise Speziallampen (z.B. UV-Lampen, medizinische Lampen) verwendet, die eine hohe Duktilität und Oberflächengüte erfordern. Hoher spezifischer Widerstand (ca. $6 \times 10^{-8} \Omega \text{ nm}$), geeignet für Hochspannungselektroden.

Feiner Molybdändraht (0,05-0,2 mm): Elektrode oder Stützdraht für Halogen-, HID- und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Leuchtstofflampen, der mehr als 60 % des Marktes ausmacht.

Mittelgrober Molybdändraht (0,2-0,5 mm): Stützdraht und Dichtungsmaterial für Glühlampen mit hoher mechanischer Festigkeit.

Grober Molybdändraht (0,5-2,0 mm): Strukturbauteile für Hochleistungsleuchten (z.B. industrielle Infrarotlampen).

Toleranzanforderungen: Gemäß GB/T 4191-2015 und ASTM B387 beträgt die Toleranz von ultrafeinem Molybdändraht $\pm 0,001$ mm, von feinem Molybdändraht $\pm 0,002$ mm und von grobem Molybdändraht $\pm 0,01$ mm. Die Toleranzkontrolle wird durch Lasermikrometrie und Inline-Inspektion erreicht.

Einflussfaktoren: je kleiner der Durchmesser, desto höher der spezifische Widerstand, der für die Elektrode geeignet ist; Je größer der Durchmesser, desto höher ist die Festigkeit und eignet sich zur Abstützung. Die Toleranzgenauigkeit wirkt sich auf die Zuverlässigkeit der Dichtung und die Lichtbogenstabilität aus.

Vorbereitungsprozess: Ultrafeiner Molybdändraht benötigt 20-30 Mal Ziehen mit Diamantform und Niedertemperaturglühen (700-900 °C). Grober Molybdändraht erfordert eine hochfeste Form und ein Hochtemperaturglühen (1000-1200 °C).

Marktstatus: Feiner Molybdändraht (0,05-0,2 mm) ist am gefragtesten, und China hat durch die Einführung deutscher Ausrüstung eine hochpräzise Produktion erreicht.

Technische Herausforderung: Erhöhung der Ausbeute an ultrafeinem Molybdändraht (derzeit ca. 85 %) und Reduzierung der Kosten für die Toleranzkontrolle.

2.3.2 Art der Oberflächenbehandlung (schwarzer Molybdändraht, gereinigter Molybdändraht, beschichteter Molybdändraht)

Die Art der Oberflächenbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften, die Korrosionsbeständigkeit und die Anwendungsszenarien von Molybdändraht.

Schwarzer Molybdändraht:

Eigenschaften: Die Oberfläche weist eine schwarze Oxidschicht (MoO_2 oder MoO_3) und eine Rauheit von $\text{Ra } 0,5\text{-}2,0 \mu\text{m}$ auf. Die Oxidschicht erhöht die Haftung auf Glas.

Vorbereitungsprozess: Nach dem Ziehen Glühen (800-1000°C) unter Luft oder Niedervakuum zur Bildung einer Oxidschicht.

Anwendung: Stützglühfäden und kostengünstige Versiegelung für Glühlampen, die 20% des Marktes ausmachen.

Vorteile und Einschränkungen: niedrige Kosten, aber schlechte Lichtbogenstabilität, nicht geeignet für Hochleistungsleuchten.

Gereinigter Molybdändraht:

Eigenschaften: Abtrag der Oxidschicht durch elektrolytisches Polieren oder Beizen, glatte

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Oberfläche (Ra 0,1-0,5 µm), ausgezeichnete Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Vorbereitungsprozess: HNO₃-HF Mischlösungsbeizen oder NaOH-Lösungselektrolytisches Polieren, Umweltschutzbehandlung von Abfallflüssigkeiten.

Anwendung: Elektroden und Dichtungen für Halogen-, HID- und Speziallampen, die 70% des Marktes ausmachen.

Vorteile und Einschränkungen: Hervorragende Leistung und lange Lebensdauer, aber hohe Verarbeitungskosten.

Beschichteter Molybdändraht:

Eigenschaften: Scheiden oxidations- oder korrosionsbeständige Schichten (z.B. Al₂O₃, MoSi₂) mit einer Dicke von 0,1-1,0 µm ab.

Vorbereitungsprozess: Es wird die CVD- oder PVD-Technologie eingesetzt, eine Vakuumumgebung und eine hochpräzise Ausrüstung sind erforderlich.

Anwendung: Wird in extremen Umgebungen wie UV-Lampen und Infrarotlampen verwendet, die 5% des Marktes ausmachen.

Vorteile und Einschränkungen: Die Lebensdauer verlängert sich um das 2-3-fache, aber die Kosten sind hoch (ca. 10 USD/kg).

Marktstatus: Gereinigter Molybdändraht ist der Mainstream, und beschichteter Molybdändraht wächst auf dem europäischen und amerikanischen Markt schnell.

Technische Herausforderung: Entwicklung einer kostengünstigen Beschichtungstechnologie und umweltfreundlicher Oberflächenbehandlungsverfahren.

2.3.3 Drahtform (gerader Draht, Spiraldraht, abgeschnittener Draht)

Die Drahtform beeinflusst die Art und Weise, wie Molybdändraht verarbeitet, transportiert und angewendet wird.

Gerader Draht:

Eigenschaften: Feste Länge (10-100 cm), geeignet für die automatisierte Montage.

Vorbereitungsprozess: Nach dem Ziehen wird es von einer hochpräzisen Schneidemaschine geschnitten, und der Schnitt muss glatt und gratfrei sein.

Anwendung: Wird zum Stützfilament und zur Abdichtung von Glühlampen und Halogenlampen verwendet, die 30% des Marktes ausmachen.

Vorteile und Einschränkungen: Die Installationseffizienz ist hoch, aber der Transport ist leicht zu verformen.

Aufwickelnd:

Eigenschaften: Auf Rollen gewickelt, kann die Länge mehrere Kilometer erreichen, geeignet für die kontinuierliche Verarbeitung.

Vorbereitungsprozess: Nach dem Ziehen wird es mit dem Wickler aufgewickelt und die Spannung muss kontrolliert werden.

Anwendung: Für die Herstellung von Lampen in großem Maßstab, die 50% des Marktes ausmachen.

Vorteile und Einschränkungen: Leicht zu lagern und zu transportieren, erfordert Abrollvorrichtung.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Draht schneiden:

Eigenschaften: Kurze Länge (1-10 mm) für eine präzise Montage.

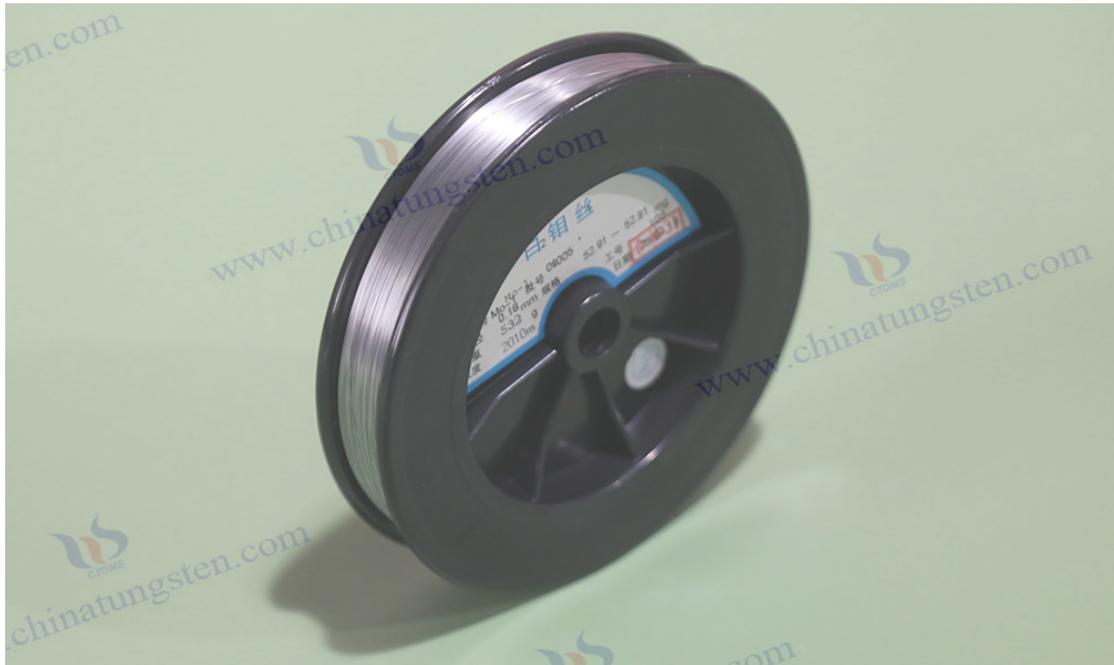
Vorbereitungsprozess: hochpräziser Zuschnitt, um die Konsistenz der Länge zu gewährleisten.

Anwendung: Komplexe Elektroden für Speziallampen, die 10% des Marktes ausmachen.

Vorteile und Einschränkungen: geeignet für kundenspezifische Anpassungen, geringe Produktionseffizienz.

Marktstatus: Spiraldraht ist der Mainstream, und gerade Draht und geschnittener Draht werden hauptsächlich in High-End-Anwendungen verwendet.

Technische Herausforderung: Verbesserung der Genauigkeit des geschnittenen Drahtes und Reduzierung der Transportkosten des geraden Drahtes.



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 3 Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung sind der Schlüssel zu seiner Anwendung im Beleuchtungsbereich und decken physikalische, chemische, mechanische, elektrische, optische und damit verbundene Informationen zum Sicherheitsdatenblatt (MSDS) ab. In diesem Kapitel werden diese Eigenschaften im Detail untersucht, ihre Auswirkungen auf die Leistung von Beleuchtungsgeräten analysiert und eine umfassende technische Beschreibung auf der Grundlage globaler Forschungs- und Branchenpraktiken gegeben.

3.1 Physikalische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die physikalischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung bestimmen seine Leistung in hohen Temperaturen, hohem Druck und komplexen Umgebungen, hauptsächlich einschließlich Dichte und Schmelzpunkt, Wärmeausdehnungskoeffizient und Temperaturabhängigkeit, Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit. Diese Eigenschaften

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

wirken sich direkt auf die strukturelle Stabilität, die Wärmemanagementfähigkeit und die elektrische Leistung von Molybdändraht in Leuchten aus.

3.1.1 Dichte und Schmelzpunkt von Molybdändraht für die Beleuchtung

Mit einer Dichte von $10,2 \text{ g/cm}^3$ ist Molybdändraht ein metallischer Werkstoff mit hoher Dichte, der nur geringfügig niedriger ist als Wolfram ($19,25 \text{ g/cm}^3$). Diese Dichte verleiht dem Molybdändraht eine hohe Massenstabilität, die es ihm ermöglicht, mechanischen Belastungen und Vibrationen in der Trägerstruktur oder den Elektroden der Leuchte standzuhalten. Zum Beispiel muss Molybdändraht in Autoscheinwerfern den Vibrationen des Fahrzeugs während der Fahrt standhalten, und der mäßig dichte Molybdändraht kann eine ausreichende Festigkeit bieten, ohne die Schwierigkeit des Lampendesigns aufgrund des übermäßigen Gewichts zu erhöhen.

Molybdändraht hat einen Schmelzpunkt von $2623 \text{ }^\circ\text{C}$ (2896 K), was nach Wolfram ($3422 \text{ }^\circ\text{C}$) und Rhenium ($3186 \text{ }^\circ\text{C}$) einer seiner Hauptvorteile als Refraktärmetall ist. Dieser hohe Schmelzpunkt ermöglicht einen stabilen Betrieb von Molybdän-Glühlampen in Glühlampen (Glühfadentemperatur bis zu $2500 \text{ }^\circ\text{C}$), Halogenlampen (Glühfadentemperatur bis zu $3000 \text{ }^\circ\text{C}$) und Hochdruck-Gasentladungslampen (HID, Lichtbogenmittentemperatur bis zu $6000 \text{ }^\circ\text{C}$) ohne Schmelzen oder signifikante Verformung. In der Praxis arbeitet Molybdändraht in der Regel bei Temperaturen weit unter seinem Schmelzpunkt ($1000\text{-}2000 \text{ }^\circ\text{C}$), um eine Erweichung des Materials zu vermeiden, wenn es sich seinem Schmelzpunkt nähert. Molybdändraht hat einen etwas niedrigeren Schmelzpunkt als Wolfram, aber seine Verarbeitungskosten sind niedriger und seine Kriechfestigkeit unter $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ macht ihn ideal für Filamentstütz- und Dichtungsmaterialien.

Auch die Dichte und der Schmelzpunkt von Molybdändraht hängen eng mit seiner Kristallstruktur zusammen. Die körperzentrierte kubische (BCC) Kristallstruktur von Molybdän bleibt bei hohen Temperaturen stabil, und kleine Änderungen der Gitterkonstante, die sich mit steigender Temperatur leicht ausdehnt, gewährleisten die strukturelle Integrität während des thermischen Zyklus. In der Produktion wird die Dichte des Molybdändrahtes durch den Sinterprozess von hochreinem Molybdänpulver (Reinheit $\geq 99,95\%$) kontrolliert und der Schmelzpunkt durch Dotierung von Spurenelementen wie Lanthanoxid weiter optimiert, um die Rekristallisationstemperatur (von ca. 1400°C auf über 1800°C) zu erhöhen.

3.1.2 Wärmeausdehnungskoeffizient und Temperaturabhängigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdändraht beträgt $4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$ (im Bereich von $20\text{-}1000^\circ\text{C}$), was sehr gut mit Borosilikatglas (ca. $4,5\text{-}5,0 \times 10^{-6}/\text{K}$) kompatibel ist. Diese Eigenschaft macht Molybdändraht zum Material der Wahl für die Glas-Metall-Abdichtung von Lampen und stellt sicher, dass der Molybdändraht und das Molybdänglas aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnung beim Betrieb bei hohen Temperaturen keine Spannungsrisse verursachen (z. B. kann die Temperatur des Dichtungsteils bei Halogenlampen $600\text{-}800 \text{ }^\circ\text{C}$ erreichen). Im Gegensatz dazu hat Wolfram einen etwas niedrigeren Wärmeausdehnungskoeffizienten ($4,5 \times 10^{-6}/\text{K}$) und kann zusätzliches Übergangsmaterial erfordern, während Kupfer ($16,5 \times 10^{-6}/\text{K}$) nicht der Wärmeausdehnung von Glas entspricht und nicht zur Abdichtung verwendet werden kann.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdändraht steigt mit zunehmender Temperatur leicht an, z.B. bis zu $5,2 \times 10^{-6}$ bei $1500^\circ\text{C}/\text{K}$. Diese Temperaturabhängigkeit ist eine besondere Berücksichtigung im Leuchtenbau, insbesondere bei Halogen- oder HID-Lampen mit häufigen Temperaturzyklen. Um den Effekt der Wärmeausdehnung zu reduzieren, wird Molybdändraht häufig mit Lanthanoxid oder Rhenium dotiert, um die Kristallstruktur zu optimieren und die Gitterausdehnung bei hohen Temperaturen zu reduzieren. Darüber hinaus hängt der Wärmeausdehnungskoeffizient von Molybdändraht eng mit der Oberflächenbehandlung zusammen, und gereinigter Molybdändraht (elektrolytisch poliert) dehnt sich bei hohen Temperaturen gleichmäßiger aus als schwarzer Molybdändraht (mit einer Oxidschicht auf der Oberfläche), da er weniger Oberflächenfehler aufweist.

In der Praxis wirkt sich die Anpassung des Wärmeausdehnungskoeffizienten direkt auf die Luftdichtheit und Lebensdauer der Leuchte aus. In Natriumdampf-Hochdrucklampen wird beispielsweise die Molybdändrahtdichtung einer zyklischen Temperaturänderung von $500\text{-}700^\circ\text{C}$ ausgesetzt, und eine Fehlanpassung des Wärmeausdehnungskoeffizienten kann zu Glasrissen oder Gaslecks führen. Daher sind in der Produktion präzise Wärmeausdehnungstests (z. B. Dilatometermessungen) und eine Optimierung der Glaszusammensetzung erforderlich, um die Zuverlässigkeit der Dichtung zu gewährleisten.

3.1.3 Wärmeleitfähigkeit und Leitfähigkeitsanalyse von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Wärmeleitfähigkeit von Molybdändraht beträgt $138\text{ W/m}\cdot\text{K}$ (20°C), was unter den Metallen mäßig hoch ist, niedriger als Kupfer ($401\text{ W/m}\cdot\text{K}$), aber höher als Wolfram ($173\text{ W/m}\cdot\text{K}$). Die hohe Wärmeleitfähigkeit ermöglicht es dem Molybdändraht, die während des Leuchtenbetriebs entstehende Wärme schnell von heißen Bereichen (z. B. in der Nähe von Lichtbögen oder Glühfäden) in Bereiche mit niedriger Temperatur (z. B. Dichtungsstellen) zu übertragen, wodurch das Risiko einer lokalen Überhitzung verringert und die Leuchtenstruktur geschützt wird. Bei Halogenlampen muss beispielsweise Molybdändraht als Stützdraht verwendet werden, um die Wärme des Glühfadens effektiv abzuleiten und eine Überhitzung der Glasdichtung zu vermeiden ($> 800^\circ\text{C}$ kann dazu führen, dass das Glas weich wird).

Die Leitfähigkeit von Molybdändraht beträgt etwa $1,8 \times 10^7\text{ S/m}$ (spezifischer Widerstand $5,5 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$), das in Hochtemperaturmetallen gut abschneidet, etwas unter Kupfer ($5,9 \times 10^7\text{ S/m}$), aber nahe an Wolfram ($1,9 \times 10^7\text{ S/m}$). Seine elektrische Leitfähigkeit sorgt dafür, dass der Molybdändraht effizient Strom in der Elektrode oder dem leitenden Bauteil übertragen kann, wodurch Energieverluste reduziert werden. In Gasentladungslampen sind Molybdändrahtelektroden hohen Spannungen (Hunderte bis Tausende von Volt) und sofortigen hohen Strömen (mehrere Ampere) ausgesetzt, und eine hohe Leitfähigkeit kann die Joule-Erwärmung reduzieren und die Lebensdauer der Elektroden verlängern.

Die Temperaturabhängigkeit von Wärmeleitfähigkeit und elektrischer Leitfähigkeit ist ein Schlüsselfaktor bei der Auslegung. Mit steigender Temperatur nimmt die Wärmeleitfähigkeit von Molybdändraht leicht ab (ca. $120\text{ W/m}\cdot\text{K}$ bei 1000°C) und erhöht den spezifischen Widerstand (ca. $2,0 \times 10^{-7}\ \Omega\cdot\text{m}$ bei 1000°C). Dotierte Molybdändrähte, wie z. B. Molybdän-Lanthan-Drähte,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

können den Abfall der Leitfähigkeit bei hohen Temperaturen verlangsamen, indem sie die Kristallstruktur optimieren. Zum Beispiel hat Molybdändraht, der mit 1 % Lanthanoxid dotiert ist, einen um etwa 10 % geringeren spezifischen Widerstand als reiner Molybdändraht bei 1500 °C. In der Produktion werden die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit optimiert, indem die Reinheit, Korngröße und Oberflächengüte des Molybdändrahtes gesteuert werden.

3.2 Chemische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die chemischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung bestimmen seine Stabilität und Lebensdauer in der komplexen chemischen Umgebung von Lampen (z. B. Halogengas, Hochtemperaturvakuum), hauptsächlich einschließlich Oxidationsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Wechselwirkung mit Inertgas und Vakuumumgebung.

3.2.1 Oxidationsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität von Molybdändraht für die Beleuchtung

Molybdändraht hat eine gute Oxidationsbeständigkeit bei Raumtemperatur, und auf seiner Oberfläche kann eine dünne Oxidschutzschicht (MoO_2) gebildet werden, um eine weitere Oxidation zu verhindern. Wenn Molybdänfilamente jedoch bei hohen Temperaturen ($>600\text{ °C}$) an der Luft ausgesetzt werden, bilden sie schnell Molybdäntrioxid (MoO_3), das flüchtig ist, was zu Materialverlust und Leistungseinbußen führt. In Beleuchtungsanwendungen werden Leuchten oft im Vakuum oder in einem Inertgas (z. B. Argon, Stickstoff) betrieben, um Oxidation zu vermeiden. So werden beispielsweise Glühlampen mit Argongas und einer kleinen Menge Halogengas gefüllt, um den Molybdändraht vor Oxidation zu schützen.

Um die antioxidative Leistung zu verbessern, wird häufig dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht, Molybdän-Rhenium-Draht) verwendet. Die Zugabe von Lanthanoxid verlangsamt die Diffusion von Molybdänatomen bei hohen Temperaturen, indem die Korngrenzen fixiert werden, und verzögert das Auftreten der Oxidationsreaktion. Aufgrund der lösungsverstärkenden Wirkung von Rhenium kann Molybdän-Rheniumdraht oberhalb von 1000°C eine stabilere Oberflächenoxidschicht bilden und die Verflüchtigung von MoO_3 verlangsamen. Studien haben gezeigt, dass die Oxidationsrate von Molybdändraht, der mit 1 % Lanthanoxid dotiert ist, an der Luft bei 1200 °C etwa 30 % niedriger ist als die von reinem Molybdändraht. Darüber hinaus erhöhen Oberflächenbeschichtungstechnologien, wie z. B. Aluminiumoxid- oder Molybdänsilicid-Beschichtungen, die Oxidationsbeständigkeit weiter und eignen sich für Spezialleuchten.

In Bezug auf die Hochtemperaturstabilität ist die Rekristallisationstemperatur von Molybdändraht (ca. 1400 °C für reines Molybdän) ein wichtiger Indikator. Die Rekristallisation führt zu Kornwachstum und Versprödung des Materials, wodurch die mechanische Festigkeit verringert wird. Dotierter Molybdändraht verlängert die Lebensdauer bei hohen Temperaturen erheblich, indem er die Rekristallisationstemperatur erhöht (bis zu 1800 °C für Molybdän-Lanthan-Draht und etwa 1700 °C für Molybdän-Rhenium-Draht). In Halogenlampen muss Molybdändraht lange Zeit bei 1500-2000 °C betrieben werden, und die hervorragende Hochtemperaturstabilität von dotiertem Molybdändraht gewährleistet seine strukturelle Integrität.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.2.2 Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht in Lampen spiegelt sich vor allem in seiner Beständigkeit gegen Halogengase (wie Jod, Brom), Quecksilberdampf und andere Chemikalien wider. In Halogenlampen steht der Molybdändraht in direktem Kontakt mit dem Halogengas und muss bei hohen Temperaturen (1000-1500 °C) chemischen Angriffen standhalten. Die chemische Stabilität von Molybdän ermöglicht eine gute Leistung in Jod- oder Bromumgebungen, ohne dass sich flüchtige Verbindungen bilden oder signifikante Korrosion entsteht. Im Gegensatz dazu ist Wolfram anfällig für die Bildung von flüchtigen Halogeniden (z. B. WBr_6) in Halogenumgebungen, was zu Filamentverlusten führt.

In Gasentladungslampen, wie z. B. Quecksilber-Hochdrucklampen oder Halogen-Metalldampflampen, muss die Molybdändrahtelektrode Quecksilberdampf und Metallhalogenid (z. B. Natriumiodid) widerstehen. Die Ergebnisse zeigen, dass Molybdändraht die Oberflächenintegrität in Quecksilberdampf (500-800 °C) mit einer Korrosionsrate von weniger als $0,01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ aufrechterhalten kann. Dotierter Molybdändraht, wie z. B. Molybdän-Lanthan-Draht, verbessert die Korrosionsbeständigkeit weiter, indem er eine stabile Oberflächenstruktur bildet. So kann beispielsweise mit Lanthanoxid dotierter Molybdändraht die Korrosionsverluste in einer Natriumiodid-Umgebung um etwa 20 % reduzieren.

Die Korrosionsbeständigkeit hängt auch mit der Oberflächenbehandlung von Molybdändraht zusammen. Gereinigter Molybdändraht (elektrolytisch poliert) weist nur wenige Oberflächenfehler und eine geringere Korrosionsrate auf als schwarzer Molybdändraht (mit einer Oxidschicht auf der Oberfläche). In der Produktion wird Molybdändraht häufig verwendet, um Oberflächenoxide durch Beizen (HNO_3 -HF-Gemisch) oder elektrolytisches Polieren (NaOH-Lösung) zu entfernen, um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern. Darüber hinaus eignen sich beschichtete Molybdändrähte, wie z. B. Molybdänsilizidbeschichtungen, gut in extrem korrosiven Umgebungen wie Quecksilberdampf in UV-Lampen, jedoch zu höheren Kosten.

3.2.3 Wechselwirkung zwischen Molybdändraht für die Beleuchtung und Inertgas- und Vakuumumgebung

Molybdändraht für die Beleuchtung wird in der Regel in einem Vakuum oder Inertgas (z. B. Argon, Stickstoff, Krypton) betrieben, um Oxidation zu vermeiden und die Lebensdauer zu verlängern. In einer Vakuumumgebung (z. B. in einer Glühlampe, der Druck beträgt $<10^{-3} \text{ Pa}$) ist die chemische Stabilität von Molybdändraht extrem hoch, es gibt fast keine Reaktion mit Gasen und die Oberfläche bleibt stabil. Durch die Vakuumumgebung werden zudem Wärmekonvektionsverluste reduziert, so dass die Wärme des Molybdändrahtes hauptsächlich durch Wärmeleitung und Strahlung abgeführt wird, was zur Energieeffizienz der Lampe beiträgt.

In einer Inertgasumgebung (z. B. einer Halogenlampe, die mit Argon und einer kleinen Menge Halogengas gefüllt ist, Druck 0,1-1 MPa) reagiert Molybdändraht nicht offensichtlich chemisch mit Argon oder Stickstoff, kann aber bei hohen Temperaturen eine schwache Oberflächenadsorption oder chemische Bindung mit Halogengas aufweisen. Studien haben gezeigt, dass Molybdänfäden auf der Oberfläche von jodhaltigem Argongas (1200 °C) eine dünne Schicht aus Molybdäniodid

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

(MoI₃) bilden können, die Verbindung sich jedoch bei hohen Temperaturen schnell zersetzt, ohne die Leistung von Lampen zu beeinträchtigen. Dotierte Molybdändrähte, wie z. B. Molybdän-Lanthan-Drähte, können diesen Adsorptionseffekt reduzieren, indem sie die Oberflächenstruktur optimieren.

In Gasentladungslampen interagiert die Molybdändrahtelektrode mit komplexen Gasgemischen (Quecksilberdampf, Metallhalogenide, Inertgase). Die hohe chemische Stabilität von Molybdändraht stellt sicher, dass er in diesen Umgebungen keinen signifikanten chemischen Abbau erfährt, aber Lichtbögen können mikrostrukturelle Veränderungen der Oberfläche wie Korngrenzkorrosion verursachen. Aus diesem Grund wird die Stabilität von Molybdändraht häufig durch Oberflächenpassivierung oder Dotierungstechnologie in der Produktion erhöht.

3.3 Mechanische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung wirken sich direkt auf seine strukturelle Stabilität und Haltbarkeit in Lampen aus, einschließlich Zugfestigkeit und Kriecheigenschaften, Duktilität und Zähigkeit, Ermüdungsbeständigkeit und Bruchfestigkeit bei hohen Temperaturen. Diese Eigenschaften sind besonders wichtig in Umgebungen mit hohen Temperaturen, thermischen Zyklen und mechanischen Vibrationen.

3.3.1 Hochtemperaturzugfestigkeit und Kriecheigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Zugfestigkeit von Molybdändraht beträgt bei Raumtemperatur 800-1000 MPa, nimmt jedoch bei hohen Temperaturen (>1000 °C) deutlich ab. Zum Beispiel beträgt die Zugfestigkeit von reinem Molybdändraht bei 1500 °C etwa 200 MPa. Der dotierte Molybdändraht verbessert die Hochtemperaturfestigkeit durch Verstärkung der Korngrenze erheblich, und der Molybdän-Lanthandraht kann bei 1500 °C 300-500 MPa erreichen, und der Molybdän-Rheniumdraht beträgt etwa 250-400 MPa. Diese hohe Festigkeit ermöglicht es Molybdändraht, als Filamentstützmaterial zu fungieren, um hohen Temperaturbelastungen in Glühlampen oder Halogenlampen standzuhalten.

Das Kriechverhalten ist ein Schlüsselindikator für Molybdändraht für den Langzeitbetrieb bei hohen Temperaturen. Kriechen bezieht sich auf den Prozess, bei dem sich ein Material unter anhaltender Belastung langsam verformt, was zum Versagen der Filamentstütze oder zur Verformung der Elektrode führen kann. Reiner Molybdändraht neigt zu Kriechen oberhalb von 1200 °C mit einer Kriechgeschwindigkeit von etwa 10^{-5} s^{-1} (bei 100 MPa Spannung). Dotierter Molybdändraht reduziert die Kriechgeschwindigkeit erheblich, indem er Korngrenzversetzungen festmacht, z. B. hat Molybdändraht, der mit 1 % Lanthanoxid dotiert ist, eine um mehr als 50 % niedrigere Kriechrate als reiner Molybdändraht bei 1500 °C. Aufgrund der festen lösungsverstärkenden Wirkung von Rhenium ist auch das Kriechverhalten von Molybdän-Rheniumdraht besser als das von reinem Molybdändraht.

Bei Halogenlampen wird der Molybdändrahtträger thermischen Zyklen unterzogen (schneller Hochlauf von Raumtemperatur auf 1500 °C), und die Zugfestigkeit und Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen bestimmen direkt die Lebensdauer der Lampe. Die Kriechfestigkeit von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdändraht wird in der Produktion durch die Optimierung der Korngröße (typischerweise 10-50 µm) und des Dotierungsprozesses verbessert.

3.3.2 Duktilität und Zähigkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Duktilität von Molybdändraht bezieht sich auf seine Fähigkeit, sich beim Dehnen plastisch zu verformen, und die Bruchdehnung von reinem Molybdändraht beträgt 10 % bis 15 % bei Raumtemperatur. Dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Rheniumdraht) verbessert die Duktilität durch Lösungsverstärkung erheblich, und die Bruchdehnung kann 20 % bis 25 % erreichen. Durch die hohe Duktilität lässt sich der Molybdändraht während des Zieh- und Umformprozesses nicht leicht brechen und eignet sich für die Herstellung von Elektroden oder Stützstrukturen mit komplexen Formen.

Die Zähigkeit spiegelt die Fähigkeit von Molybdändraht wider, Aufprallenergie zu absorbieren und Sprödbbruch zu verhindern. In Leuchten sind Molybdändrähte Vibrationen (z. B. Autolampen) oder Temperaturschocks (z. B. häufiges Schalten von Halogenlampen) ausgesetzt. Bei hohen Temperaturen (>1000 °C) wird reiner Molybdändraht durch Rekristallisation spröde und die Zähigkeit nimmt ab. Der Molybdän-Lanthandraht wird durch die Dispersion von Lanthanoxidpartikeln verstärkt, wodurch die Hochtemperaturzähigkeit erhalten bleibt, und die Bruchzähigkeit (K_{IC}) beträgt etwa 10 MPa·m^{1/2} bei 1500°C, was höher ist als die von reinem Molybdändraht von 7 MPa·m^{1/2}. Molybdän-Rheniumdraht hat eine bessere Zähigkeit und ist für Umgebungen mit hohen Vibrationen geeignet.

In der Produktion hängt die Optimierung von Duktilität und Zähigkeit von der Glühtemperatur (800-1200°C) und der gleichmäßigen Verteilung der Dotierungselemente im Ziehprozess ab. Ultrafeiner Molybdändraht (<0,05 mm Durchmesser) erfordert eine höhere Duktilität und erfordert das Glühen bei niedrigen Temperaturen und das Präzisions-spritzen.

3.3.3 Ermüdungsbeständigkeit und Bruchfestigkeit von Molybdändraht für Beleuchtungszwecke

Die Ermüdungsbeständigkeit spiegelt die Haltbarkeit des Molybdändrahtes unter zyklischer Beanspruchung wider. In Autoscheinwerfern oder Bühnenleuchten sind Molybdändrähte häufigen Temperaturwechseln und mechanischen Vibrationen ausgesetzt, die zu Ermüdungsrissen führen können. Die Ermüdungslebensdauer von reinem Molybdändraht ist bei hohen Temperaturen kürzer (ca. 10⁴ Zyklen, 100 MPa Spannung), während die Ermüdungslebensdauer von dotiertem Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht) durch Verstärkung der Korngrenzen auf mehr als 10⁶ Zyklen erhöht werden kann.

Die Bruchfestigkeit hängt eng mit der Korngröße und den Oberflächenfehlern von Molybdändraht zusammen. Feine Körner (10-20 µm) verteilen Spannungskonzentrationen und verbessern die Bruchfestigkeit. Aufgrund seiner hohen Oberflächengüte (Ra<0,5 µm) und der wenigen Rissentstehungspunkte weist gereinigter Molybdändraht eine bessere Bruchfestigkeit auf als schwarzer Molybdändraht (Ra 0,5-2,0 µm). In der Produktion sind das Polieren von Oberflächen und die Fehlererkennung (z. B. Ultraschallfehlererkennung) der Schlüssel zur Verbesserung der Bruchfestigkeit.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

In HID-Lampen müssen Molybdändrahtelektroden der durch Lichtbogenstöße verursachten Spannungskonzentration standhalten, und dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Rheniumdraht) kann aufgrund seiner hohen Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit das Bruchrisiko wirksam verringern.

3.4 Elektrische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die elektrischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung bestimmen seine Leistung als Elektrode oder leitende Komponente, einschließlich des spezifischen Widerstands und des Temperaturkoeffizienten, der Strombelastbarkeit und der Lichtbogenstabilität.

3.4.1 Widerstand und Temperaturkoeffizient von Molybdändraht für die Beleuchtung

Der spezifische Widerstand von Molybdändraht beträgt $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ bei 20°C , etwas höher als Kupfer ($1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), aber nahe an Wolfram ($5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$). Der spezifische Widerstand nimmt mit der Temperatur zu und beträgt etwa $2,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ bei 1000°C , bis zu $4,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ bei 2000°C . Der Temperaturkoeffizient (TCR) des spezifischen Widerstands beträgt $0,0045 \text{ K}^{-1}$ ($20\text{-}1000^\circ\text{C}$), was darauf hindeutet, dass seine Leitfähigkeit mit steigender Temperatur schnell abnimmt.

Dotierter Molybdändraht kann den Hochtemperaturwiderstand verringern, indem er die Kristallstruktur optimiert. Zum Beispiel hat Molybdändraht, der mit 1 % Lanthanoxid dotiert ist, einen um etwa 10 % geringeren spezifischen Widerstand als reiner Molybdändraht bei 1500°C , da die Lanthanoxidpartikel die Korngrenzstreuung reduzieren. Aufgrund der festen Lösungswirkung von Rhenium ist der spezifische Widerstand von Molybdän-Rheniumdraht etwas höher (ca. $6,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ bei 20°C), aber sein Temperaturkoeffizient ist stabiler und eignet sich für Umgebungen mit hochfrequenten Entladungen.

Bei Leuchten hat der spezifische Widerstand einen direkten Einfluss auf den Energieverlust und die Wärmeentwicklung. Molybdändraht mit niedrigem spezifischen Widerstand reduziert die Joule-Erwärmung und verbessert den Wirkungsgrad der Leuchte. In HID-Lampen muss der spezifische Widerstand der Molybdändrahtelektroden genau gesteuert werden, um die Stabilität des Lichtbogenstarts zu gewährleisten.

3.4.2 Strombelastbarkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Strombelastbarkeit eines Molybdändrahtes hängt von seinem Durchmesser, seiner Materialreinheit und seiner Betriebstemperatur ab. Ein reiner Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,1 mm kann einen Strom von etwa 10 A bei 20°C führen und bei 1000°C auf etwa 5 A abfallen. Dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht) hat aufgrund seiner höheren Festigkeit bei hohen Temperaturen eine etwas bessere Strombelastbarkeit und kann 4-6 A (0,1 mm Durchmesser) bei 1500°C führen.

In Gasentladungslampen werden die Molybdändrahtelektroden sofort hohen Strömen (10-100 A für einige Millisekunden) ausgesetzt, was eine hohe Leitfähigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit erfordert. Aufgrund seiner hervorragenden Duktilität und Zähigkeit kann Molybdän-Rheniumdraht

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

wiederholten Stromstößen standhalten, ohne zu brechen. In der Produktion muss die Optimierung der Stromtragfähigkeit durch Erhöhung der Korngröße und Reduzierung von Oberflächenfehlern erreicht werden.

3.4.3 Lichtbogenstabilität von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Lichtbogenstabilität ist eine Schlüsseleigenschaft von Molybdändraht als Elektrodenmaterial, insbesondere in HID-Lampen und Leuchtstofflampen. Der hohe Schmelzpunkt und die Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit von Molybdändraht ermöglichen es, die strukturelle Integrität bei hohen Lichtbogentemperaturen ($>4000\text{ °C}$) aufrechtzuerhalten. Aufgrund der hohen Oberflächengüte ($Ra < 0,5\text{ }\mu\text{m}$) kann gereinigter Molybdändraht lokale Überhitzung und Spritzer bei der Lichtbogenentladung reduzieren und die Stabilität verbessern.

Dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht, Molybdän-Rhenium-Draht) reduziert die durch Lichtbögen verursachte Korngrenzkorrosion durch Optimierung der Oberflächenmikrostruktur. So hat beispielsweise Lanthanoxid-dotierter Molybdändraht bei hochfrequenter Entladung (10-100 kHz) eine um etwa 20 % höhere Lichtbogenstabilität als reiner Molybdändraht. In der Produktion wird die Lichtbogenstabilität häufig durch die Simulation von Leuchtenbetriebsbedingungen, wie z. B. Hochspannungsstoßtests, getestet, um die langfristige Zuverlässigkeit der Elektroden zu gewährleisten.

3.5 Optische Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die optischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung beeinflussen seine Strahlungseffizienz und Lichtausbeute in Lampen, hauptsächlich einschließlich Oberflächenbeschaffenheit und Reflexionsvermögen, Hochtemperatur-Strahlungseigenschaften und den Einfluss der Oberflächenoxidation auf die optischen Eigenschaften.

3.5.1 Oberflächenbeschaffenheit und Reflexionsvermögen von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Oberflächenbeschaffenheit von Molybdändraht wirkt sich direkt auf sein Reflexionsvermögen und die Gleichmäßigkeit der Lichtbogenentladung aus. Durch elektrolytisches Polieren oder chemische Reinigung kann die Oberflächenrauheit des gereinigten Molybdändrahtes $Ra\ 0,1-0,5\text{ }\mu\text{m}$ erreichen, und der Reflexionsgrad (Bereich des sichtbaren Lichts) beträgt etwa 60 % bis 70 %. Aufgrund der Oberflächenoxidschicht (MoO_2) ist die Rauheit von schwarzem Molybdändraht hoch ($Ra\ 0,5-2,0\text{ }\mu\text{m}$) und das Reflexionsvermögen beträgt nur 30%-40%.

Hochwertiger Molybdändraht verbessert die Gleichmäßigkeit der Lichtausbeute in Halogen- und HID-Lampen und reduziert die lokale Überhitzung durch Oberflächenfehler. Bei Projektionslampen beeinflusst das Reflexionsvermögen von Molybdändraht die Fokussierungswirkung des Lichts, und ein hohes Reflexionsvermögen von gereinigtem Molybdändraht kann die Lichtnutzung verbessern. In der Produktion muss die Kontrolle der Oberflächengüte durch Präzisionspoliergeräte und Online-Inspektion erreicht werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.5.2 Hochtemperatur-Strahlungseigenschaften und Spektralanalyse von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Strahlungseigenschaften von Molybdändraht bei hohen Temperaturen hängen eng mit seiner Leistung als Elektrode oder Trägermaterial zusammen. Bei 1500-2000°C konzentriert sich das Strahlungsspektrum von Molybdändraht hauptsächlich im infraroten und nahen Infrarotbereich (Wellenlänge 0,7-2,5 μm), während das sichtbare Licht (0,4-0,7 μm) relativ gering ist. Das verschafft ihm einen Vorteil bei Infrarotlampen, vor allem aber als Hilfsstoff bei der Weißlichtbeleuchtung.

Dotierte Molybdändrähte, wie z. B. Molybdän-Lanthan-Drähte, können die Strahlungseffizienz im sichtbaren Bereich leicht erhöhen, indem sie die Kristallstruktur optimieren. Zum Beispiel hat ein mit 1 % Lanthanoxid dotierter Molybdändraht bei 2000 °C eine etwa 10 % höhere Strahlungsleistung als ein reiner Molybdändraht. Die Spektralanalyse zeigt, dass sich der Strahlungsspeak von Molybdändraht mit zunehmender Temperatur in den Kurzwellenlängenbereich verschiebt, was dem Planckschen Schwarzkörperstrahlungsgesetz entspricht. In der Praxis müssen die Strahlungseigenschaften von Molybdänfilamenten mit dem Filament (typischerweise Wolfram) co-optimiert werden, um die gewünschte Lichtleistung zu erzielen.

3.5.3 Einfluss der Oberflächenoxidation von Molybdändraht für die Beleuchtung auf die optischen Eigenschaften

Die Oberflächenoxidation hat einen erheblichen Einfluss auf die optischen Eigenschaften von Molybdändraht. Die Oxidschicht (MoO_2 oder MoO_3) aus schwarzem Molybdändraht absorbiert einen Teil des sichtbaren und infraroten Lichts, wodurch das Reflexionsvermögen und die Strahlungseffizienz verringert werden. Bei Halogenlampen kann die Verdunstung der Oxidschicht zur Ablagerung der Innenwand der Glühbirne führen, wodurch die Effizienz der Lichtleistung verringert wird. Durch das Entfernen der Oxidschicht verbessert der gereinigte Molybdändraht die optische Leistung erheblich, und das Reflexionsvermögen und die Strahlungseffizienz sind besser als bei schwarzem Molybdändraht.

Bei hohen Temperaturen (>1000 °C) kann auf der Oberfläche von Molybdändraht eine geringe Oxidation auftreten, die die spektralen Eigenschaften beeinflusst. Dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht) verlangsamt den Oxidationsprozess und erhält die Stabilität der optischen Eigenschaften aufrecht, indem er eine stabile Oberflächenstruktur bildet. Beschichtete Molybdändrähte, wie z. B. Aluminiumoxid-Beschichtungen, bieten zusätzlichen Schutz vor Oberflächenoxidation und eignen sich für Hochleistungs-Speziallampen.

3.6 Molybdändraht für Beleuchtungs-Sicherheitsdatenblätter von CTIA GROUP LTD

Sicherheitsdatenblätter (MSDS) bieten eine Anleitung für die sichere Verwendung, Lagerung und den Transport von Molybdändraht für die Beleuchtung. Im Folgenden sind die Hauptinhalte des Sicherheitsdatenblatts von Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA aufgeführt:

Teil I: Chemische Bezeichnungen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Chemischer Name: Molybdändraht

CAS-Nr.: 7439-98-7

Summenformel: Mo

Molekulargewicht: 99,95

Teil II: Zusammensetzung/Informationen zur Zusammensetzung

Gehalt 99,3% ~ 99,95% Molybdän

Teil III: Überblick über die Gefahren

Gesundheitsgefahren: Dieses Produkt ist nicht reizend für Augen und Haut.

Explosionsgefahr: Dieses Produkt ist nicht brennbar und nicht reizend.

Teil IV: Erste-Hilfe-Maßnahmen

Haut-zu-Haut-Kontakt: Kontaminierte Kleidung ausziehen und mit viel fließendem Wasser abspülen.

Blickkontakt: Heben Sie das Augenlid an und spülen Sie es mit fließendem Wasser oder Kochsalzlösung ab. Ärztliche Behandlung.

Einatmen: Vom Tatort an die frische Luft nehmen. Wenn Sie Schwierigkeiten beim Atmen haben, geben Sie Sauerstoff. Ärztliche Behandlung.

Einnahme: Trinken Sie viel warmes Wasser, um Erbrechen auszulösen. Ärztliche Behandlung.

Teil V: Brandschutzmaßnahmen

Schädliche Verbrennungsprodukte: Natürliche Zersetzungsprodukte sind unbekannt.

Feuerlöschmethode: Feuerwehrleute müssen Gasmasken und Ganzkörper-Feuerwehrranzüge tragen, um das Feuer in Windrichtung zu löschen. Feuerlöschmittel: trockenes Lederpulver, Sand.

Teil VI.: Notfallbehandlung bei verschütteten Flüssigkeiten

Notfallbehandlung: Isolieren Sie den mit Leckagen kontaminierten Bereich und beschränken Sie den Zugang. Schalten Sie den Brandherd aus. Den Einsatzkräften wird empfohlen, Staubmasken (Vollmasken) und Schutzkleidung zu tragen. Vermeiden Sie Staub, fegen Sie ihn vorsichtig auf, stecken Sie ihn in einen Beutel und bringen Sie ihn an einen sicheren Ort. Wenn eine große Menge an Leckagen vorhanden ist, decken Sie sie mit einem Plastiktuch oder einer Leinwand ab. Sammeln und recyceln oder zur Entsorgung zu einer Mülldeponie transportieren.

Teil VII: Handhabung, Handhabung und Lagerung

Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb: Die Bediener müssen speziell geschult sein und die Betriebsverfahren strikt befolgen. Es wird empfohlen, dass der Bediener selbstansaugende

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

filtrierende Staubmasken, eine chemische Schutzbrille, einen Overall gegen Giftdurchdringung und Gummihandschuhe trägt. Halten Sie sich von Feuer und Wärmequellen fern, und Rauchen ist am Arbeitsplatz strengstens verboten. Verwenden Sie explosionsgeschützte Lüftungssysteme und -geräte. Vermeiden Sie Staubentwicklung. Vermeiden Sie den Kontakt mit Oxidationsmitteln und Halogenen. Bei der Handhabung ist es notwendig, leicht zu be- und entladen, um Schäden an der Verpackung und den Behältern zu vermeiden. Ausgestattet mit den entsprechenden Sorten und Mengen an Feuerlöschgeräten und Geräten zur Notfallbehandlung von Leckagen. Leere Behälter können Schadstoffe hinterlassen.

Vorsichtsmaßnahmen bei der Lagerung: In einem kühlen, belüfteten Lager lagern. Von Feuer und Wärmequellen fernhalten. Es sollte getrennt von Oxidationsmitteln und Halogenen gelagert und nicht vermischt werden. Ausgestattet mit der entsprechenden Vielfalt und Menge an Feuerlöschgeräten. Der Lagerbereich sollte mit geeigneten Materialien ausgestattet sein, um die Verschüttung einzudämmen.

Teil VIII: Expositionsbegrenzung/Persönlicher Schutz

China MAC (mg/m³): 6

MAC der UdSSR (mg/m³): 6

TLVTN:ACGIH 1mg/m³

TLVWN:ACGIH 3mg/m³

Überwachungsmethode: Kaliumthiocyanid-Titanchlorid-Spektrolumineszenzmethode

Technische Kontrolle: Der Produktionsprozess ist staubfrei und vollständig belüftet.

Atemschutz: Wenn die Staubkonzentration in der Luft die Norm überschreitet, muss eine selbstansaugende filtrierende Staubmaske getragen werden. Im Falle einer Notfalleвакуierung sollte ein Atemschutzgerät getragen werden.

Augenschutz: Tragen Sie eine chemische Schutzbrille.

Körperschutz: Tragen Sie einen Anti-Gift-Penetrationoverall.

Handschutz: Tragen Sie Gummihandschuhe.

Teil IX: Physikalisch-chemische Eigenschaften

Hauptbestandteil: Rein

Aussehen und Eigenschaften: massiv, metallisch hochweiß; Blank, schwarze Oberfläche

Schmelzpunkt (°C): 2620

Siedepunkt (°C): 5560

Relative Dichte (Wasser = 1): 9,4~10,2 (20 °C)

Dampfdichte (Luft = 1): Keine Angabe

Sättigungsdampfdruck (kPa): keine Daten verfügbar

Verbrennungswärme (kJ/mol): keine Angabe

Kritische Temperatur (°C): Keine Daten verfügbar

Kritischer Druck (MPa): Keine Daten verfügbar

Logarithmus des Wasserverteilungskoeffizienten: keine Daten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Flammpunkt (°C): Keine Daten verfügbar

Zündtemperatur (°C): Keine Daten

Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Untere Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Löslichkeit: löslich in Salpetersäure, Flusssäure

Hauptverwendungen: wird bei der Herstellung von Formen, Molybdändrähten, elektronischen Teilen usw. verwendet

Teil X: Stabilität und Reaktivität

Verbotene Substanzen: starke Säuren und Alkalien.

Teil 11:

Akute Toxizität: keine Daten verfügbar

LC50: Keine Daten

Teil XII: Ökologische Daten

Für diesen Abschnitt liegen keine Daten vor

Teil XIII: Entsorgung

Abfallentsorgungsmethode: Beziehen Sie sich vor der Entsorgung auf die einschlägigen nationalen und lokalen Gesetze und Vorschriften. Recyceln, wenn möglich.

Teil XIV: Versandinformationen

Gefahrgutnummer: keine Angabe

Verpackungskategorie: Z01

Vorsichtsmaßnahmen für den Transport: Die Verpackung sollte beim Versand vollständig sein und die Verladung sollte sicher sein. Während des Transports muss sichergestellt werden, dass der Behälter nicht ausläuft, zusammenbricht, herunterfällt oder beschädigt wird. Es ist strengstens verboten, mit Oxidationsmitteln, Halogenen, essbaren Chemikalien usw. zu mischen. Während des Transports sollte es vor Sonne, Regen und hohen Temperaturen geschützt werden. Die Fahrzeuge sollten nach dem Transport gründlich gereinigt werden.

Teil XV: Regulatorische Informationen

Regulatorische Informationen: Vorschriften über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien (vom Staatsrat am 17. Februar 1987 verkündet), detaillierte Regeln für die Umsetzung der Vorschriften über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien (Hua Lao Fa [1992] Nr. 677), Vorschriften über die sichere Verwendung von Chemikalien am Arbeitsplatz ([1996] Lao Bu Fa Nr. 423) und andere Gesetze und Vorschriften, die entsprechende Bestimmungen über die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

sichere Verwendung, Herstellung, Lagerung, Beförderung, Be- und Entladung gefährlicher Chemikalien erlassen haben; Die Hygienenorm für Wolfram in der Werkstattluft (GB 16229-1996) schreibt die maximal zulässige Konzentration und das Nachweisverfahren dieses Stoffes in der Werkstattluft vor.

Teil XVI: Lieferanteninformationen

Lieferant: CTIA GROUP LTD

Telefonnummer: 0592-5129696/5129595



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 4 Aufbereitungs- und Produktionstechnik von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Vorbereitung von Molybdändraht für die Beleuchtung ist ein komplexer und präziser Prozess, der mehrere Prozessglieder von der Auswahl des Rohmaterials bis zum Endprodukt umfasst, und seine Produktionstechnologie und Prozessoptimierung bestimmen direkt die Qualität und Leistung von Molybdändraht. In diesem Kapitel wird der Vorbereitungs- und Produktionsprozess von Molybdändraht für die Beleuchtung ausführlich erörtert, einschließlich der Auswahl und Vorbehandlung von Rohstoffen, des Schmelzens und Formens, des Drahtziehprozesses, der Oberflächenbehandlungstechnologie, des Dotierungsprozesses, der Qualitätskontrolle und der Prozessoptimierung.

4.1 Auswahl und Vorbehandlung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Leistung von Molybdändraht für die Beleuchtung hängt stark von der Qualität des Rohmaterials und dem Vorbehandlungsprozess ab. Die Auswahl und Vorbehandlung des Rohmaterials ist der erste Schritt in der Produktion, der sich direkt auf die Erfolgsquote des anschließenden Schmelzens, Formens und Drahtziehens sowie auf die Leistung des Endprodukts auswirkt. Im Folgenden finden

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Sie eine detaillierte Analyse unter drei Aspekten: Kontrolle der Reinheit und Partikelgröße des Molybdänpulvers, Auswahl und Proportion des Dotierungsmaterials sowie Vorbehandlungsprozess.

4.1.1 Anforderungen an die Reinheit des Molybdänpulvers ($\geq 99,95\%$) und Kontrolle der Partikelgröße

Die Herstellung von Molybdändraht wird in der Regel aus hochreinem Molybdänpulver hergestellt, und die Reinheit muss mehr als 99,95% erreichen, um die chemische Stabilität und die elektrischen Eigenschaften von Molybdändraht in einer Hochtemperaturumgebung zu gewährleisten. Der Gehalt an Verunreinigungen (z. B. Eisen, Nickel, Silizium, Kohlenstoff usw.) muss auf einem sehr niedrigen Niveau gehalten werden (0,05 % der Gesamtverunreinigungen < da selbst Spurenverunreinigungen bei hohen Temperaturen zu Korrosion der Korngrenze oder Instabilität des Lichtbogens führen können. Beispielsweise können Eisenverunreinigungen über 0,01 % dazu führen, dass Molybdänfilamente mit Halogengasen in Halogenlampen reagieren, um flüchtige Verbindungen zu bilden und die Lebensdauer der Lampe zu verkürzen.

Die Herstellung von Molybdänpulver wird in der Regel durch Raffination von Molybdänit (MoS_2) gewonnen. Das Verfahren besteht aus dem Rösten von Molybdänit zur Herstellung von Molybdäntrioxid (MoO_3), gefolgt von einer Wasserstoffreduktion (zwei Reduktionen in einem Rohofen bei 600-1000 °C) zur Herstellung von hochreinem Molybdänpulver. Während des Reduktionsprozesses sollten die Reinheit des Wasserstoffs ($\geq 99,999\%$) und die Reduktionstemperatur kontrolliert werden, um Sauerstoffrückstände zu vermeiden. Das reduzierte Molybdänpulver muss chemisch analysiert werden (z. B. ICP-OES), um seine Reinheit zu bestätigen und den Normen ASTM B386 oder GB/T 3462 zu entsprechen.

Die Kontrolle der Partikelgröße ist ein wichtiger Bestandteil der Rohstoffvorbehandlung. Molybdändraht für die Beleuchtung erfordert Molybdänpulver mit einer Partikelgröße von 1-5 μm und einer gleichmäßigen Partikelgrößenverteilung (D50 ist etwa 2-3 μm). Die feine und gleichmäßige Partikelgröße trägt dazu bei, die Dichte des gesinterten Knüppels zu erhöhen und Porosität und Einschlüsse zu reduzieren. Ist die Partikelgröße zu groß ($> 10\ \mu\text{m}$), führt dies zu einem ungleichmäßigen Sintern und beeinträchtigt die mechanische Festigkeit des Molybdändrahtes. Wenn die Partikelgröße zu klein ist ($< 1\ \mu\text{m}$), kann dies die Sinterschrumpfung erhöhen und zu Rissen im Rohling führen. Die Partikelgrößenkontrolle wird durch Luftstromklassifizierung oder Vibrationssiebung erreicht, und zu den gängigen Geräten gehören Luftstromsichter und Ultraschallsiebe. Darüber hinaus ist die Morphologie von Molybdänpulver entscheidend für den nachfolgenden Verdichtungs- und Sinterereffekt, und kugelförmiges Pulver kann durch Plasma-Sphäroidisierungstechnologie hergestellt werden.

4.1.2 Auswahl und Verhältnis der Dotierungsmaterialien (Lanthan, Rhenium, etc.).

Die Auswahl und das Verhältnis von dotierten Materialien ist das Kernglied bei der Herstellung von Hochleistungs-Molybdändraht (wie Molybdän-Lanthandraht und Molybdän-Rheniumdraht), der darauf abzielt, die Kriechbeständigkeit, Duktilität und Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen zu verbessern. Zu den häufig dotierten Materialien gehören Lanthanoxid (La_2O_3), Rhenium (Re), Yttriumoxid (Y_2O_3) und Ceroxid (CeO_2).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Lanthanoxid (La_2O_3): das am häufigsten verwendete dotierte Material, typischerweise 0,3 bis 1,0 Massenprozent. Lanthanoxid wird in einer Molybdänmatrix in Form von nanoskaligen Partikeln (Partikelgröße 50-200 nm) dispergiert, wodurch die Rekristallisationstemperatur (von 1400 °C auf 1800 °C) und die Kriechfestigkeit deutlich erhöht werden. Lanthanoxid muss von hoher Reinheit ($\geq 99,99\%$) sein, um den Einfluss von Verunreinigungen (wie Schwefel und Phosphor) auf die Leistung zu vermeiden.

Rhenium (Re): Dotiert mit Rhenium (1%-5%), um eine feste Lösung von Molybdänrhenium zu bilden, die die Duktilität und Oxidationsbeständigkeit verbessert. Rheniumpulver muss durch Wasserstoffreduktion hergestellt werden, und die Reinheit beträgt $\geq 99,98\%$. Die hohen Kosten von Rhenium (etwa 50-100 Mal so hoch wie Molybdän) machen es vor allem in High-End-Speziallampen verwendet.

Yttriumoxid (Y_2O_3) und Ceroxid (CeO_2): wird in speziellen Molybdändrähten mit einem Gehalt von 0,5 %-2 % und 0,3 %-1 % verwendet. Yttriumoxid verbessert die Korrosionsbeständigkeit des Lichtbogens und ist für UV-Lampen geeignet; Ceroxid erhöht die Hochtemperaturstabilität und ist für Infrarotlampen geeignet. Beide erfordern eine hohe Reinheit ($\geq 99,95\%$) und feine Partikelgröße ($< 100\text{ nm}$).

Verhältniskontrolle: Das Dotierungsverhältnis muss genau gesteuert werden, ein zu hohes kann zu einer Erweichung des Materials oder höheren Kosten führen, ein zu niedriges Verhältnis verbessert die Leistung nicht wesentlich. Wenn beispielsweise der Lanthanoxidgehalt 0,8 % beträgt, kann die Zugfestigkeit von Molybdändraht bei 1500 °C 400 MPa erreichen, was 50 % höher ist als die von reinem Molybdändraht. Das Verhältnis wird durch elektronisches Wiegen der Waage und chemische Analyse überprüft und der Fehler wird auf $\pm 0,01\%$ kontrolliert.

Bei der Wahl des Dotierungsmaterials muss auch die chemische Verträglichkeit mit der Molybdänmatrix berücksichtigt werden. So bildet Lanthanoxid mit Molybdän bei hohen Temperaturen eine stabile dispergierte Phase, während Rhenium die Kristallstruktur durch Lösungsverstärkung verbessert. In der Produktion ist eine homogene Verteilung der dotierten Materialien entscheidend, die durch nachfolgende Mischprozesse erreicht wird.

4.1.3 Rohstoffvorbehandlung (Reinigen, Sieben, Mischen)

Die Vorbehandlung der Rohstoffe umfasst das Waschen, Sieben und Mischen, um eine gleichbleibende Qualität von Molybdänpulver und dotierten Materialien zu gewährleisten.

Reinigung: Molybdänpulver kann während des Produktionsprozesses Feuchtigkeit, Fett oder Oxide adsorbieren und muss durch chemische Reinigung entfernt werden. Das am häufigsten verwendete Reinigungsmittel ist verdünnte Salpetersäure (HNO_3 , Konzentration 5%-10%) oder Natriumhydroxid (NaOH , Konzentration 2%-5%), und die Reinigungstemperatur wird für 5-10 Minuten auf 40-60°C geregelt. Nach der Reinigung sollte es mit entionisiertem Wasser gespült und getrocknet werden (Vakuumtrocknung bei 100-150°C), um Restverunreinigungen zu vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Sieben: Entfernen Sie Über- oder Unterkorn mit Hilfe eines Vibrationssiebs oder Windsichters, um eine Partikelgrößenverteilung von 1-5 μm zu gewährleisten. Die Siebanlage sollte aus Edelstahl oder Keramik bestehen, um eine Metallkontamination zu vermeiden. Während des Siebprozesses sollte die Partikelgrößenverteilungskurve überwacht werden, und das D90/D10-Verhältnis sollte auf 2-3 geregelt werden, um eine Gleichmäßigkeit zu gewährleisten.

Mischen: Dotierter Molybdändraht erfordert eine gleichmäßige Vermischung von Molybdänpulver mit dotierten Materialien (z. B. Lanthanoxid). Häufig wird das Nassmischen (z. B. Ethanol oder deionisiertes Wasser als Medium) oder das Trockenmischen (z. B. V-Mischer) verwendet. Das Nassmischen verbessert die Gleichmäßigkeit durch Ultraschalldispersion, in der Regel für 2-4 Stunden. Nach dem Mischen wird das Kompositpulver durch Sprühtrocknung (Eintrittstemperatur 200-250°C) hergestellt, um eine gleichmäßige Verteilung der dotierten Partikel zu gewährleisten.

Der Vorbehandlungsprozess muss in einer sauberen Umgebung (Reinheitsklasse ISO 7) durchgeführt werden, um eine Staubkontamination zu vermeiden. Modernste Vorbehandlungsanlagen verbessern die Effizienz und Konsistenz.

4.2 Schmelzen und Formen von Molybdändraht für die Beleuchtung

Das Schmelzen und Umformen ist das Kernglied der Molybdändrahtvorbereitung, bei der Molybdänpulver durch Pulvermetallurgie, Sintern, Heißpressen, Schmieden und Walzen in Rohlinge mit hoher Dichte umgewandelt wird und die Grundlage für das anschließende Drahtziehen bildet.

4.2.1 Verfahren der Pulvermetallurgie

Die Pulvermetallurgie ist die Hauptvorbereitungsmethode für Molybdändraht für die Beleuchtung, und der Prozess umfasst das Pulverpressen, Sintern, die thermische Verarbeitung und das Formen. Es hat den Vorteil einer präzisen Kontrolle der Materialzusammensetzung und Mikrostruktur und eignet sich daher für die Herstellung von Hochleistungs-Molybdändraht.

Pulverpressen: Das vorbehandelte Molybdänpulver oder dotierte Pulver wird in eine Form geladen und unter einer hydraulischen Presse in einen Stab- oder Plattenrohling gepresst. Der Pressdruck beträgt 100-200 MPa, und das Formmaterial besteht aus hochfestem Stahl oder Hartmetall, um Verunreinigungen zu vermeiden. Während des Pressvorgangs muss die Dichte der Pulverfüllung (ca. 50 % bis 60 % theoretische Dichte) kontrolliert werden, um die Gleichmäßigkeit des Rohlings zu gewährleisten.

Vorsintern: Der gepresste Knüppel wird in einem Ofen mit Wasserstoffatmosphäre (Temperatur 800-1000 °C, 2-4 Stunden Haltbarkeit) vorgesintert, um Feuchtigkeit und flüchtige Verunreinigungen zu entfernen und die Festigkeit des Knüppels zu erhöhen. Das Vorsintern erfordert einen kontrollierten Wasserstoffdurchfluss (1-2 m^3/h) und einen Taupunkt (<-40 °C), um eine Oxidation zu vermeiden.

Prozesseigenschaften: Die Pulvermetallurgie kann dotierten Molybdändraht (z. B. Molybdän-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Lanthan-Draht) mit komplexer Zusammensetzung herstellen und die Mikrostruktur des Rohlings durch präzise Steuerung der Press- und Sinterparameter optimieren. Das weltweit führende Unternehmen setzt automatisierte Pressanlagen ein, um die Produktionseffizienz zu verbessern.

4.2.2 Vakuumsintern und Hochtemperatur-Sintertechnik

Das Sintern ist ein kritischer Schritt bei der Umwandlung des gepressten Knüppels in einen hochdichten Molybdänknüppel und wird in der Regel in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, um Oxidation zu vermeiden.

Vakuumsintern: In einem Vakuumsinterofen (Vakuumgrad $< 10^{-3}$ Pa) steigt die Temperatur auf 1800-2200 °C und wird 4-8 Stunden warm gehalten. Die Vakuumumgebung entfernt effektiv Restsauerstoff und reduziert die Porosität. Nach dem Sintern kann die Dichte des Rohlings eine theoretische Dichte von 95 % bis 98 % erreichen, und die Korngröße wird bei 10 bis 50 µm geregelt.

Hochtemperaturesintern: Für dotierten Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht) ist ein Hochtemperaturesintern (2300-2500 °C, 2-4 Stunden Halten) in einer Wasserstoffatmosphäre erforderlich. Der Wasserstoffschutz verhindert die Verflüchtigung von Lanthanoxid oder Rhenium und sorgt für die Stabilität dotierter Elemente. Der Sinterofen muss mit einem Wolfram- oder Molybdän-Heizelement ausgestattet sein, um hohen Temperaturen standzuhalten.

Wichtige Parameter: Sintertemperatur, Haltezeit und Aufheizrate müssen präzise gesteuert werden. Zu hohe Temperaturen (>2600 °C) können zu übermäßigem Kornwachstum führen und die mechanische Festigkeit verringern. Zu niedrige Temperaturen (<1800 °C) erreichen nicht die gewünschte Dichte. Der hochmoderne Sinterofen erreicht eine Temperiergenauigkeit von ± 5 °C.

Auswirkungen auf die Anwendung: Der hochdichte Sinterrohling bietet eine gute Grundlage für die mechanischen Eigenschaften für den anschließenden Drahtzug und eignet sich für die Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht (Durchmesser $<0,05$ mm).

4.2.3 Warmpress-, Schmiede- und Walzverfahren

Der gesinterte Rohling wird durch Heißpressen, Schmieden und Walzen zu einem für das Drahtziehen geeigneten Stab oder einer Platte weiterverarbeitet.

Heißpressen: In der Heißpresse (Druck 50-100 MPa, Temperatur 1500-1800°C) wird der gesinterte Rohling weiter verdichtet, um Mikrokosität zu eliminieren. Das Heißpressen erfolgt in der Regel in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre, und die Dichte des Knüppels kann mehr als 99 % erreichen.

Schmieden: Warmgepresste Rohlinge werden mit einer multidirektionalen Schmiedemaschine (Schmiedetemperatur 1200-1600°C) zu zylindrischen oder quadratischen Stangen verarbeitet. Durch das Schmieden werden die Körner (von 50 µm auf 20-30 µm) verfeinert und die Zähigkeit des Materials verbessert. Die Verformungsgeschwindigkeit ($0,1-0,5$ s⁻¹) muss während des Schmiedeprozesses kontrolliert werden, um Rissbildung zu vermeiden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Walzen: Geschmiedete Stangen werden durch ein Warmwalzwerk (Temperatur 1000-1400°C) zu Stangen oder Platten mit einem Durchmesser von 5-10 mm gewalzt. Das Walzen erfordert die Verwendung mehrerer Durchgänge mit geringer Verformung (10 % bis 15 % pro Verformung), um die Spannungskonzentration zu reduzieren. Die Oberfläche des gewalzten Stabes muss poliert werden, um den Oxidzunder zu entfernen.

Prozesseigenschaften: Der Warmumformprozess verbessert die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitbarkeit des Rohlings und bietet ein hochwertiges Substrat für das anschließende Drahtziehen. Chinesische Unternehmen haben durch die Einführung deutscher Warmwalzanlagen die Maßhaltigkeit von Stangen deutlich verbessert.

4.3 Ziehprozess von Molybdändraht für die Beleuchtung

Der Drahtziehprozess ist der Prozess des Dehnens des Molybdänstabs zu einem Filament, das die Kerntechnologie zur Vorbereitung des Molybdändrahts für die Beleuchtung darstellt und die Maßgenauigkeit, Oberflächenqualität und mechanischen Eigenschaften des Drahtes direkt bestimmt.

4.3.1 Grobziehen, Feinziehen und Feinstziehentechnik

Der Drahtziehprozess ist in drei Stufen unterteilt: Grobziehen, Feinziehen und Feinstziehen, und die Größe des Drahtes wird je nach Zieldurchmesser und Anwendungsanforderungen schrittweise reduziert.

Grobzeichnung: Walzstangen (Durchmesser 5-10 mm) werden auf einen Durchmesser von 0,5-2 mm gedehnt. Für das Schrumpfen wird eine Drahtziehmaschine mit mehreren Durchgängen (10 % bis 20 % Durchmesserreduzierung pro Zeit) verwendet, und das Formmaterial ist Hartmetall oder natürlicher Diamant. Die Ziehgeschwindigkeit beträgt 1-5 m/min und das Warmziehen bei 600-800 °C ist erforderlich, um die Duktilität zu verbessern.

Feinziehen: Ziehen des groben Drahtes auf einen Durchmesser von 0,05-0,5 mm, geeignet für Glühlampen, Halogen- und HID-Lampen. Das Feinziehen erfordert den Einsatz von hochpräzisen Matrizen (Toleranzen $\pm 0,001$ mm) und die Ziehgeschwindigkeit wird auf 0,5-2 m/min reduziert. Während des Feinziehprozesses ist ein mehrfaches Glühen (800-1000 °C) erforderlich, um eine Kaltverfestigung zu vermeiden.

Feinstziehen: Dehnen des Drahtes auf einen Durchmesser von 0,01-0,05 mm, geeignet für Speziallampen (z.B. UV-Lampen). Das Ziehen von Feinstdraht stellt extrem hohe Anforderungen an die Matrize und den Schmierstoff und erfordert eine polykristalline Diamantmatrize (Bohrungsdurchmessergenauigkeit $\pm 0,0005$ mm) und eine Ziehgeschwindigkeit von $< 0,5$ m/min. Die Zugfestigkeit von ultrafeinem Molybdändraht kann mehr als 1500 MPa erreichen, ist jedoch leicht zu brechen, und die Prozessparameter müssen streng kontrolliert werden.

Technische Herausforderungen: Die Ausbeute beim Feinstziehen ist gering (ca. 70%-80%) und es kann zu Brüchen aufgrund von Oberflächenfehlern oder inneren Spannungen im Draht kommen. Die hochmoderne Drahtziehmaschine verbessert die Ausbeute durch Inline-Zugregelung und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Fehlererkennung.

4.3.2 Schmierstoffauswahl und Optimierung des Werkzeugdesigns

Schmierstoffe und Werkzeugdesign sind der Schlüssel zum Ziehprozess, was sich direkt auf die Oberflächenqualität des Drahtes und die Zieheffizienz auswirkt.

Auswahl des Schmierstoffs: Schmierstoffe aus Graphitemulsion oder Molybdändisulfid (MoS_2) werden häufig für das Schrump- und Feinziehen verwendet, mit hoher Temperaturstabilität und niedrigem Reibungskoeffizienten (0,1-0,2). Beim Feinziehen sind ölbasierte Schmierstoffe (z. B. Schmierstoffe auf Polyethylenglykolbasis) erforderlich, um Kratzer auf der Oberfläche zu reduzieren. Der Schmierstoff muss regelmäßig gewechselt werden, um eine Kontamination durch Verunreinigungen zu vermeiden.

Formdesign: Der Ziehstein muss aus Materialien mit hoher Härte bestehen (z. B. Hartmetall WC oder polykristalliner Diamant-PKD). Der Bohrungsdurchmesser der Matrize muss präzise bearbeitet werden (Toleranz $\pm 0,001$ mm), und der Eintrittswinkel ($8-12^\circ$) und die Länge der Reduzierzone müssen optimiert werden, um die Ziehspannung zu reduzieren. Die Oberfläche der Form muss poliert werden ($\text{Ra} < 0,05$ μm), um Reibung und Oberflächenfehler zu reduzieren.

Optimierungsmaßnahmen: Bei der fortschrittlichen Werkzeugkonstruktion wird die Finite-Elemente-Analyse (FEA) verwendet, um die Spannungsverteilung beim Drahtziehen zu simulieren und die Werkzeuggeometrie zu optimieren. Das Schmiersystem sorgt durch eine automatische Sprühvorrichtung für eine gleichmäßige Schmiermittelabdeckung und verbessert die Ziehstabilität.

4.3.3 Zwischenglühen und Endglühen

Das Glühverfahren wird verwendet, um die Kaltverfestigung während des Ziehprozesses zu beseitigen und die Duktilität und Zähigkeit des Molybdändrahtes wiederherzustellen.

Zwischenglühen: wird nach jeweils 2-3 Durchgängen des Grobziehens und Feinziehens bei einer Temperatur von $800-1000$ $^\circ\text{C}$ durchgeführt und hält 10-30 Sekunden lang, normalerweise in einem Ofen mit Wasserstoffatmosphäre. Durch das Zwischenglühen wird die innere Spannung des Drahtes um 50 % bis 70 % reduziert und die Korngröße bei 10 bis 20 μm gehalten.

Endglühen: Wird nach dem Ziehen bei einer Temperatur von $900-1200$ $^\circ\text{C}$ durchgeführt und 5-15 Sekunden lang gehalten, mit dem Ziel, die mechanischen Eigenschaften und die Oberflächenqualität des Drahtes zu optimieren. Beim abschließenden Glühen muss die Abkühlgeschwindigkeit ($10-50$ $^\circ\text{C/s}$) gesteuert werden, um ein übermäßiges Kornwachstum zu vermeiden.

Prozesseigenschaften: Der Glühofen muss mit einem präzisen Temperaturregelsystem (Genauigkeit ± 5 $^\circ\text{C}$) ausgestattet sein, und der Wasserstoffgasdurchfluss wird auf $0,5-1$ m^3/h geregelt. Die Glühtemperatur von dotiertem Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht) ist etwas höher ($1000-1300$ $^\circ\text{C}$), um die Stabilität der dotierten Elemente zu gewährleisten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Der Glühprozess ist entscheidend für die Leistung von Molybdändraht. Zu hohe Glühtemperaturen können zur Rekristallisation führen, wodurch die Festigkeit verringert wird. Zu niedrige Temperaturen werden den Stress nicht ausreichend abbauen. Die fortschrittliche Glühanlage kann Online-Glügen realisieren und die Produktionseffizienz verbessern.

4.4 Oberflächenbehandlungstechnologie von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Oberflächenbehandlungstechnologie ist der Schlüssel zur Verbesserung der Oberflächenqualität, der Korrosionsbeständigkeit und der optischen Eigenschaften von Molybdändraht und umfasst die chemische Reinigung und das elektrolytische Polieren, die Prozessunterschiede zwischen schwarzem und gereinigtem Molybdändraht sowie die Oberflächenbeschichtungstechnologie.

4.4.1 Chemische Reinigung und Elektropolieren

Chemische Reinigung und Elektropolieren werden eingesetzt, um Oxide, Fette und Ziehrückstände von der Oberfläche von Molybdändraht zu entfernen und so die Oberflächengüte und die elektrischen Eigenschaften zu verbessern.

Chemische Reinigung: Mit Beizlösung (z. B. HNO₃-HF-Gemisch, Verhältnis 3:1, Konzentration 5%-10%) bei 40-60°C für 1-3 Minuten waschen, um die Oberflächenoxidschicht (MoO₂ oder MoO₃) zu entfernen. Nach dem Waschen mit entionisiertem Wasser abspülen und trocknen (100-150°C), um Säurereste zu vermeiden. Die chemische Reinigung eignet sich für die Umwandlung von schwarzem Molybdändraht in gereinigtem Molybdändraht.

Elektrolytisches Polieren: Molybdändraht wird als Anode im Elektrolyten verwendet (z. B. NaOH-Lösung, Konzentration 5%-10%), die Stromdichte beträgt 0,5-2 A/cm² und die Polierzeit beträgt 10-30 Sekunden. Das elektrolytische Polieren reduziert die Oberflächenrauheit auf Ra 0,1-0,5 µm, verbessert das Reflexionsvermögen (60%-70%) und die Beständigkeit gegen Lichtbogenkorrosion.

Prozesseigenschaften: niedrige Kosten für die chemische Reinigung, geeignet für die Großproduktion; Das elektrolytische Polieren hat eine höhere Genauigkeit und ist für High-End-Lampen (wie Halogenlampen, HID-Lampen) geeignet. Die Behandlung von Abfallflüssigkeiten muss Umweltstandards (wie z. B. der RoHS-Richtlinie) entsprechen, und die Neutralisations- und Sedimentationstechnologie wird zur Behandlung von sauren und alkalischen Abfallflüssigkeiten eingesetzt.

4.4.2 Prozessunterschiede zwischen schwarzem Molybdändraht und gereinigtem Molybdändraht

Es gibt signifikante Unterschiede zwischen schwarzem Molybdändraht und gereinigtem Molybdändraht in Bezug auf den Oberflächenbehandlungsprozess und die Anwendungsszenarien.

Schwarzer Molybdändraht: hält eine Oxidschicht (MoO₂ oder MoO₃) mit einer Rauheit von Ra 0,5-2,0 µm auf der Oberfläche zurück. Nach dem Ziehen Glühen (600-800 °C) in Luft oder Niedervakuum (10-100 Pa) direkt zur Bildung einer Oxidschicht. Schwarzer Molybdändraht eignet sich für Stützfilamente oder Dichtungsmaterialien für günstige Glühlampen, da die Oxidschicht die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Haftung auf Glas erhöht, die Lichtbogenstabilität jedoch schlecht ist.

Gereinigter Molybdändraht: Die Oxidschicht wird durch chemische Reinigung oder elektrolytisches Polieren entfernt und die Oberfläche ist glänzend mit einer Rauheit von Ra 0,1-0,5 µm. Die Leitfähigkeit und Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit von gereinigtem Molybdändraht sind besser als die von schwarzem Molybdändraht und er ist für Elektroden von Halogenlampen und HID-Lampen geeignet. In der Produktion sind zusätzliche Reinigungs- und Polierschritte erforderlich, was die Kosten um ca. 20%-30% erhöht.

Prozessunterschiede: Bei der Herstellung von schwarzem Molybdändraht entfällt der Schritt der Oberflächenbehandlung, und der Prozess ist einfach. Gereinigter Molybdändraht muss streng kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass keine Restfehler auf der Oberfläche vorhanden sind. Die Herstellung von gereinigtem Molybdändraht erfordert hochpräzise Polieranlagen.

4.4.3 Technologien zur Oberflächenbeschichtung (z. B. Antioxidationsbeschichtungen)

Die Oberflächenbeschichtungstechnologie verbessert die Leistung von Molybdändraht in rauen Umgebungen, indem oxidations- oder korrosionsbeständige Beschichtungen (z. B. Aluminiumoxid Al_2O_3 , Molybdänsilizid $MoSi_2$) auf der Oberfläche abgeschieden werden.

Beschichtungstyp: Aluminiumoxidbeschichtung (Dicke 0,1-1 µm) kann die Oxidationsbeständigkeit verbessern, geeignet für Infrarotlampen; Die Molybdän-Silizid-Beschichtung (0,5-2 µm dick) erhöht die Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit und ist für UV-Lampen geeignet. Hartmetallbeschichtungen, wie z. B. Mo_2C , werden in Umgebungen mit extrem hohen Temperaturen eingesetzt.

Vorbereitungsprozess: Chemische Gasphasenabscheidung (CVD, Temperatur 800-1200 °C) oder physikalische Gasphasenabscheidung (PVD, Temperatur 500-800 °C) zur Abscheidung der Beschichtung. CVD eignet sich für komplexe Formen von Molybdändraht, während PVD eine höhere Gleichmäßigkeit der Beschichtung bietet. Die Beschichtung sollte fest mit der Molybdänmatrix verbunden sein, um ein Ablösen zu vermeiden.

Prozesseigenschaften: Der Beschichtungsprozess muss in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre durchgeführt werden, und die Ausrüstungskosten sind hoch (z. B. ist der Preis eines CVD-Ofens etwa 2-3 mal so hoch wie der eines gewöhnlichen Sinterofens). Die Schichtdicke wird mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) gemessen und die Adhäsion durch Zugversuch nachgewiesen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Beschichteter Molybdändraht kann die Oxidationstemperatur auf mehr als 1500 °C erhöhen und die Lebensdauer von Lampen um 20 % bis 30 % verlängern, aber die Kosten sind hoch und die Marktanwendung ist auf High-End-Speziallampen beschränkt.

4.5 Dotierungsprozess von Molybdändraht für die Beleuchtung

Das Dotierungsverfahren ist eine Schlüsseltechnologie zur Verbesserung der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Hochtemperaturleistung und Haltbarkeit von Molybdändraht, die das Dotierungsverfahren, die Gleichmäßigkeitskontrolle und den Leistungssteigerungsmechanismus von Lanthan, Rhenium und anderen Elementen umfasst.

4.5.1 Dopingmethoden von Lanthan, Rhenium und anderen Elementen

Zu den Dopingmethoden gehören vor allem das Nassdoping, das Trockendoping und die chemische Co-Präzipitation.

Nassdotierung: Molybdänpulver wird mit einem dotierten Material (z.B. Lanthanoxid) in einem flüssigen Medium (z.B. Ethanol oder deionisiertes Wasser) vermischt und die Homogenität wird durch Ultraschalldispersion (Frequenz 20-40 kHz für 1-2 Stunden) gewährleistet. Nach dem Mischen wird das Verbundpulver durch Sprühtrocknung (Eintrittstemperatur 200-250 °C) hergestellt. Die Nassdotierung eignet sich für Lanthanoxid und Yttriumoxid und weist eine hohe Gleichmäßigkeit auf, aber der Trocknungsprozess muss kontrolliert werden, um eine Partikelagglomeration zu vermeiden.

Trockendotierung: Molybdänpulver wird mit dotierten Materialien durch V-Typ- oder Doppelkegelmischer trocken gemischt, und die Mischzeit beträgt 4-8 Stunden. Für Rheniumpulver eignet sich die Trockendotierung, da Rhenium in Flüssigkeit leicht oxidiert. Die Drehzahl des Mixers (20-50 U/min) muss geregelt werden, um eine Pulverschichtung zu vermeiden.

Chemische Co-Präzipitation: dotiertes Pulver wird durch chemische Reaktion (wie Lanthannitrat und Ammoniummolybdat-Co-Präzipitation) hergestellt, das für die Multielement-Dotierung (wie Lanthan + Yttrium) geeignet ist. Der pH-Wert (6-8) und die Reaktionstemperatur (50-80°C) müssen für die Co-Präzipitation geregelt werden, um eine gleichmäßige Verteilung der dotierten Elemente zu gewährleisten.

Prozesseigenschaften: Die Gleichmäßigkeit der Nassdotierung ist die beste, geeignet für die Großserienproduktion; Das Trockendopinggerät ist einfach und für Rheniumdoping geeignet; Die chemische Co-Präzipitation hat eine hohe Präzision, aber hohe Kosten und ist für speziellen Molybdändraht geeignet.

4.5.2 Kontrolle der Gleichmäßigkeit des Dopings

Die Gleichmäßigkeit der Dotierung wirkt sich direkt auf die Leistungsstabilität von Molybdändraht aus. Die Gleichmäßigkeitskontrolle umfasst die folgenden Maßnahmen:

Pulvermischen: Mit hochpräzisen Mischgeräten wird die Verteilung der dotierten Elemente durch Online-Probenahme und Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) überprüft und die Abweichung bei $\pm 0,01$ % kontrolliert.

Sinterprozess: Die Sintertemperatur (1800-2500°C) und die Haltezeit (2-8 Stunden) müssen optimiert werden, um eine Verflüchtigung oder Entmischung von Dotierungselementen zu vermeiden. So kann sich beispielsweise Lanthanoxid bei > 2300 °C teilweise zersetzen, und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Sinteratmosphäre (Wasserstofftaupunkt $<-40\text{ °C}$) muss kontrolliert werden.

Detektionstechnologie: Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) in Kombination mit der Energiespektroskopie (EDS) wurde verwendet, um die Verteilung der dotierten Partikel zu detektieren, und der Partikelabstand wurde bei $0,5\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$ kontrolliert. Die Zugfestigkeit von Molybdändraht mit hoher Gleichmäßigkeit kann bei hohen Temperaturen um 20% bis 30% erhöht werden.

4.5.3 Mechanismus der Dotierung zur Verbesserung der Hochtemperaturleistung

Die Dotierung verbessert die Hochtemperaturleistung von Molybdändraht durch die folgenden Mechanismen:

Verstärkung der Korngrenze: Lanthanoxid, Yttriumoxid usw. werden in Form von Nanopartikeln in der Molybdänkorngrenze dispergiert, an die Versetzung gebunden und hemmen das Wachstum und Kriechen der Körnung. Zum Beispiel hat Molybdändraht, der mit $0,8\%$ Lanthanoxid dotiert ist, eine um 50% niedrigere Kriechrate bei 1500 °C als reiner Molybdändraht.

Lösungsverstärkung: Rhenium löst sich im Molybdängitter auf und bildet eine feste Lösung, die die Dichte von Kristalldefekten verringert und die Duktilität und Oxidationsbeständigkeit verbessert. Die Bruchdehnung von Molybdändraht, der mit 3% Rhenium dotiert ist, wird bei 1200 °C auf 20% erhöht.

Oberflächenstabilität: Dotierte Elemente können eine stabile Oberflächenstruktur bilden und die Oxidverflüchtigung hemmen. So bilden Lanthanoxid-Partikel bei hohen Temperaturen eine schützende Oxidschicht, die die Geschwindigkeit der MoO_3 -Bildung verringert.

4.6 Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung sind der Schlüssel zur Gewährleistung einer gleichbleibenden Leistung und Produktivität von Molybdändraht, einschließlich der Überwachung von Prozessparametern, der Fehlerkontrolle und der Kostenoptimierung.

4.6.1 Online-Überwachung der Prozessparameter

Die Online-Überwachung stellt die Stabilität des Produktionsprozesses sicher, indem sie Prozessparameter in Echtzeit erkennt.

Überwachungsparameter: u.a. Sintertemperatur ($\pm 5\text{ °C}$), Ziehgeschwindigkeit ($\pm 0,1\text{ m/min}$), Glühtemperatur ($\pm 10\text{ °C}$), Schmierstoffdurchfluss ($\pm 0,1\text{ l/min}$). Echtzeitaufzeichnung mit Sensoren (z. B. Thermoelemente, Laservelocitymeter) und Datenerfassungssystemen.

Überwachungsausrüstung: Das fortschrittliche Überwachungssystem kann die automatische Steuerung des gesamten Prozesses realisieren und die Parameter durch Big-Data-Analyse optimieren. So werden z.B. die Zugschwankungen während des Ziehvorgangs mit $\pm 0,5\text{ N}$ geregelt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Online-Überwachung kann die Ausfallrate auf weniger als 1 % reduzieren, die Maßgenauigkeit und Leistungskonsistenz von Molybdändraht verbessern und die Anforderungen von High-End-Lampen erfüllen.

4.6.2 Fehlerkontrolle (Risse, Porosität, Einschlüsse)

Die Fehlerkontrolle ist der Schlüssel zur Verbesserung der Qualität von Molybdändraht, und zu den häufigsten Fehlern gehören Risse, Porosität und Einschlüsse.

Risse: Verursacht durch Zugspannung oder unsachgemäßes Glühen. Zu den Kontrollmaßnahmen gehören die Optimierung des Ziehwerkzeugs (Einlaufwinkel 8-12°), die Reduzierung der Ziehgeschwindigkeit (<0,5 m/min für Ultrafilament) und das Zwischenglühen (800-1000°C). Die Rissprüfung erfolgt durch Ultraschall-Fehlererkennung oder mikroskopische Prüfung.

Porosität: verursacht durch unzureichendes Sintern oder Verunreinigungen der Rohstoffe. Zu den Kontrollmaßnahmen gehören die Erhöhung der Sintertemperatur (2200-2500 °C), die Verlängerung der Haltezeit (4-8 Stunden) und die Verwendung von hochreinem Wasserstoff (Taupunkt <-40 °C). Die Porosität wurde durch Röntgen-CT-Scans nachgewiesen und die Porosität bei <0,5 % kontrolliert.

Einschlüsse: verursacht durch Kontamination oder ungleichmäßige Dotierung von Rohstoffen. Zu den Kontrollmaßnahmen gehören die strenge Reinigung der Rohstoffe (HNO₃-Reinigung) und der Einsatz von Nassdotierung. Die Detektion von Einschlüssen erfolgte mittels Energiespektroskopie (EDS) und der Verunreinigungsgehalt wurde auf <0,01 % kontrolliert.

4.6.3 Produktivitäts- und Kostenoptimierung

Produktionseffizienz und Kostenoptimierung sind der Schlüssel für die Wettbewerbsfähigkeit der Molybdändrahtindustrie.

Effizienzsteigerung: Mit der kontinuierlichen Drahtziehmaschine (z. B. der deutschen Niehoff-Anlage) wird die Drahtziehgeschwindigkeit auf 5-10 m/min erhöht und die Ausbeute auf mehr als 90 % erhöht. Automatisierte Sinter- und Glühanlagen können die Produktionszykluszeiten um bis zu 20 % reduzieren.

Kostenoptimierung: Reduzieren Sie die Rohstoffkosten durch das Recycling von Abfallstoffen (z. B. Drahtbruch) im Ziehprozess, mit einer Schrottrückgewinnungsquote von bis zu 30 %. Optimierter Schmierstoffverbrauch (10 % bis 20 % Reduzierung) und Energieverbrauch (15 % weniger Energieverbrauch im Sinterofen) senken die Kosten zusätzlich.

Umweltschutzmaßnahmen: Abfallbehandlungssysteme (z. B. Neutralisations- und Sedimentationsanlagen) gewährleisten die Einhaltung der RoHS- und REACH-Vorschriften und senken die Umweltschutzkosten. Umweltfreundliche Fertigungstechnologien, wie z. B. Niedrigenergie-Sinteröfen, können den Energieverbrauch um 10 % bis 15 % senken.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Chinesische Unternehmen haben Vorteile bei der Kostenoptimierung, müssen aber noch von europäischen und amerikanischen Unternehmen lernen, wenn es um die Prozesskonsistenz von hochwertig dotiertem Molybdändraht geht.



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 5 Die Verwendung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Molybdändraht für die Beleuchtung spielt aufgrund seiner hervorragenden Hochtemperaturleistung, chemischen Stabilität und mechanischen Festigkeit eine Schlüsselrolle in einer Vielzahl von Beleuchtungsgeräten. In diesem Kapitel werden die spezifischen Anwendungen von Molybdändraht in Glühlampen, Halogenlampen, Gasentladungslampen, Spezialbeleuchtungen und anderen verwandten Bereichen ausführlich erörtert und seine Funktionen, Leistungsanforderungen und Marktstatus analysiert.

5.1 Glühlampen

Glühlampen waren die ersten weit verbreiteten Beleuchtungsgeräte, und obwohl ihr Markt aufgrund des Aufkommens von LED-Leuchten allmählich geschrumpft ist, werden sie immer noch häufig in dekorativer Beleuchtung, Retro-Lampen und kostengünstigen Szenen verwendet. Molybdän-Filament wird hauptsächlich als Glühfadenträger und leitfähiges Bauteil in Glühlampen verwendet und ist aufgrund seiner hohen Temperaturstabilität und Wärmeausdehnungskompatibilität mit Glas zu einem unverzichtbaren Material geworden.

5.1.1 Filamentträger und leitfähige Funktion

In Glühlampen besteht die Hauptfunktion von Molybdänfilament darin, das Wolframfilament zu stützen und als leitfähige Elektrode zu fungieren, eine stabile Stromübertragung zu gewährleisten und die Geometrie des Filaments beizubehalten. Glühlampen erhitzen Wolframfäden mit elektrischem Strom, um sichtbares Licht zu erzeugen, und Molybdänfäden müssen die strukturelle

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Stabilität und die elektrischen Eigenschaften in dieser Hochtemperaturumgebung aufrechterhalten.

Filamentunterstützung: Wolframfilament neigt dazu, bei hohen Temperaturen weich zu werden oder durchzuhängen, was zu ungleichmäßiger Lichtleistung oder Filamentbruch führt. Der Molybdänfaden wird als Stützmaterial verwendet, um den Glühfaden an einer bestimmten Position auf der Innenseite der Glühbirne zu halten, normalerweise in einer spiralförmigen oder U-förmigen Struktur, die mit Wolframfaden umwickelt ist. Die hohe Zugfestigkeit von Molybdändraht sorgt dafür, dass er dem Gewicht und der thermischen Belastung des Filaments standhält. Reiner Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,1-0,5 mm ist aufgrund seiner geringen Kosten und guten Verarbeitbarkeit eine gängige Wahl.

Leitfähige Funktion: Der Molybdändraht fungiert als Elektrode, um den Strom von der externen Stromversorgung in das Innere der Glühbirne einzuleiten und mit dem Wolframfaden zu verbinden. Sein niedriger spezifischer Widerstand reduziert den Wärmeverlust von Joule und verbessert die Energieeffizienz. Der Molybdändraht muss außerdem mit Glas abgedichtet werden, um eine luftdichte Struktur zu bilden, die ein Austreten von Vakuum oder Inertgas verhindert. Sein Wärmeausdehnungskoeffizient ist an den von Borosilikatglas angepasst, wodurch sichergestellt wird, dass der Dichtungsbereich während des thermischen Wechsels nicht reißt.

Prozesseigenschaften: Der Molybdändraht für Glühlampen besteht meist aus reinem Molybdändraht, und die Oberfläche besteht in der Regel aus schwarzem Molybdändraht, da die Oxidschicht die Haftung mit dem Glas verbessern kann. In der Produktion wird Molybdändraht durch einen präzisen Zieh- und Schneidprozess benötigt, um konsistente Durchmessertoleranzen und Längen zu gewährleisten. Die automatische Montageausrüstung kann Molybdändraht mit Wolframfilament genau kombinieren, um die Produktionseffizienz zu verbessern.

Anwendungsszenario: Der Leistungsbereich von Glühlampen beträgt 15-1000 W, und Molybdändraht wird hauptsächlich in Haushaltslampen, dekorativen Leuchten und Industriebeleuchtung verwendet. Glühbirnen mit geringer Leistung erfordern weniger Leistung von Molybdändrähten, während Hochleistungslampen dickere Molybdändrähte benötigen, um höhere Ströme zu führen.

Die Anwendungstechnologie von Molybdändraht in Glühlampen ist ausgereift, und der Weltmarkt wird von China, Indien und Südostasien dominiert, um die Nachfrage nach kostengünstiger Beleuchtung zu befriedigen.

5.1.2 Stabilität und Lebensdauer in Umgebungen mit hohen Temperaturen

Die Glühlampe arbeitet in einem Vakuum- oder Niederdruck-Inertgas mit einer Innentemperatur von mehr als 2500 °C, und der Molybdändraht muss die mechanische und chemische Stabilität bei hohen Temperaturen aufrechterhalten, um die Lebensdauer der Lampe zu verlängern.

Mechanische Stabilität: Die Zugfestigkeit und Kriechfestigkeit von Molybdändraht bei hohen Temperaturen sind entscheidend. Die Zugfestigkeit von reinem Molybdändraht bei 1500 °C reicht

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

aus, um Wolframfilament zu stützen, aber seine Kriechgeschwindigkeit kann nach längerem Betrieb zu einer Verformung der Stützstruktur führen. Um die Stabilität zu verbessern, kann für Hochleistungsglühlampen dotierter Molybdändraht verwendet werden, der die Kriechrate um mehr als 50% reduziert und für Industrielleuchten über 1000 W geeignet ist.

Chemische Stabilität: Die Glühlampe befindet sich in einer Vakuum- oder Argon/Stickstoff-Umgebung, und der Molybdändraht muss sich keinen Oxidationsproblemen stellen, kann jedoch bei hohen Temperaturen in Spuren mit Restsauerstoff oder Wasserdampf reagieren, um flüchtiges MoO₃ zu erzeugen. Der Prozess der Lampenverdampfung oder die Reinheit des Gases muss in der Produktion streng kontrolliert werden, um den Molybdändraht zu schützen. Die Oxidschicht aus schwarzem Molybdändraht ist in einer Vakuumumgebung stabil und beeinträchtigt die Leistung nicht wesentlich.

Auswirkungen auf die Lebensdauer: Die Stabilität von Molybdändraht wirkt sich direkt auf die Lebensdauer von Glühlampen aus. Eine Verformung oder ein Bruch des Stützdrahtes kann dazu führen, dass sich der Wolframfaden verschiebt, was zu einem Kurzschluss oder Lichtabfall führt. Ein Ausfall der hermetisch abgeschlossenen Elektrode kann zum Einbringen von Luft führen, was zu einer schnellen Oxidation des Filaments und des Molybdänfilaments führt. Studien haben gezeigt, dass die Optimierung der Oberflächenqualität von Molybdändraht und des Dichtungsprozesses die Lebensdauer der Leuchte um 10 % bis 20 % verlängern kann.

Prozessoptimierung: Das Zwischenglühen in der Produktion verbessert die Duktilität von Molybdändraht und reduziert das Risiko der Versprödung bei hohen Temperaturen. Bei der Oberflächenreinigung werden Spuren von Verunreinigungen entfernt und die chemische Stabilität weiter verbessert. Chinesische Unternehmen stellen die Zuverlässigkeit von Molybdändraht und die Lebensdauer von Lampen und Laternen durch automatische Dichtungsgeräte und Online-Prüftechnologie sicher.

Obwohl der Markt für Molybdändraht für Glühlampen allmählich schrumpft, ist die Nachfrage nach dekorativer Beleuchtung stabil und es wird erwartet, dass er von 2025 bis 2030 immer noch 15 % bis 20 % des Marktes für Lampenmolybdändraht ausmachen wird.

5.2 Halogenlampen

Halogenlampen werden häufig in der Automobilbeleuchtung, in der Hausbeleuchtung und in der professionellen Beleuchtung eingesetzt, um die Lichtausbeute und Langlebigkeit durch Halogenzyklen zu verbessern. Molybdändraht wird als Elektrode, Stützdraht und Dichtungsmaterial in Halogenlampen eingesetzt und ist höheren Temperaturen und chemischen Umgebungen ausgesetzt.

5.2.1 Die Schlüsselrolle von Molybdändraht im Halogenkreislauf

Das Funktionsprinzip der Halogenlampe besteht darin, der Glühbirne eine kleine Menge Halogen gas hinzuzufügen, das mit den verdampften Wolframatomen zu einem flüchtigen Wolframhalogenid reagiert, das verhindert, dass sich Wolfram an der Innenwand der Glühbirne

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

ablagert, und Wolfram auf dem Glühfaden ablagert, um die Lebensdauer des Glühfadens zu verlängern. Molybdändraht spielt in diesem Kreislauf eine Schlüsselrolle.

Elektrodenfunktion: Der Molybdändraht fungiert als Elektrode, um den Strom in das Wolframfilament einzuleiten, das einer hohen Spannung und einem hohen Strom standhalten muss. Sein geringer spezifischer Widerstand und seine hohe Leitfähigkeit sorgen für eine effiziente Stromübertragung und reduzieren Energieverluste. Die Molybdändrahtelektrode muss auch mit dem Glas abgedichtet werden, um eine Hochspannungsumgebung im Inneren der Glühbirne aufrechtzuerhalten.

Stützfunktion: Der Molybdändraht stützt das Wolframfilament, um zu verhindern, dass es bei hohen Temperaturen und Halogenzyklen vibriert oder durchhängt. Molybdän-Lanthandraht mit einem Durchmesser von 0,05-0,3 mm wird bevorzugt, da seine Zugfestigkeit und Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen der von reinem Molybdändraht überlegen sind.

Unterstützung des Halogenkreislaufs: Molybdändraht steht in direktem Kontakt mit Halogengas und muss gegen chemische Korrosion beständig sein. Der Halogenzyklus erzeugt einen heißen Bereich in der Nähe der Innenwand der Glühbirne, und die Oberfläche des Molybdändrahts muss stabil sein und darf keine flüchtigen Verbindungen mit Jod oder Brom bilden. Studien haben gezeigt, dass Molybdändraht in einer Jodumgebung eine viel bessere Korrosionsrate aufweist als Wolfram.

Prozesseigenschaften: Der Molybdändraht für Halogenlampen wird hauptsächlich mit Molybdändraht gereinigt, und die Oberflächengüte und Korrosionsbeständigkeit werden durch elektrolytisches Polieren verbessert. Der Dichtungsprozess muss in der Produktion genau gesteuert werden, um die Luftdichtheit und die Stabilität des Halogengases zu gewährleisten.

Anwendungsszenarien: Halogenlampen werden häufig in Autoscheinwerfern, Haushaltsscheinwerfern und Bühnenbeleuchtung eingesetzt. Halogenlampen für die Automobilindustrie machen mehr als 50 % des Marktes für Halogenlampen aus, und die Zuverlässigkeitsanforderungen an Molybdändraht sind extrem hoch.

Die Stabilität und Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht im Halogenzyklus machen ihn zum Kernmaterial von Halogenlampen, und der Weltmarkt wird von Europa und China dominiert.

5.2.2 Hohe Temperaturbeständigkeit und chemische Korrosionsbeständigkeit

Die Arbeitstemperatur von Halogenlampen ist viel höher als die von Glühlampen, die Glühfadentemperatur kann 3000 °C erreichen, die Temperatur des Dichtungsteils beträgt 600-800 °C und der Molybdändraht muss eine ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit und chemische Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

Hohe Temperaturbeständigkeit: Molybdändraht muss die mechanische Festigkeit und strukturelle Stabilität bei 1500-2000 °C aufrechterhalten. Aufgrund der Dotierung von Lanthanoxid wird die Rekristallisationstemperatur von Molybdän-Lanthandraht auf 1800 °C erhöht, und die Zugfestigkeit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

kann bei 1500 °C 400 MPa erreichen, und die Kriechgeschwindigkeit ist niedriger als die von reinem Molybdändraht. Im Gegensatz dazu neigt reiner Molybdändraht bei 1500 °C zur Verformung. Die hervorragende Leistung von Molybdän-Lanthan-Draht gewährleistet die Zuverlässigkeit des Filamentträgers und der Elektrode im langfristigen Hochtemperaturbetrieb.

Chemische Beständigkeit: Halogengas ist bei hohen Temperaturen stark korrosiv, und Molybdändraht muss seiner Erosion widerstehen. Die chemische Stabilität von Molybdän ermöglicht es, in einer Halogenumgebung eine stabile Oberflächenstruktur zu bilden, ohne dass sich flüchtige Halogenide bilden. Gereinigter Molybdändraht weist weniger Oberflächenfehler auf, und die Korrosionsrate ist etwa 30 % niedriger als die von schwarzem Molybdändraht. Dotierter Molybdändraht verbessert die Korrosionsbeständigkeit zusätzlich, indem er eine korrosionsbeständige Oberflächenschicht bildet.

Prozessoptimierung: Die Korrosionsbeständigkeit wird durch Oberflächenpassivierung in der Produktion erhöht. Durch das Elektropolieren wird die Oberflächenrauheit auf Ra 0,2 µm reduziert, wodurch der Korrosionsauslösepunkt reduziert wird. Der Versiegelungsprozess muss die Glaszusammensetzung kontrollieren, um sicherzustellen, dass sie der Wärmeausdehnung des Molybdändrahts entspricht.

Lebensdauereffekt: Die hohe Temperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Molybdändraht bestimmen direkt die Lebensdauer der Halogenlampe. Studien haben gezeigt, dass die Lebensdauer von Halogenlampen mit Molybdän-Lanthan-Draht 4000 Stunden erreichen kann, was 50 % höher ist als die von reinen Molybdän-Glühlampen. Durch die Optimierung der Oberflächenqualität und der Dichtheit kann die Lebensdauer um weitere 10 % bis 20 % verlängert werden.

Molybdändraht für Halogenlampen macht mehr als 30 % des Marktes für Lampenmolybdändraht aus und wird aufgrund der Nachfrage nach Automobilbeleuchtung von 2025 bis 2030 voraussichtlich ein stabiles Wachstum beibehalten.

5.3 Gasentladungslampen

Gasentladungslampen erzeugen Licht durch Gasentladung, das eine hohe Lichtausbeute und eine lange Lebensdauer aufweist und in der gewerblichen, industriellen und Außenbeleuchtung weit verbreitet ist. Molybdändraht wird hauptsächlich als Elektrode und Dichtungsmaterial in Gasentladungslampen verwendet, die hohen Spannungen, hohen Temperaturen und komplexen chemischen Umgebungen standhalten müssen.

5.3.1 Molybdändraht für Hochdruckentladungslampen (HID).

Zu den Hochdruck-Gasentladungslampen gehören Halogen-Metaldampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen und Xenonlampen mit einer Lichtausbeute von 100-150 lm/W und werden häufig in der Straßenbeleuchtung, in Stadien und Industrieanlagen eingesetzt. Molybdändraht wird als Elektrode und Dichtungsmaterial in HID-Lampen eingesetzt und muss extrem hohe Leistungsanforderungen erfüllen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Elektrodenfunktion: Die HID-Lampe erzeugt Licht durch Lichtbogenentladung, und die Elektrode muss einer hohen Spannung und einem hohen Strom standhalten. Der hohe Schmelzpunkt und die hohe Leitfähigkeit von Molybdändraht sorgen dafür, dass er bei hohen Lichtbogentemperaturen nicht schmilzt oder erhebliche Verluste erleidet. Molybdän-Lanthandraht oder Molybdän-Rheniumdraht mit einem Durchmesser von 0,03-0,2 mm wird aufgrund seiner hervorragenden Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit und hohen Temperaturfestigkeit bevorzugt.

Dichtungsfunktion: Molybdändraht wird mit Keramik oder Glas abgedichtet, um eine Hochdruckumgebung im Inneren der Glühbirne aufrechtzuerhalten. Sein Wärmeausdehnungskoeffizient ähnelt dem von Aluminiumoxidkeramik und ermöglicht eine zuverlässige Abdichtung durch Übergangsmaterialien. Das Dichtungsteil muss der zyklischen Temperaturänderung von 500-700 °C standhalten, und die Luftdichtheit des Molybdändrahtes wirkt sich direkt auf die Lebensdauer der Lampe aus.

Leistungsanforderungen: HID-Lampenelektroden müssen Oberflächenkorrosion und Sputtern durch Lichtbögen widerstehen. Aufgrund der Dotierung von Lanthanoxid hat Molybdän-Lanthandraht eine um 20 % geringere Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit als reiner Molybdändraht. Die Duktilität von Molybdän-Rheniumdraht macht ihn für komplexe Elektrodenformen geeignet und verbessert die Lichtbogenstabilität.

Prozesseigenschaften: Der für die HID-Lampe verwendete Molybdändraht ist hauptsächlich gereinigter Molybdändraht, der die Oberflächengüte und Lichtbogenstabilität durch elektrolytisches Polieren verbessert. In der Produktion werden Präzisionsdrahtziehen und Hochtemperaturglühen eingesetzt, um die Drahtkonsistenz zu gewährleisten. Der Versiegelungsprozess wird in einer inerten Atmosphäre durchgeführt und der Temperaturgradient wird gesteuert, um Spannungsrisse zu vermeiden.

Anwendungsszenarien: Halogen-Metalldampflampen werden für die gewerbliche Beleuchtung verwendet, Natriumdampf-Hochdrucklampen werden für die Straßenbeleuchtung und Xenonlampen für Autoscheinwerfer und Projektionsgeräte verwendet. HID-Lampen machen 70 % des Marktes für Gasentladungslampen aus, und die Menge an Molybdändraht, die in Lampen verwendet wird, macht 25 % aus.

5.3.2 Elektrodenmaterialien für Leuchtstofflampen

Leuchtstofflampen regen Leuchtstoffe an, um Licht durch Quecksilberdampfentladung mit einer Lichtausbeute von 50-100 lm/W zu erzeugen, und werden häufig in der Büro-, Schul- und Heimbeleuchtung eingesetzt. Molybdändraht wird hauptsächlich als Elektrodenmaterial in Leuchtstofflampen verwendet und ist für die Einleitung und Aufrechterhaltung der Entladung verantwortlich.

Elektrodenfunktion: Leuchtstofflampenelektroden werden einer Niederspannungsentladung ausgesetzt, die durch thermische Elektronenemission ausgelöst wird. Als Elektrodensubstrat wird Molybdändraht in der Regel mit dem emittierenden Material beschichtet, um die Arbeitsfunktion zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

verringern und die Emissionseffizienz zu verbessern. Reiner Molybdändraht oder Molybdän-Lanthandraht mit einem Durchmesser von 0,05-0,2 mm ist eine gängige Wahl.

Leistungsanforderungen: Molybdändraht muss der chemischen Korrosion von Quecksilberdampf und dem Temperaturschock des Lichtbogens widerstehen. Die Korrosionsrate von reinem Molybdändraht in Quecksilberdampf entspricht den Anforderungen von Leuchtstofflampen. Molybdän-Lanthandraht eignet sich aufgrund seiner stärkeren Beständigkeit gegen Lichtbogenkorrosion für Hochleistungsleuchtstofflampen.

Prozesseigenschaften: Der in Leuchtstofflampen verwendete Molybdändraht besteht hauptsächlich aus gereinigtem Molybdändraht, und das Oberflächenoxid wird durch chemische Reinigung entfernt, um die Haftung der Emissionsbeschichtung zu gewährleisten. Die Elektrodenformung erfordert ein präzises Stanzen oder Wickeln, um den Elektrodenabstand zu kontrollieren und die Entladungsstabilität zu gewährleisten. Der Versiegelungsprozess muss auf Borosilikatglas abgestimmt sein, und die Versiegelungstemperatur wird auf 600-700 °C geregelt.

Anwendungsszenarien: Zu den Leuchtstofflampen gehören Einradröhren-Leuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen und Ringleuchtstofflampen. Kompaktleuchtstofflampen machen 50 % des Marktes für Leuchtstofflampen aus und werden häufig in der Hausbeleuchtung eingesetzt. Obwohl LED-Lampen nach und nach Leuchtstofflampen ersetzen, sind Leuchtstofflampen in Entwicklungsländern nach wie vor gefragt, und Molybdändraht macht 10 % des Molybdändrahts der Lampen aus.

Marktstatus: Der Markt für Leuchtstofflampen ist aufgrund von Umweltvorschriften geschrumpft, aber sein niedriger Kostenvorteil hat es ihm ermöglicht, in Asien und Afrika zu bleiben. China ist ein bedeutender Produzent von Molybdändraht für Leuchtstofflampen, der nach Indien und Südostasien exportiert wird.

Molybdändraht für Leuchtstofflampen hat eine niedrige technische Schwelle, aber die Qualität der Elektrodenbeschichtung und -versiegelung muss streng kontrolliert werden, um die Startleistung und Langlebigkeit zu gewährleisten.

5.4 Spezielle Beleuchtung

Spezialbeleuchtung ist für ein bestimmtes Spektrum, eine bestimmte Umgebung oder einen bestimmten Einsatz konzipiert, einschließlich Autoscheinwerfer, Projektionsleuchten, Bühnenbeleuchtung, UV-Licht, Infrarotlicht und medizinischer Beleuchtung. Molybdändraht muss den Anforderungen einer hohen Zuverlässigkeit, komplexer Formen und extremer Umgebungen in der Spezialbeleuchtung gerecht werden.

5.4.1 Scheinwerfer und Nebelscheinwerfer

Autoscheinwerfer und Nebelscheinwerfer erfordern eine hohe Helligkeit, lange Lebensdauer und Vibrationsfestigkeit, und Molybdändrähte werden hauptsächlich für Elektroden, Stützdrähte und Dichtungsmaterialien für Halogenlampen und Xenonlampen verwendet.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Funktion: Bei Halogenscheinwerfern fungiert der Molybdändraht als Elektrode und Stützdraht, hält einer Spannung von 12-24 V und einem Strom von 5-10 A stand und stützt den Wolframfaden. Bei Xenonlampen fungiert der Molybdändraht als Elektrode und wird einer Anlaufspannung von 20-30 kV und einer hohen Lichtbogentemperatur ausgesetzt. Molybdändraht muss auch mit Glas oder Keramik abgedichtet werden, um eine Hochdruckumgebung aufrechtzuerhalten.

Leistungsanforderungen: Kfz-Lampen müssen Vibrationen und Temperaturschwankungen standhalten. Molybdän-Lanthandraht und Molybdän-Rheniumdraht eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden Festigkeit und Duktilität bei hohen Temperaturen für Autolampen. Die Korrosionsbeständigkeit und Oberflächengüte des Lichtbogens sind entscheidend für die Stabilität des Lichtbogens.

Prozesseigenschaften: Bei dem für Autolampen verwendeten Molybdändraht handelt es sich meist um gereinigten Molybdändraht, der die Korrosionsbeständigkeit durch elektrolytisches Polieren verbessert. Die Elektroden müssen mit einer Toleranz von $\pm 0,005$ mm präzise angespritzt werden. Der Versiegelungsprozess erfordert den Einsatz automatisierter Geräte, um Luftdichtheit und Konsistenz zu gewährleisten.

Anwendungsszenario: Halogenscheinwerfer machen 60 % des Marktes für Automobilbeleuchtung aus, Xenonlampen 20 % und werden hauptsächlich in High-End-Modellen eingesetzt. Nebelscheinwerfer verwenden häufiger Halogenlampen, da sie den Nebel durchdringen müssen. Die weltweite Automobilproduktion treibt die Nachfrage nach Molybdändraht an, der 20 % des in Lampen verwendeten Molybdändrahts ausmacht.

Marktstatus: Europa und China sind die Hauptmärkte, und chinesische Unternehmen besetzen durch Kostenvorteile den Low-End-Markt.

5.4.2 Projektionslampen, Bühnenbeleuchtung und fotografische Lichter

Projektionslampen, Bühnenbeleuchtung und Fotolampen erfordern eine hohe Helligkeit, einen präzisen Strahl und eine lange Lebensdauer, und Molybdändraht wird hauptsächlich als Elektroden und Trägermaterial für HID-Lampen und Halogenlampen verwendet.

Funktion: In Projektionslampen fungiert Molybdändraht als HID-Lampenelektrode, die einer Anlaufspannung von 10-20 kV und einer hohen Lichtbogentemperatur ausgesetzt ist. Für die Bühnenbeleuchtung und fotografische Beleuchtung werden meist Halogenlampen oder Xenonlampen verwendet, und Molybdändrähte werden als Stützdrahte und Elektroden zur Unterstützung von Wolframfäden oder Führungslichtbögen verwendet. Molybdän-Lanthan-Draht oder Molybdän-Rhenium-Draht mit einem Durchmesser von 0,05-0,2 mm ist eine gängige Wahl.

Leistungsanforderungen: Hohe Lichtbogenstabilität und Temperaturwechselbeständigkeit sind erforderlich. Molybdän-Rheniumdraht eignet sich aufgrund seiner hervorragenden Duktilität für komplexe Elektrodenformen. Die Oberflächengüte reduziert Lichtbogenspritzer und verbessert die Lichtausbeute.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prozesseigenschaften: Molybdändraht für Projektionslampen erfordert ultrafeine Drahtziehung und Oberflächenpassivierung, um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern. Molybdändraht für Bühnenleuchten muss bei hohen Temperaturen gegläht werden, um die Kriechfestigkeit zu verbessern. Der Versiegelungsprozess muss mit hochreiner Aluminiumoxidkeramik abgestimmt werden, und die Temperatur wird auf 800-1000 °C geregelt.

Anwendungsszenarien: Projektionslampen werden für Bildungs- und kommerzielle Displays verwendet, Bühnenbeleuchtung wird für Theater und Konzerte verwendet, und Fotoleuchten werden für Film- und Fernsehaufnahmen verwendet. Die globale Marktgröße für professionelle Beleuchtung treibt die Nachfrage nach Molybdändraht an, der 10 % des in Lampen verwendeten Molybdändrahts ausmacht.

Marktstatus: Ausländische Unternehmen sind die Hauptlieferanten, und chinesische Unternehmen sind auf dem Low-End-Markt wettbewerbsfähig.

5.4.3 Ultraviolettlampen, Infrarotlampen und medizinische Beleuchtung

Ultraviolett-, Infrarot- und medizinische Beleuchtung sind spezifisch für ein bestimmtes Spektrum oder eine bestimmte Anwendung, und Molybdänfilamente müssen eine hohe chemische Stabilität und komplexe Umwelтанforderungen erfüllen.

UV-Lampe: Molybdändraht wird zur Sterilisation, Aushärtung und Wasseraufbereitung verwendet und wird als Elektrode verwendet, um der Entladung von Quecksilberdampf standzuhalten. Molybdän-Yttriumdraht oder Molybdän-Cerdraht wird aufgrund seiner starken Beständigkeit gegen Quecksilberkorrosion bevorzugt. Durch die Oberflächenbeschichtung kann die Lebensdauer weiter erhöht werden.

Infrarotlampe: zum Heizen und industriellen Trocknen verwendet, Molybdändraht als Stützdraht oder Elektrode, hält hohen Temperaturen von 2000-2500 °C stand. Molybdän-Lanthandraht eignet sich aufgrund seiner hervorragenden Kriechfestigkeit für Infrarotlampen. Die Oberflächengüte verbessert die Effizienz der Strahlung.

Medizinische Beleuchtung: Wie z. B. Operations- und Zahnlampen, die Halogenlampen oder HID-Lampen verwenden, Molybdändraht als Elektroden und Stützdrahte, erfordern eine hohe Zuverlässigkeit und genaue Lichtleistung. Die Duktilität von Molybdän-Rheniumdraht macht ihn für komplexe Elektrodendesigns geeignet.

Prozesseigenschaften: Molybdändraht für UV-Lampen erfordert präzises Drahtziehen und Oberflächenpassivierung, Molybdändraht für Infrarotlampen erfordert Hochtemperaturglühen und Molybdändraht für medizinische Lampen erfordert eine strenge Fehlererkennung. Der Versiegelungsprozess muss auf spezielles Glas abgestimmt werden, und die Temperatur wird auf 900-1100 °C geregelt.

Anwendungsszenarien: UV-Lampen werden in Krankenhäusern und bei der Wasseraufbereitung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

eingesetzt, Infrarotlampen werden für die industrielle Heizung eingesetzt und medizinische Beleuchtung wird in Operationssälen eingesetzt. Der Markt für Spezialleuchten hat eine hohe Wertschöpfung, und die Menge an Molybdändraht macht 10 % des in Lampen verwendeten Molybdändrahts aus.

Marktstatus: Ausländische Unternehmen sind die Hauptlieferanten, und chinesische Unternehmen steigen allmählich im Bereich Molybdändraht für UV-Lampen auf.

5.5 Weitere Anwendungsbereiche

Neben der Beleuchtung hat Molybdändraht auch wichtige Anwendungen in der Vakuumelektronik, im Erodier- und Hochtemperaturofen und beweist seine Vielseitigkeit.

5.5.1 Vakuumelektronik (Röhren, Röntgenröhren)

Vakuumelektronik nutzt die Bewegung von Elektronen im Vakuum, um eine Signalverstärkung oder Bildgebung zu erreichen, und Molybdändraht wird als Elektrode, Gate oder Trägermaterial verwendet.

Funktion: In Elektronenröhren fungiert Molybdändraht als Kathode oder Gate, um hohen Temperaturen und Elektronenbeschuss standzuhalten. In einer Röntgenröhre fungiert der Molybdändraht als Targetträger oder Elektrode und wird hohen Spannungen und Lichtbögen ausgesetzt. Molybdän-Lanthan-Draht oder Molybdän-Rhenium-Draht mit einem Durchmesser von 0,05-0,2 mm ist eine gängige Wahl.

Leistungsanforderungen: Hohe Leitfähigkeit, Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit und hohe Temperaturstabilität sind erforderlich. Molybdän-Rheniumdraht eignet sich aufgrund seiner hervorragenden Duktilität für komplexe Torkonstruktionen. Die Oberflächengüte reduziert die Ungleichmäßigkeit der Elektronenemission.

Prozesseigenschaften: Es ist ein ultrafeines Drahtziehen und elektrolytisches Polieren erforderlich, und der Siegelprozess ist auf Spezialglas abgestimmt. Der Vakuumgrad muss in der Produktion streng kontrolliert werden, um Verunreinigungen zu vermeiden.

Anwendungsszenarien: Röhren werden in HiFi und Radar eingesetzt, Röntgenröhren werden in der medizinischen Bildgebung und industriellen Inspektion eingesetzt. Die Marktgröße für elektronische Vakuumgeräte ist gering, und die Menge an Molybdändraht macht 5% des Gesamtmarktes aus.

5.5.2 Molybdändraht für die Funkenerosion (EDM).

Beim Erodieren werden Materialien durch Erodieren abgetragen, und Molybdändraht wird als Elektrodendraht verwendet, der im Formenbau und in der Präzisionsbearbeitung weit verbreitet ist.

Funktion: Molybdändraht wirkt als Entladungselektrode im Erodieren mit einem Durchmesser von 0,1-0,3 mm und wird mit hochfrequentem Impulsstrom beaufschlagt. Ihr hoher Schmelzpunkt und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

ihre Zugfestigkeit sorgen dafür, dass die Elektrode nicht schmilzt oder bricht.

Leistungsanforderungen: Hohe Leitfähigkeit und Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit sind erforderlich. Reiner Molybdändraht ist aufgrund seiner geringen Kosten die erste Wahl. Die Oberflächenbeschaffenheit verbessert die Entladestabilität.

Prozesseigenschaften: Präzises Drahtziehen und Glühen sind erforderlich, um die Konsistenz des Drahtes zu gewährleisten. Die kontinuierliche Drahtziehmaschine wird in der Produktion eingesetzt, um die Effizienz zu verbessern.

Anwendungsszenario: EDM wird in der Luft- und Raumfahrt, im Formenbau in der Automobilindustrie und in der Medizintechnik eingesetzt. Molybdändraht macht 30 % des Marktes für Erodiererelektroden aus, und China ist der Hauptproduzent.

5.5.3 Heizelemente und Thermolemente für Hochtemperaturöfen

Molybdändraht wird in Hochtemperaturöfen als Heizelemente oder Thermolementhüllen eingesetzt, um extrem hohen Temperaturen standzuhalten.

Funktion: Als Heizelement erzeugt Molybdändraht durch Joule-Erwärmung hohe Temperaturen, die einen hohen spezifischen Widerstand und eine hohe Temperaturbeständigkeit erfordern. Als Thermolement-Schutzmantel schützt Molybdändraht das Thermolement vor Korrosion. Reiner Molybdändraht oder Molybdän-Lanthandraht mit einem Durchmesser von 0,5-2,0 mm ist eine gängige Wahl.

Leistungsanforderungen: Oxidationsbeständigkeit und Kriechbeständigkeit sind erforderlich. Die Kriechgeschwindigkeit von Molybdän-Lanthandraht bei 1800°C ist geringer als die von reinem Molybdändraht, der für den Langzeitbetrieb geeignet ist.

Prozesseigenschaften: Es ist ein grobes Drahtziehen und Hochtemperaturglühen erforderlich, und die Oberfläche kann mit einer Antioxidationsschicht beschichtet werden. Die Korngröße muss während der Produktion kontrolliert werden.

Anwendungsszenarien: Hochtemperaturöfen werden zum Sintern und zur Wärmebehandlung von Materialien eingesetzt, Thermolemente werden zur Temperaturmessung eingesetzt. Molybdändraht wird in diesem Bereich verwendet und macht 5% des Gesamtmarktes aus.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Herstellung von Molybdändraht für die Beleuchtung ist ein hochpräziser High-Tech-Prozess, der mehrere Glieder von der Rohstoffverarbeitung bis zur Prüfung des Endprodukts umfasst und sich auf fortschrittliche Spezialgeräte stützt. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Arten von Geräten, die für die Herstellung von Molybdändraht für die Beleuchtung erforderlich sind, einschließlich Rohstoffhandhabungsgeräte, Schmelz- und Formanlagen, Drahtziehenanlagen, Oberflächenbehandlungsgeräte sowie Inspektions- und Qualitätskontrollgeräte ausführlich erörtert. Jeder Abschnitt bietet eine eingehende Analyse der Funktionen, technischen Parameter, Prozesseigenschaften und Rolle der Ausrüstung bei der Herstellung von Molybdändraht für die Beleuchtung und bietet eine umfassende technische Erklärung in Kombination mit den weltweit führenden Ausrüstungslieferanten und industriellen Praktiken, um die Nachfrage der Beleuchtungsindustrie nach Hochleistungs-Molybdändraht-Produktionsanlagen zu befriedigen.

6.1 Molybdändraht-Rohmaterialverarbeitungsanlagen für Lampen

Die Rohstoffverarbeitung ist der erste Schritt bei der Herstellung von Molybdändraht für die Beleuchtung, der das Mahlen von Molybdänpulver, das Sieben, das Mischen von dotierten Materialien und die Reinigung von Rohstoffen umfasst, was sich direkt auf die Erfolgsrate des nachfolgenden Prozesses und die Qualität des Molybdändrahts auswirkt. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse unter drei Aspekten: Mahlen und Sieben, Dotieren, Mischen und Reinigen.

6.1.1 Mahn- und Siebanlagen für Molybdänpulver

Die Partikelgröße und die Morphologie des Molybdänpulvers sind entscheidend für die Dichte des gesinterten Rohlings und die Leistung des Molybdändrahtes, und die Schleif- und Siebanlage wird verwendet, um hochreines Molybdänpulver mit einheitlicher Partikelgröße (Partikelgröße 1-5 μm ,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Reinheit $\geq 99,95\%$) herzustellen.

Mahlanlagen: Zu den häufig verwendeten Geräten gehören Planetenkugelmühlen und Strahlmühlen. Planetenkugelmühlen (z.B. die deutsche Fritsch Pulverisette-Serie) zerkleinern grobes Molybdänpulver (Partikelgröße 10-50 μm) auf 1-5 μm mit einer Mahlzeit von 2-6 Stunden und einer Drehzahl von 200-400 U/min mittels einer hochdrehenden Mahlkugel (aus Zirkonoxid oder Hartmetall). Strahlmühlen (wie z. B. die NETZSCH-Strahlmühle in Deutschland) verwenden einen Hochgeschwindigkeits-Luftstrom (Druck 0,5-1 MPa), um zu kollidieren und zu zerkleinern, was für die Herstellung von sphärischem oder nahezu sphärischem Molybdänpulver geeignet ist, um die Sinterleistung zu verbessern. Der Mahlprozess wird in einer inerten Atmosphäre (z.B. Argon) oder im Vakuum durchgeführt, um Oxidation zu vermeiden.

Siebanlage: Vibrationssiebmaschine und Windsichter werden eingesetzt, um die Partikelgrößenverteilung von Molybdänpulver zu kontrollieren. Vibrationssiebmaschinen (z.B. Retsch AS 200 in Deutschland) trennen Pulver unterschiedlicher Partikelgrößen durch Mehrschichtsiebe (Porengröße 1-10 μm), wobei der Siebwirkungsgrad mehr als 95 % erreichen kann. Ein Windeobolikator (z. B. Hosokawa Alpine, Deutschland) kann den D50 bei 2-3 μm und das D90/D10-Verhältnis bei 2-3 genau steuern, um die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße durch Luftzerlegung zu gewährleisten. Das Gerät sollte mit Edelstahl oder Keramik ausgekleidet sein, um eine Metallkontamination zu vermeiden.

Prozesseigenschaften: Die Mahlanlage muss mit einem Kühlsystem (Wasserkühlung oder Gefrieren von flüssigem Stickstoff) ausgestattet sein, um die Mahltemperatur ($<50\text{ }^{\circ}\text{C}$) zu kontrollieren und eine Oxidation oder Agglomeration von Molybdänpulver zu verhindern. Die Screening-Ausrüstung muss mit einem Online-Partikelgrößenanalysator (z. B. einem Laser-Partikelgrößenanalysator) ausgestattet sein, um die Partikelgrößenverteilung in Echtzeit zu überwachen. Fortschrittliche Mahl- und Siebanlagen können die Pulverausbeute auf mehr als 98 % steigern.

Auswirkungen auf die Anwendung: Eine gleichmäßige Partikelgröße und sphärische Morphologie des Molybdänpulvers können die Dichte des gesinterten Rohlings (95 %-98 %) erhöhen, Porosität und Einschlüsse reduzieren und hochwertige Rohstoffe für das anschließende Drahtziehen liefern.

6.1.2 Misch- und Homogenisierungsanlagen für Dopan

Die gleichmäßige Verteilung von dotierten Materialien (z. B. Lanthanoxid, Rhenium) ist der Schlüssel zur Herstellung von Hochleistungs-Molybdändrähten (z. B. Molybdän, Molybdän-Rhenium-Drähte), und Misch- und Homogenisierungsanlagen werden verwendet, um die Gleichmäßigkeit der dotierten Elemente zu gewährleisten.

Mischrüstung: Ultraschall-Dispergierer und Planetenmischer werden häufig zum Nassmischen verwendet. Der Ultraschalldispergierer (z. B. Hielscher UP400St in den Vereinigten Staaten) dispergiert Molybdänpulver und dotierte Materialien (z. B. Lanthanoxid, Partikelgröße 50-200 nm) in einem flüssigen Medium (z. B. Ethanol) durch hochfrequente Vibrationen (20-40 kHz), und die Mischzeit beträgt 1-2 Stunden und die Gleichmäßigkeitsabweichung beträgt $<0,01\%$.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Planetenmischer (z.B. EIRICH RV02 aus Deutschland) erreichen das Nass- oder Trockenmischen durch multidirektionales Mischen (50-100 U/min) und eignen sich für die Großserienfertigung. Das Trockenmischen verwendet einen V-Typ- oder Doppelkegelmischer (wie das Produkt der China Nantong Mixing Equipment Factory), und die Mischzeit beträgt 4-8 Stunden, was für die Rheniumpulverdotierung geeignet ist.

Homogenisierungsanlage: Ein Sprühtrockner (z. B. der deutsche Büchi B-290) wird für die Pulvertrocknung nach dem Nassmischen mit einer Eintrittstemperatur von 200-250 °C und einer Austrittstemperatur von 80-100 °C verwendet, um ein homogenes Verbundpulver herzustellen. Durch die Sprühtrocknung kann die Agglomeration von dotierten Partikeln vermieden werden, und der Partikelabstand wird auf 0,5-2 µm geregelt.

Prozesseigenschaften: Die Mischanlage muss in einer sauberen Umgebung (Klasse ISO 7) betrieben werden, um Staubbelastung zu vermeiden. Der Ultraschall-Dispergierer eignet sich für kleine Chargen mit hochpräziser Dotierung, und der Sprühtrockner eignet sich für die Großproduktion. Die Homogenisierungsanlage muss mit einem Inline-Probenahmesystem ausgestattet sein, um die Gleichmäßigkeit der Dotierung durch Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) zu überprüfen.

Anwendung Wirkung: Eine gleichmäßige Dotierungsverteilung kann die Zugfestigkeit und Kriechfestigkeit von Molybdändraht bei hohen Temperaturen (20%-30% bei 1500°C) verbessern.

6.1.3 Anlagen zur Aufbereitung von Rohstoffen

Rohstoffreinigungsgeräte werden verwendet, um Verunreinigungen (wie Eisen, Silizium, Sauerstoff) in Molybdänpulver zu entfernen, um sicherzustellen, dass die Reinheit mehr als 99,95 % erreicht.

Wasserstoff-Reduktionsöfen: Rohrförmige Wasserstoff-Reduktionsöfen (wie die Ausrüstung des Zementkarbidwerks Zhuzhou in China) werden verwendet, um Molybdäntrioxid (MoO_3) zu hochreinem Molybdänpulver zu reduzieren. Die Reduktionstemperatur beträgt 600-1000 °C, die Reinheit des Wasserstoffs $\geq 99,999$ %, der Taupunkt < -40 °C und die Reduktionszeit 4-8 Stunden. Das Gerät muss mit einer mehrstufigen Heizzone ausgestattet sein, um den Temperaturgradienten (± 5 °C) zu kontrollieren und Sauerstoffrückstände zu vermeiden.

Chemische Reinigungsgeräte: Der Beizbehälter (aus korrosionsbeständigem PTFE) wird verwendet, um Oxide und Fette auf der Oberfläche von Molybdänpulver zu entfernen, das üblicherweise verwendete Reinigungsmittel ist verdünnte Salpetersäure (HNO_3 , Konzentration 5%-10%) oder Natriumhydroxid (NaOH , Konzentration 2%-5%), Reinigungstemperatur 40-60 °C, Zeit 5-10 Minuten. Nach dem Waschen mit entionisiertem Wasser abspülen und vakuumtrocknen (100-150°C).

Prozesseigenschaften: Der Wasserstoff-Reduktionsofen muss mit einem Abgasnachbehandlungssystem (z. B. einem Absorptionsturm) ausgestattet sein, um nicht umgesetztes Wasserstoff- und Oxidgas zu behandeln, das den Anforderungen des Umweltschutzes entspricht. Chemische Reinigungsgeräte müssen mit einem Abfallentsorgungssystem (neutralisierende Sedimentation) ausgestattet sein, um die Einhaltung der RoHS-Richtlinie zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

gewährleisten. Die Reinigungsanlage kann den Verunreinigungsgehalt auf weniger als 0,01 % reduzieren.

Auswirkungen auf die Anwendung: Hochreines Molybdänpulver kann Einschlüsse in gesinterten Rohlingen reduzieren und die chemische Stabilität und die elektrischen Eigenschaften von Molybdändraht verbessern.

6.2 Schmelz- und Formanlagen für Molybdändraht für Lampen

Schmelz- und Umformanlagen werden verwendet, um Molybdänpulver in einen Rohling mit hoher Dichte umzuwandeln, der die Grundlage für das anschließende Drahtziehen mit Vakuumsintern, Heißpressen, Schmieden und Walzen bildet.

6.2.1 Vakuum-Sinterofen und Atmosphärensinterofen

Der Sinterofen ist die Kernausrüstung für die Aufbereitung von Molybdänrohlingen mit hoher Dichte, die in Vakuumsinterofen und Atmosphärensinterofen unterteilt ist.

Vakuum-Sinterofen: Wie die VIGA-Serie von ALD Vacuum Technologies in Deutschland beträgt der Arbeitsvakuumgrad $<10^{-3}$ Pa, die Temperatur 1800-2200 °C und die Haltezeit 4-8 Stunden. Im Ofen kommen Molybdän- oder Wolfram-Heizelemente zum Einsatz, die hohen Temperaturen standhalten und die Rohlinge nicht verschmutzen. Nach dem Sintern kann die Dichte des Rohlings 95%-98% erreichen und die Korngröße beträgt 10-50 µm. Das Gerät muss mit einem hochpräzisen Temperaturregelungs-System (± 5 °C) und einer Vakuumpumpe (mechanische Pumpe + Diffusionspumpe) ausgestattet sein, um eine sauerstofffreie Umgebung zu gewährleisten.

Atmosphärensinterofen: wie der Wasserstoff-Sinterofen des Chenhua Electric Furnace in Shanghai, China, mit einer Arbeitstemperatur von 2300-2500 °C, einem Wasserstoffgasdurchfluss von 1 bis 2 m³ / h und einem Taupunkt von <-40 °C, geeignet zum Sintern von dotiertem Molybdändraht (wie Molybdän-Lanthan-Draht). Im Ofen wird eine Molybdänabschirmung verwendet, um den Wärmestrahlungsverlust zu reduzieren. Der Atmosphärensinterofen verhindert die Verflüchtigung von Dotierungselementen und sorgt für eine stabile Leistung.

Prozesseigenschaften: Das Vakuumsintern eignet sich für reine Molybdänrohlinge, und der Atmosphärensinterofen ist für dotierten Molybdändraht geeignet. Beide müssen mit einem Abgasnachbehandlungssystem zur Behandlung von Wasserstoff oder flüchtigen Oxiden ausgestattet sein. Der fortschrittliche Sinterofen realisiert einen automatischen Betrieb durch SPS-Steuerung, um manuelle Fehler zu reduzieren.

Auswirkung: Rohlinge mit hoher Dichte verringern das Risiko von Rissen und Drahtbruch während des Drahtziehprozesses und verbessern die Ausbeute.

6.2.2 Heißpress- und Mehrwegeschmiedeanlagen

Heißpress- und Schmiedeanlagen werden eingesetzt, um den gesinterten Rohling weiter zu verdichten, Porosität zu beseitigen und die mechanischen Eigenschaften zu verbessern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Heißpresse: Wie die Heißpresse von Sodick in Japan beträgt der Arbeitsdruck 50-100 MPa, die Temperatur 1500-1800 °C und der Vakuumgrad $<10^{-2}$ Pa. Die Anlage verfügt über ein Hydrauliksystem, und die Genauigkeit der Druckregelung beträgt $\pm 0,1$ MPa, was für die Herstellung von Rohlingen mit hoher Dichte ($>99\%$) geeignet ist. Die Heißpresse muss mit Molybdän- oder Graphitformen ausgestattet sein, die hohen Temperaturen standhalten und den Rohling nicht verschmutzen.

Multidirektionale Schmiedeanlagen: Wie die multidirektionale Schmiedemaschine der deutschen SMS Group beträgt die Schmiedetemperatur 1200-1600 °C und die Verformungsrate 0,1-0,5 s⁻¹. Die Maschine veredelt die Körner (von 50 µm auf 20-30 µm) und verbessert die Zähigkeit des Knüppels durch mehrachsiges kollaboratives Schmieden. Nach dem Schmieden muss die Oberfläche des Rohlings poliert werden, um den Oxidzunder zu entfernen.

Prozesseigenschaften: Die Heißpresse eignet sich für kleine Rohlinge (Durchmesser < 50 mm), und das multidirektionale Schmieden eignet sich für großformatige Stangen (Durchmesser 50-100 mm). Das Gerät muss mit einem Kühlsystem (wassergekühlt oder luftgekühlt) ausgestattet sein, um den Temperaturgradienten des Knüppels (± 10 °C) zu steuern. Das automatische Steuerungssystem kann die Produktionseffizienz um 10 % bis 15 % verbessern.

Auswirkungen auf die Anwendung: Das Warmpressen und Schmieden kann die Zugfestigkeit des Rohlings (20 % Anstieg bei Raumtemperatur) und die Verarbeitbarkeit erheblich verbessern und bildet die Grundlage für das Ziehen von ultrafeinen Drähten.

6.2.3 Präzisionswalzwerke

Präzisionswalzwerke werden eingesetzt, um geschmiedete Rohlinge zu Stangen oder Platten mit einem Durchmesser von 5-10 mm zu verarbeiten, die für das anschließende Drahtziehen geeignet sind.

Gerätetyp: Wie das Präzisionswalzwerk von Kocks in Deutschland, die Arbeitstemperatur beträgt 1000-1400 °C und die Walzgeschwindigkeit 1-5 m/s. Die Maschine walzt in mehreren Durchgängen (10%-15% Verformung pro Zeit) und ist mit Hartmetallwalzen (Härte HRC 80-90) ausgestattet, um die Maßgenauigkeit (Toleranz $\pm 0,01$ mm) zu gewährleisten.

Prozesseigenschaften: Das Walzwerk muss mit einem Heizsystem (Induktionserwärmung oder Widerstandserwärmung) ausgestattet sein, um die Hochtemperaturduktilität des Knüppels zu erhalten. Oberflächenpoliergeräte (z. B. Bandpolierer) werden verwendet, um Oxidzunder zu entfernen, und die Rauheit wird bei Ra 1-2 µm geregelt. Die automatisierte Walzlinie kann eine kontinuierliche Produktion erreichen und die Effizienz um 20 % steigern.

Auswirkungen auf die Anwendung: Das Präzisionswalzen verbessert die Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität der Stange und reduziert den Verschleiß der Ziehwerkzeuge.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

6.3 Drahtziehenanlagen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Drahtziehenanlage ist die Kernausrüstung für das Strecken von Molybdänstäben zu Filamenten, die das Ziehen von Mehrlagendrahten, das Werkzeugdesign, das Schmiersystem und den Glühprozess umfassen, der die Maßgenauigkeit und die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht direkt bestimmt.

6.3.1 Mehrzug-Drahtziehmaschine und kontinuierliche Drahtziehenanlage

Die Drahtziehmaschine wird verwendet, um die Stange zu Molybdändraht mit einem Durchmesser von 0,01-2 mm zu dehnen, der in eine Mehrpass-Drahtziehmaschine und eine kontinuierliche Drahtziehmaschine unterteilt ist.

Mehrgang-Ziehmaschine: wie z.B. die deutsche Niehoff MMH-Serie, geeignet für das Schrappen (0,5-2 mm Durchmesser) und das Feinziehen (0,05-0,5 mm). Die Anlage ist mit mehreren Sätzen von Drahtziehwerkzeugen (5-20 Durchgänge) ausgestattet, wobei jedes Mal der Durchmesser um 10%-20% reduziert wird und die Ziehgeschwindigkeit 1-5 m/min beträgt. Die Drahtziehmaschine verwendet einen Servomotor, um die Spannung ($\pm 0,5$ N) zu steuern und so die Gleichmäßigkeit des Drahtes zu gewährleisten.

Kontinuierliche Ziehanlagen: wie die kontinuierliche Ziehanlage von Frigerio in Italien, die für das Feinstziehen geeignet ist (Durchmesser 0,01-0,05 mm). Die Maschine integriert das Ziehen, Glühen und Wickeln in mehreren Durchgängen mit Geschwindigkeiten von 0,1-0,5 m/min und Toleranzen $\pm 0,001$ mm. Durch kontinuierliches Ziehen kann die Produktionseffizienz um bis zu 30 % gesteigert werden.

Prozesseigenschaften: Die Drahtziehmaschine muss mit einer Online-Zugspannungserkennung und einem Drahtbruchalarmsystem ausgestattet sein, um Drahtbruch zu verhindern. Das Ziehen von ultrafeinen Drähten muss in einer Umgebung mit konstanter Temperatur (20-25 °C) durchgeführt werden, um den Effekt der Wärmeausdehnung zu reduzieren. Die Anlage verfügt über einen hohen Automatisierungsgrad, wodurch manuelle Eingriffe reduziert werden können.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die kontinuierliche Drahtziehenanlage eignet sich für die Großserienproduktion mit einer Ausbeute von mehr als 90 % und eignet sich für Molybdändraht für Halogenlampen und HID-Lampen.

6.3.2 Hochpräzise Formen und Schmiersysteme

Die Matrize und das Schmiersystem sind das Herzstück des Ziehprozesses, was sich direkt auf die Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit des Molybdändrahtes auswirkt.

Hochpräzise Form: Es wird Wolframkarbid (WC) oder polykristalliner Diamant (PKD) verwendet, wie z. B. die PKD-Form von Sumitomo in Japan. Die Toleranz der Werkzeugbohrung $\pm 0,001$ mm, der Eintrittswinkel beträgt 8-12° und die Länge der Reduzierzone ist optimiert, um die Ziehspannung zu reduzieren. Die Aperturgenauigkeit des Feinstziehwerkzeugs beträgt $\pm 0,0005$ mm, die Oberflächenrauheit $Ra < 0,05$ μm .

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schmiersystem: Eine automatische Sprühvorrichtung (z. B. das deutsche Schumag-System) wird zum Sprühen von Graphitemulsion oder Molybdändisulfid (MoS_2)-Schmiermittel mit einem Reibungskoeffizienten von 0,1-0,2 verwendet. Für das Ziehen von ultrafeinen Drähten werden ölbasierte Schmierstoffe (z. B. Polyethylenglykol) verwendet, wobei die Durchflussmenge auf 0,1-0,5 l/min geregelt wird. Das Schmiersystem muss mit einer Filtervorrichtung ausgestattet sein, um eine Kontamination durch Verunreinigungen zu verhindern.

Prozesseigenschaften: Die Form muss regelmäßig poliert und ausgetauscht werden (nach dem Ziehen alle 100-200 km), um die Oberflächengüte zu gewährleisten. Das Schmiersystem sorgt für eine gleichmäßige Abdeckung mit geschlossenem Regelkreis und reduziert Kratzer auf der Oberfläche. Die Finite-Elemente-Analyse (FEA) wird eingesetzt, um das Werkzeugdesign zu optimieren und die Zeichnungsstabilität zu verbessern.

Anwendungsauswirkungen: Hochpräzise Werkzeuge und Schmiersysteme können die Oberflächenfehlerrate von Molybdändraht auf weniger als 0,5 % reduzieren, was für Hochleistungslampen wie Autoscheinwerfer geeignet ist.

6.3.3 Glühofen und Temperieranlage

Der Glühofen wird verwendet, um die Kaltverfestigung während des Ziehprozesses zu beseitigen und die Duktilität und Zähigkeit des Molybdändrahtes wiederherzustellen.

Glühofen: Wie der kontinuierliche Glühofen von Koyo in Japan beträgt die Arbeitstemperatur 800-1300 °C, der Wasserstoffdurchfluss 0,5-1 m³/h und der Taupunkt <-40 °C. Im Ofen werden Molybdän- oder Wolfram-Heizelemente verwendet, und die Genauigkeit der Temperaturregelung beträgt ± 5 °C. Das Zwischenglühen (800-1000 °C, Halten für 10-30 Sekunden) wird für das Schrumpfen und Feinziehen verwendet, und das Endglühen (900-1200 °C, Halten für 5-15 Sekunden) wird verwendet, um die Leistung zu optimieren.

Temperaturregelungssystem: PID-Regler und Thermoelement (z. B. Thermoelement vom Typ K, Genauigkeit ± 1 °C) werden verwendet, um die Temperatur im Ofen in Echtzeit zu überwachen. Das Kühlsystem (wassergekühlt oder luftgekühlt) regelt die Abkühlgeschwindigkeit (10-50°C/s), um ein Überwachsen der Körner zu vermeiden.

Prozesseigenschaften: Der Glühofen muss mit einem Online-Atmosphärenüberwachungssystem ausgestattet sein, um die Reinheit des Wasserstoffs sicherzustellen. Der kontinuierliche Glühofen kann den kontinuierlichen Durchgang von Draht realisieren und den Wirkungsgrad um 20% erhöhen. Dotierter Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht) erfordert eine höhere Glüh Temperatur (1000-1300 °C), um die Stabilität der dotierten Elemente zu gewährleisten.

Auswirkungen auf die Anwendung: Der präzise Glühprozess kann die Bruchdehnung von Molybdändraht auf 15 % bis 20 % erhöhen, das Risiko eines Drahtbruchs verringern und eignet sich für die Herstellung von ultrafeinem Molybdändraht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

6.4 Oberflächenbehandlungsanlagen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Oberflächenbehandlungsgeräte werden verwendet, um die Oberflächengüte, die Korrosionsbeständigkeit und die optischen Eigenschaften von Molybdändraht zu verbessern, einschließlich elektrolytischem Polieren, chemischer Reinigung und Abscheidung der Oberflächenbeschichtung.

6.4.1 Elektrolytische Polier- und chemische Reinigungsgeräte

Elektrolytische Polier- und chemische Reinigungsgeräte werden verwendet, um Oxide, Fette und Ziehrückstände von der Oberfläche von Molybdändraht zu entfernen, um gereinigten Molybdändraht vorzubereiten.

Elektrolytische Poliergeräte: wie z. B. die deutsche elektrolytische Poliermaschine KAMMERER mit NaOH-Elektrolyt (Konzentration 5%-10%), Stromdichte von 0,5-2 A/cm², Polierzeit von 10-30 Sekunden. Das Gerät ist mit Edelstahlelektroden und einem zirkulierenden Filtersystem ausgestattet, um die Reinheit des Elektrolyten zu gewährleisten. Nach dem Polieren erreicht die Oberflächenrauheit des Molybdändrahtes Ra 0,1-0,5 µm und das Reflexionsvermögen wird auf 60%-70% erhöht.

Chemische Reinigungsausrüstung: Zum Beispiel verwendet der Beiztank der Nantong Cleaning Equipment Factory in China eine HNO₃-HF-Mischung (Verhältnis 3:1, Konzentration 5%-10%), Reinigungstemperatur 40-60 °C, Zeit 1-3 Minuten. Das Gerät ist mit einer PTFE-Auskleidung und einem Abfallbehandlungssystem (Neutralisation und Fällung) ausgestattet, das den Anforderungen des Umweltschutzes entspricht.

Prozesseigenschaften: Das elektrolytische Polieren eignet sich für High-End-Molybdändraht (z. B. HID-Lampen), und die chemische Reinigung eignet sich für die Großserienproduktion. Beide müssen mit einem deionisierten Wasserspül- und Vakuumtrocknungssystem (100-150 °C) ausgestattet sein, um Restkontaminationen zu vermeiden. Das Abfallentsorgungssystem stellt die Einhaltung der RoHS-Richtlinie sicher.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Oberflächenbehandlungsausrüstung kann die Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit und Leitfähigkeit von Molybdändraht verbessern und die Lebensdauer der Lampe um 10 % bis 20 % verlängern.

6.4.2 Anlagen zur Abscheidung von Oberflächenbeschichtungen

Oberflächenbeschichtungsanlagen werden verwendet, um antioxidative oder korrosionsbeständige Beschichtungen (z. B. Aluminiumoxid Al₂O₃, Molybdänsilizid MoSi₂) abzuscheiden, um die Leistung von Molybdändraht in rauen Umgebungen zu verbessern.

CVD-Ausrüstung: wie der CVD-Ofen für angewandte Materialien in den Vereinigten Staaten mit einer Arbeitstemperatur von 800-1200 °C und einem Vakuum von 10^{-2} Pa. Es wird zum Abscheiden von Aluminiumoxid- (0,1-1 µm Dicke) oder Molybdänsilizid-Beschichtungen (0,5-2 µm) mit einer Abscheiderate von 0,1-0,5 µm/min verwendet. Das Gerät ist mit einem

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Gasregelsystem ausgestattet (genaue Steuerung der Durchflussmenge von CH₄, SiH₄ usw.).

PVD-Ausrüstung: wie z. B. Magnetron-Sputteranlage von Leybold in Deutschland mit einer Arbeitstemperatur von 500-800 °C, geeignet für die Abscheidung von Beschichtungen mit hoher Gleichmäßigkeit. Das Sputtertarget besteht aus hochreinem Molybdän oder Aluminium, und die Abscheidungsrate beträgt 0,05 bis 0,2 µm/min. PVD-Geräte eignen sich für Molybdändrähte mit komplexen Formen.

Prozesseigenschaften: CVD eignet sich für dicke Beschichtungen, PVD eignet sich für dünne Beschichtungen und hohe Gleichmäßigkeit. Das Gerät muss mit einem Online-Dickenüberwachungssystem (z. B. Quarzoszillator) ausgestattet sein, um eine gleichbleibende Schichtdicke zu gewährleisten. Die Haftung der Beschichtung wird durch Zugversuch (Abplatzungsspannung > 50 MPa) nachgewiesen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Beschichtungsanlage kann die Oxidationstemperatur von Molybdändraht auf mehr als 1500 °C erhöhen, was für Infrarotlampen und UV-Lampen geeignet ist und die Lebensdauer um 20 % bis 30 % verlängert.

6.4.3 Prüfgeräte für die Oberflächenqualität

Geräte zur Prüfung der Oberflächenqualität werden verwendet, um die Rauheit, Defekte und Beschichtungsqualität von Molybdändraht zu bewerten.

Oberflächenrauheitsprüfgerät: Wie Mitutoyo SJ-410 in Japan, der Messbereich beträgt Ra 0,01-10 µm und die Genauigkeit ± 0,001 µm. Es dient zur Prüfung der Oberflächenqualität von gereinigtem Molybdändraht (Ra 0,1-0,5 µm) und schwarzem Molybdändraht (Ra 0,5-2,0 µm).

Lasermikroskop: wie z.B. das deutsche Zeiss LSM 800, Vergrößerung 100-1000x, zur Detektion von Oberflächenkratzern, Rissen und Oxidrückständen. Das Gerät ist mit einer 3D-Bildgebungsfunktion ausgestattet, um die Oberflächentopographie zu analysieren.

Prozesseigenschaften: Die Prüfgeräte müssen in das Online-Überwachungssystem der Produktionslinie integriert werden, um die Daten zur Oberflächenqualität in Echtzeit zu erhalten. Durch automatisierte Inspektion kann die Inspektionseffizienz um bis zu 50 % gesteigert werden.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Oberflächenqualitätsprüfung kann die Ausfallrate auf weniger als 0,5 % reduzieren und so die Lichtbogenstabilität und optische Leistung von Molybdändraht in Leuchten gewährleisten.

6.5 Prüf- und Qualitätskontrollgeräte für Molybdändraht für die Beleuchtung

Inspektions- und Qualitätskontrollgeräte werden verwendet, um die Mikrostruktur, die mechanischen Eigenschaften, die chemische Zusammensetzung und die Anpassungsfähigkeit von Molybdändraht an die Umwelt zu bewerten und sicherzustellen, dass das Produkt den Standards der Beleuchtungsindustrie entspricht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

6.5.1 Mikroskope (optisch, elektronisch) und Oberflächenanalysatoren

Mikroskope und Oberflächenanalysatoren werden eingesetzt, um die Mikrostruktur und Oberflächeneigenschaften von Molybdändrähten zu analysieren.

Optisches Mikroskop: wie das japanische Olympus BX53M, Vergrößerung 50-1000x, für die Beobachtung von Korngröße (10-50 μm) und Oberflächenfehlern (wie Risse, Porosität). Das Gerät ist mit einer Bildanalysesoftware ausgestattet, um die Kornverteilung automatisch zu zählen.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): z.B. FEI Quanta 650 in den USA, ausgestattet mit Energiespektroskopie (EDS), zur Analyse der dotierten Elementverteilung (z.B. Lanthanoxid-Partikelabstand 0,5-2 μm) und der Oberflächenkorrosionstopographie. Mit einer Auflösung von bis zu 1 nm eignet er sich für die Inspektion von ultrafeinen Molybdändrähten.

Oberflächenanalysatoren: wie XPS (Röntgenphotoelektronenspektroskopie) von Bruker, Deutschland, für die Analyse der Oberflächenoxidzusammensetzung (z. B. MoO_2 , MoO_3) und der Beschichtungsschemie. Die Detektionstiefe beträgt 1-10 nm und die Genauigkeit $\pm 0,1$ eV.

Prozesseigenschaften: Das Mikroskop muss mit einer Probenvorbereitungsausrüstung (z. B. einer Ionenpoliermaschine) ausgestattet sein, um eine glatte Oberfläche zu gewährleisten. REM und XPS werden im Ultrahochvakuum ($<10^{-6}$ Pa) mit einer Detektionszeit von 10-30 Minuten betrieben.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die mikroskopische Analyse kann die Kornstruktur und die Dotierungsgleichmäßigkeit von Molybdändraht optimieren, die Hochtemperaturleistung und die Korrosionsbeständigkeit verbessern.

6.5.2 Zugprüfmaschinen und Härteprüfgeräte

Zugprüfmaschinen und Härteprüfgeräte werden eingesetzt, um die mechanischen Eigenschaften von Molybdändrähten zu bewerten.

Zugprüfmaschine: Wie die amerikanische Instron 5982 beträgt der Prüfbereich 0-100 kN und die Genauigkeit $\pm 0,5\%$. Es wird verwendet, um die Zugfestigkeit (800-1000 MPa bei Raumtemperatur, 200-400 MPa bei 1500 $^{\circ}\text{C}$) und die Bruchdehnung (10 %-25 %) von Molybdändraht zu messen. Das Gerät kann Umgebungen mit hohen Temperaturen (bis zu 2000 $^{\circ}\text{C}$) simulieren.

Härteprüfer: Wie z. B. der deutsche Zwick Vickers-Härteprüfer, der Prüfbereich beträgt HV 0,1-1000 und die Genauigkeit $\pm 0,5$ HV. Es dient zur Beurteilung der Oberflächenhärte von Molybdändraht (ca. HV 200-250 für reinen Molybdändraht und HV 250-300 für dotierten Molybdändraht).

Prozesseigenschaften: Der Zugversuch muss mit Hochtemperaturvorrichtungen und Atmosphärenschutzvorrichtungen (Wasserstoff oder Argon) ausgestattet sein, und der Härtetest muss die Eindringtiefe ($<0,01$ mm) kontrollieren. Automatisierte Prüfsysteme können die Effizienz um bis zu 20 % steigern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anwendung Impact: Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften stellt die mechanische Stabilität und Ermüdungsbeständigkeit des Molybdändrahtes in der Leuchte sicher und erfüllt die Anforderungen von Halogen- und HID-Lampen.

6.5.3 Zusammensetzungsanalytoren (ICP, RFA)

Zusammensetzungsanalytoren werden verwendet, um die chemische Zusammensetzung und den Gehalt an Verunreinigungen von Molybdändrähten zu bestimmen.

ICP-OES: wie z. B. PerkinElmer Optima 8300 in den USA mit einer Nachweisgrenze von 0,01 ppm für die Analyse von Verunreinigungen (z. B. Fe, Si, C) in Molybdänpulver und Molybdändraht. Die Erkennungszeit beträgt 5-10 Minuten und die Genauigkeit $\pm 0,1\%$.

RFA: z. B. deutscher Bruker S8 Tiger, Nachweisbereich 0,01 %-100 %, zur Analyse des Gehalts und der Verteilung von Dotierungselementen (z. B. La, Re). Das Gerät ist mit einer zerstörungsfreien Prüffunktion ausgestattet und eignet sich für die Online-Überwachung.

Prozesseigenschaften: ICP muss in der Probe gelöst werden (HNO₃-HF-Lösung), RFA ist eine zerstörungsfreie Detektion, die für die Analyse des fertigen Produkts geeignet ist. Beide erfordern eine regelmäßige Kalibrierung, um die Erkennungsgenauigkeit zu gewährleisten.

Auswirkungen auf die Anwendung: Durch die Analyse der Zusammensetzung kann der Verunreinigungsgehalt unter 0,01 % kontrolliert werden, um die chemische Stabilität und die elektrische Leistung von Molybdändraht sicherzustellen.

6.5.4 Prüfgeräte für Umweltsimulationen

Messgeräte für Umweltsimulationen werden verwendet, um die Leistung von Molybdändraht in Hochtemperatur-, Korrosiv- und Lichtbogenumgebungen zu bewerten.

Hochtemperatur-Testofen: Wie der Hochtemperaturofen von Nabertherm in Deutschland beträgt der Temperaturbereich 500-2000 °C und die Genauigkeit ± 5 °C, der zur Simulation der Arbeitsumgebung von Lampen und Laternen (z. B. Halogenlampen 1500 °C) verwendet wird. Argon- oder Halogengas kann in den Ofen eingebracht werden, um die Oxidationsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit zu testen.

Lichtbogenprüfgeräte: wie der Lichtbogensimulator des Shanghai Electro-Optical Research Institute in China mit einer Spannung von 1-30 kV und einem Strom von 0,1-100 A, der zur Prüfung der Lichtbogenstabilität von Molybdändraht verwendet wird. Das Gerät ist mit einer Hochgeschwindigkeitskamera ausgestattet, die Lichtbogenverschiebungen (<0,1 mm) aufzeichnet.

Prozesseigenschaften: Die Umweltsimulationsanlage muss mit einem Datenerfassungssystem ausgestattet sein, um Temperatur, Strom und Korrosionsrate aufzuzeichnen. Der Testzyklus beträgt 1-100 Stunden, wobei die Lebensdauer der Lampe (1000-20.000 Stunden) simuliert wird.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Auswirkungen auf die Anwendung: Umwelttests belegen die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von Molybdändraht in realen Anwendungen und stellen sicher, dass die Anforderungen an HID- und UV-Lampen erfüllt werden.



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 7 Chemische und ausländische Normen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Als wichtiges Material in der Beleuchtungsindustrie hat Molybdändraht für die Beleuchtung einen direkten Einfluss auf die Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Lampen und Laternen. Um die Produktkonsistenz und Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt zu gewährleisten, wurde im In- und Ausland eine Reihe von Normen formuliert, die die chemische Zusammensetzung, die Maßhaltigkeit, die mechanischen Eigenschaften und die Umweltschutzanforderungen von Molybdändraht abdecken. In diesem Kapitel werden die nationalen Normen, internationale Normen, der Vergleich und die Umrechnung zwischen Normen, Umweltvorschriften und Industrie- und Unternehmensspezifikationen von Molybdändraht für die Beleuchtung ausführlich erörtert und eine umfassende technische Analyse bereitgestellt, um die Anforderungen der Beleuchtungsindustrie an eine standardisierte Produktion in Kombination mit spezifischen Standardinhalten und Anwendungsszenarien zu erfüllen.

7.1 Inländische Normen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Als weltweit größter Produzent von Molybdändraht hat China eine Reihe von nationalen Standards (GB/T) formuliert, um die Produktion und Anwendung von Molybdändraht zu regulieren. Diese Normen legen die Rohstoffe, die Verarbeitung, die Eigenschaften und Prüfverfahren von Molybdändraht für die Beleuchtung detailliert fest und eignen sich für Anwendungen wie Glühlampen, Halogenlampen und Gasentladungslampen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

7.1.1 GB/T 3462-2017

GB/T 3462-2017 ist Chinas nationales Normal für Molybdänstäbe und Molybdänplatten, das für die Herstellung von Molybdändraht für die Beleuchtung geeignet ist und eine Grundlage für den anschließenden Drahtziehprozess bietet.

Anwendungsbereich: Die Norm legt die chemische Zusammensetzung, Größe, Oberflächengüte und mechanischen Eigenschaften von Molybdänstäben und Molybdänplatten fest, die zum Sintern, Schmieden und Walzen von Rohlingen geeignet sind und indirekt bei der Herstellung von Molybdändraht für die Beleuchtung verwendet werden.

Technische Anforderungen:

Chemische Zusammensetzung: Molybdängehalt $\geq 99,95\%$, Gesamtverunreinigungen (wie Fe, Ni, Si) $< 0,05\%$. Dotiertes Molybdän (z. B. Molybdän-Lanthan) erfordert einen Gehalt an klaren Dotierungselementen (z. B. La_2O_3 0,3 %-1,0 %).

Maßhaltigkeit: Molybdänstab Durchmesser 5-100 mm, Toleranz $\pm 0,05$ mm; Die Dicke der Platte beträgt 2-50 mm und die Toleranz $\pm 0,1$ mm.

Oberflächenqualität: keine Risse, Oxidzunder, Rauheit $\text{Ra} \leq 3,2 \mu\text{m}$.

Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit (Raumtemperatur) ≥ 600 MPa, Bruchdehnung $\geq 10\%$.

Detektionsmethode: Die chemische Zusammensetzung wird mittels ICP-OES (Induktiv gekoppelte Plasmaspektroskopie) analysiert, die Abmessungen werden mit Mikrometer- oder Laserentfernungsmessern erfasst und die Oberflächenqualität durch visuelle und mikroskopische Inspektion überprüft.

Auswirkungen auf die Anwendung: Molybdändrahtrohlinge für Lampen benötigen eine hohe Dichte (≥ 95 % theoretische Dichte) und eine gleichmäßige Mikrostruktur, GB/T 3462-2017 stellt die Qualität des Rohlings sicher und reduziert das Risiko von Brüchen beim Drahtziehen.

7.1.2 GB/T 4191-2015

GB/T 4191-2015 befasst sich direkt mit der Leistung und den Spezifikationen von Molybdändraht und eignet sich für die Herstellung und Akzeptanz von Molybdändraht für die Beleuchtung.

Anwendungsbereich: Die Norm umfasst reinen Molybdändraht und dotierten Molybdändraht (wie z.B. Molybdän-Lanthandraht, Molybdän-Rheniumdraht) für Glühlampen, Halogenlampen, Gasentladungslampen usw.

Technische Anforderungen:

Chemische Zusammensetzung: Der Molybdängehalt von reinem Molybdändraht $\geq 99,95$ %, und der dotierte Molybdändraht muss mit dem Anteil der dotierten Elemente (z. B. Re 1 %-5 %) gekennzeichnet werden.

Größenbereich: Durchmesser 0,01-2 mm, Toleranzen $\pm 0,002$ mm (ultrafein) bis $\pm 0,01$ mm (grob).

Oberflächenqualität: $\text{Ra} \leq 0,5 \mu\text{m}$ Rauheit von gereinigtem Molybdändraht, $\text{Ra} \leq 2,0 \mu\text{m}$ von schwarzem Molybdändraht, keine Risse, Kratzer oder Oxidrückstände.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit bei Raumtemperatur 800-1200 MPa, Hochtemperatur-Zugfestigkeit (1500°C) \geq 200 MPa, Bruchdehnung 10%-20%.

Prüfverfahren: Die Maßgenauigkeit wird mit einem Lasermessschieber gemessen, die mechanischen Eigenschaften werden mit einer Zugprüfmaschine gemessen und die Oberflächenqualität wird mit einem optischen Mikroskop und einem Rauheitsmessgerät erfasst.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Norm gewährleistet die mechanische Stabilität und die elektrischen Eigenschaften von Molybdändraht in Hochtemperaturumgebungen und ist für die hohen Anforderungen von Halogen- und HID-Lampen geeignet.

7.1.3 GB/T 4182-2000

GB/T 4182-2000 schreibt die Methode zur Analyse der chemischen Zusammensetzung von Molybdän und Molybdänlegierungen vor, um die Reinheit der Rohstoffe und Endprodukte von Molybdändraht für die Beleuchtung sicherzustellen.

Anwendungsbereich: Die Norm gilt für die Prüfung der chemischen Zusammensetzung von Molybdänpulver, Molybdänstab und Molybdändraht, einschließlich der Hauptelemente (Mo) und Verunreinigungen (Fe, Ni, Si, C, O usw.).

Analysemethoden:

ICP-OES: Nachweis von Verunreinigungselementen, Sensitivität von 0,01 ppm, geeignet für die Analyse von Fe, Ni, Si und anderen Spurenelementen.

Gasanalysator: Detektion des O-, N-, H-Gehalts, Genauigkeit \pm 0,001 %, um sicherzustellen, dass der Sauerstoffgehalt 0,005 % $<$.

Gravimetrische Methode und Titrationsmethode: Bestimmung des Molybdängehalts mit einem Fehler von \pm 0,01%.

Prozessmerkmale: Die Analyse wurde in einer sauberen Umgebung (ISO-Klasse 7) durchgeführt und die Probenvorbereitung war säurelöslich (HNO₃-HF-Gemisch). Die Norm schreibt vor, dass das Gerät regelmäßig kalibriert wird, um eine konsistente Prüfung zu gewährleisten.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die hochpräzise chemische Analyse gewährleistet die chemische Stabilität von Molybdändraht und verhindert Korrosion der Korngrenzen, die durch Verunreinigungen bei hohen Temperaturen verursacht wird. Der Standard wird von Chinas Prüfinstituten für Nichteisenmetalle häufig verwendet.

7.1.4 Sonstige einschlägige nationale Normen

Zusätzlich zu den oben genannten Standards hat China auch andere Standards in Bezug auf Molybdändraht für die Beleuchtung formuliert:

GB/T 3461-2017 "Molybdänpulver": spezifiziert die Partikelgröße (1-5 μ m), die Reinheit (\geq 99,95%) und die Morphologie (kugelförmig oder nahezu kugelförmig) von Molybdänpulver, das für

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdändrahtrohstoffe für Lampen geeignet ist.

GB/T 17792-1999 "Prüfverfahren für verarbeitete Produkte aus Molybdän und Molybdänlegierungen": Prüfverfahren für Größe, Oberflächenqualität und mechanische Eigenschaften, wie z. B. Ultraschallfehlererkennung und Röntgenprüfung.

YS/T 357-2006 "Dotierter Molybdänstreifen": Für dotierte Molybdän-Rohlinge (wie Molybdän, Lanthan, Molybdän-Rhenium) werden der Gehalt und die Gleichmäßigkeit der Verteilung von dotierten Elementen angegeben.

Auswirkungen auf die Anwendung: Diese Normen ergänzen die Anforderungen von GB/T 3462 und GB/T 4191 zu einem vollständigen Standardisierungssystem, das die Qualitätskontrolle von Molybdändraht vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt sicherstellt. Chinesische Unternehmen können die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte verbessern, indem sie eine Kombination aus mehreren Standards befolgen.

7.2 Internationale Normen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Internationale Normen bieten eine einheitliche Spezifikation für den weltweiten Handel und die Anwendung von Molybdändraht für die Beleuchtung, die die Vereinigten Staaten (ASTM), die Internationale Organisation für Normung (ISO) und Japan (JIS) sowie andere Normungssysteme abdeckt.

7.2.1 ASTM B387 Standardspezifikation für Stäbe, Stangen und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen

ASTM B387 ist eine Norm für Molybdän und Molybdänlegierungen, die von der American Society for Testing and Materials entwickelt wurde und auf dem internationalen Markt weit verbreitet ist.

Anwendungsbereich: Die Norm umfasst Stäbe, Bänder und Drähte aus Molybdän und Molybdänlegierungen (reines Molybdän, Molybdän-Lanthan, Molybdän-Rhenium) für Beleuchtungs-, Elektronik- und Hochtemperaturanwendungen.

Technische Anforderungen:

Chemische Zusammensetzung: Molybdängehalt $\geq 99,95\%$, Verunreinigungen (wie Fe $<0,01\%$, Si $<0,005\%$) werden streng kontrolliert. Für die Dotierung von Molybdän sollte das Dotierungsverhältnis (z.B. La₂O₃ 0,3%-1,0%) angegeben werden.

Maßhaltigkeit: Drahtdurchmesser 0,01-3 mm, Toleranz $\pm 0,002$ mm (ultrafeiner Draht) bis $\pm 0,015$ mm (dicker Draht).

Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit bei Raumtemperatur 700-1100 MPa, Zugfestigkeit bei hoher Temperatur (1500°C) ≥ 150 MPa, Bruchdehnung 10%-25%.

Oberflächenqualität: Ra $\leq 0,4$ μm für gereinigten Molybdändraht, Ra $\leq 2,5$ μm für schwarzen Molybdändraht, keine Risse oder Oxide.

Nachweismethode: Die chemische Zusammensetzung nimmt ICP-MS an, die Größe wird mit dem Lasermessschieber getestet, die mechanischen Eigenschaften werden mit der Zugprüfmaschine getestet und die Oberflächenqualität wird durch REM getestet.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Auswirkungen auf die Anwendung: ASTM B387 wird von europäischen und amerikanischen Leuchtenherstellern häufig übernommen, um die Zuverlässigkeit von Molybdändraht in Halogen- und HID-Lampen zu gewährleisten. Die hohen Anforderungen an die Normen haben die technologische Aufrüstung chinesischer Unternehmen gefördert.

7.2.2 ISO 22447 Erzeugnisse aus Molybdän und Molybdänlegierungen

ISO 22447 ist eine Norm für Molybdänprodukte, die von der Internationalen Organisation für Normung entwickelt wurde und auf den Weltmarkt anwendbar ist.

Anwendungsbereich: Die Norm deckt Molybdändraht, -stäbe, -platten und andere Produkte ab und eignet sich für die Beleuchtungs-, Luft- und Raumfahrt- und Elektronikindustrie.

Technische Anforderungen:

Chemische Zusammensetzung: Molybdängehalt $\geq 99,95\%$, Gesamtgehalt an Verunreinigungen $< 0,05\%$. Dotiertes Molybdän (z. B. Molybdän-Rhenium) erfordert klare Elementanteile und Gleichmäßigkeit.

Größenbereich: Drahtdurchmesser 0,02-2 mm, Toleranz $\pm 0,003$ mm.

Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit bei Raumtemperatur 750-1200 MPa, Zugfestigkeit bei hoher Temperatur (1500°C) ≥ 200 MPa.

Oberflächenqualität: keine Risse und Porosität auf der Oberfläche, Rauheit $Ra \leq 0,5 \mu\text{m}$ (gereinigter Molybdändraht).

Nachweismethode: Die chemische Zusammensetzung ist RFA oder ICP-OES, die Größe wird durch einen Lasermessschieber und die Oberflächenqualität durch ein optisches Mikroskop ermittelt.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die ISO 22447 ist international anwendbar und eignet sich für exportorientierte Unternehmen, um sicherzustellen, dass die Produkte den Anforderungen des globalen Leuchtenmarktes entsprechen.

7.2.3 JIS H 4461

JIS H 4461 ist ein japanischer Industriestandard für die Leistungs- und Produktionsanforderungen von Molybdändraht und Molybdändraht.

Geltungsbereich: Die Norm gilt für reinen Molybdändraht und dotierten Molybdändraht für Beleuchtung und elektronische Geräte.

Technische Anforderungen:

Chemische Zusammensetzung: Molybdängehalt $\geq 99,95\%$, Verunreinigungen (wie Fe, Ni) $< 0,01\%$.

Maßhaltigkeit: Drahtdurchmesser 0,01-2 mm, Toleranz $\pm 0,002$ mm (ultrafein).

Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit bei Raumtemperatur 800-1100 MPa, Bruchdehnung 10%-20%.

Oberflächenqualität: $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$ für gereinigten Molybdändraht und $2,0 \mu\text{m}$ für schwarzen Molybdändraht \leq .

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Nachweismethode: Die chemische Zusammensetzung nimmt ICP-OES an, die Größe durchläuft den Lasermessschieber und die mechanischen Eigenschaften durchlaufen die Zugprüfmaschine.

Auswirkungen auf die Anwendung: JIS H 4461 wird von japanischen Beleuchtungsunternehmen häufig verwendet, insbesondere für Molybdändraht für Projektionslampen und Autoscheinwerfer. Der japanische Markt stellt hohe Anforderungen an Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität, was die Entwicklung der hochpräzisen Drahtziehtechnologie vorangetrieben hat.

7.2.4 Sonstige ISO-Normen

Andere internationale Normen enthalten ebenfalls Leitlinien für die Herstellung und Anwendung von Molybdändraht für die Beleuchtung:

DIN EN 10204 (Deutschland): Legt die Anforderungen an die Qualitätszertifizierung und Inspektionsdokumentation von Molybdändraht fest, die für Produkte gelten, die auf den europäischen Markt exportiert werden.

IEC 60357: Norm der Internationalen Elektrotechnischen Kommission für Leistungsanforderungen an Molybdändraht für Halogen- und Gasentladungslampen, wie z. B. Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit und Dichtungszuverlässigkeit.

ASTM E3171: Chemische Analysemethoden für Molybdän und Molybdänlegierungen, ergänzend zu den Anforderungen von ASTM B387.

Auswirkungen auf die Anwendung: Diese Normen bieten eine technische Grundlage für den internationalen Handel mit Molybdändraht und fördern die Standardisierung der globalen Lieferkette. Europäische und japanische Unternehmen sichern die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte in High-End-Märkten wie der Automobilbeleuchtung, indem sie eine Kombination aus mehreren Standards befolgen.

7.3 Vergleich und Umrechnung zwischen verschiedenen Standards von Molybdändraht für die Beleuchtung

Der Unterschied zwischen inländischen und ausländischen Normen kann den internationalen Handel und die Anwendung von Molybdändraht für die Beleuchtung beeinträchtigen, und die gegenseitige Anerkennung sollte durch den Vergleich und die Umrechnung technischer Parameter erreicht werden.

7.3.1 Vergleich der technischen Parameter in- und ausländischer Normen (Reinheit, Größe, Leistung)

Im Folgenden finden Sie einen Vergleich der Parameter der Hauptkriterien:

Reinheit:

GB/T 4191-2015: Molybdängehalt $\geq 99,95$ %, Verunreinigungen $< 0,05$ %.

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

ISO 22447: Molybdängehalt $\geq 99,95$ %, Verunreinigungen $< 0,05$ %.

JIS H 4461: Molybdängehalt $\geq 99,95$ %, Fe, Nickel $< 0,01$ %.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Analyse: Die Reinheitsanforderungen in- und ausländischer Normen sind konsistent, und ASTM B387 ist strenger für bestimmte Verunreinigungen (wie Fe, Si), was für High-End-Lampen (wie HID-Lampen) geeignet ist.

Maßhaltigkeit:

GB/T 4191-2015: Durchmesser 0,01-2 mm, Toleranz $\pm 0,002$ mm (ultrafein).

ASTM B387: Durchmesser 0,01-3 mm, Toleranzen $\pm 0,002$ mm (ultrafein) bis $\pm 0,015$ mm (grob).

ISO 22447: Durchmesser 0,02-2 mm, Toleranz $\pm 0,003$ mm.

JIS H 4461: Durchmesser 0,01-2 mm, Toleranz $\pm 0,002$ mm.

Analyse: JIS H 4461 und GB/T 4191 haben höhere Toleranzanforderungen für ultrafeine Glühfäden und sind für Projektionslampen und UV-Lampen geeignet. ASTM B387 deckt einen breiteren Bereich von Durchmessern ab, um eine Vielzahl von Anwendungen abzudecken.

Mechanische Eigenschaften:

GB/T 4191-2015: Zugfestigkeit bei Raumtemperatur 800-1200 MPa, Hochtemperatur (1500°C) ≥ 200 MPa.

ASTM B387: 700-1100 MPa bei Raumtemperatur, ≥ 150 MPa bei hoher Temperatur.

ISO 22447: 750-1200 MPa bei Raumtemperatur, ≥ 200 MPa bei hohen Temperaturen.

JIS H 4461: 800-1100 MPa bei Raumtemperatur.

Analyse: GB/T 4191 und ISO 22447 erfordern eine höhere Hochtemperaturleistung und sind für Halogen- und HID-Lampen geeignet. ASTM B387 hat einen breiteren Leistungsbereich und eignet sich für eine Vielzahl von Anwendungsszenarien.

7.3.2 Standard-Umrechnungsverfahren (z. B. Toleranzen, Einheiten mechanischer Eigenschaften)

Umrechnung von Toleranzen: In- und ausländische Normen werden in Millimetern (mm) angegeben, und die Toleranzen werden direkt verglichen. Die Grobdrahttoleranz von ASTM B387 ($\pm 0,015$ mm) kann die Anforderungen von $\pm 0,01$ mm nach GB/T 4191 mit hochpräzisen Drahtziehgeräten erfüllen.

Umrechnung der mechanischen Eigenschaften Einheiten: Die Zugfestigkeit wird in MPa ausgedrückt und die Bruchdehnung wird in Prozent (%) ausgedrückt, was mit in- und ausländischen Normen übereinstimmt. Die Hochtemperatur-Testtemperatur (1500 °C) muss gleichmäßig kalibriert werden, um sicherzustellen, dass die Testbedingungen konsistent sind.

Umwandlung der chemischen Zusammensetzung: Der Gehalt an Verunreinigungen wird in Massenprozent (%) oder ppm ausgedrückt, 1 % = 10.000 ppm. GB/T 4182 und ASTM E3171 sind miteinander kompatibel, und die ICP-OES-Ergebnisse können direkt verglichen werden.

Prozesseigenschaften: Bei der Umrechnung ist die Genauigkeit der Prüfmittel (z.B. Genauigkeit des Lasermessschiebers $\pm 0,001$ mm) und der Kalibrierstandards zu berücksichtigen. Kleine Unterschiede zwischen den Standards können durch Prozessoptimierungen, wie z. B. Anpassungen der Glühtemperatur, ausgeglichen werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

7.3.3 Analyse der gegenseitigen Anerkennung zwischen internationalen und nationalen Normen

Gegenseitige Anerkennung: GB/T 4191-2015 ist in Bezug auf Reinheit, Größe und mechanische Eigenschaften in hohem Maße kompatibel mit ASTM B387 und ISO 22447, und die gegenseitige Anerkennung beträgt mehr als 90%. JIS H 4461 erfordert aufgrund der gestiegenen Anforderungen an die Oberflächenqualität zusätzliche Polierprozesse.

Unterschiede: ASTM B387 stellt strengere Anforderungen an bestimmte Verunreinigungen (z. B. Fe) und verlangt hochreine Rohstoffe. GB/T 4191 stellt höhere Anforderungen an ultrafeine Drahttoleranzen und erfordert Präzisionsdrahtziehenanlagen. Die Vielseitigkeit der ISO 22447 macht sie auf dem globalen Markt akzeptabler.

Auswirkungen auf die Anwendung: Chinesische Unternehmen können ihre Exportmärkte (z. B. Europa, die Vereinigten Staaten) erweitern, indem sie sowohl die GB/T- als auch die ASTM/ISO-Standards erfüllen. Die Analyse der gegenseitigen Anerkennung hilft, Produktionsprozesse zu optimieren und Zertifizierungskosten zu senken. Plansee in Österreich und H.C. Starck in den USA haben die Multi-Standard-Zertifizierung bestanden, um sicherzustellen, dass die Produkte universell einsetzbar sind.

7.4 Umweltschutz und RoHS-Vorschriften für Molybdändraht für die Beleuchtung

Umweltvorschriften haben strenge Anforderungen an die Herstellung und Anwendung von Molybdändraht für die Beleuchtung gestellt, die die Kontrolle von Schwermetallen, Abgasemissionen und eine umweltfreundliche Herstellung umfassen.

7.4.1 Anforderungen der RoHS-Richtlinie (EU 2011/65/EU) an Molybdändrahtwerkstoffe

Die RoHS-Richtlinie (Restriction of Hazardous Substances) schränkt gefährliche Stoffe in Elektro- und Elektronikprodukten ein und gilt für Molybdändraht für Beleuchtung, Lampen und Laternen.

Anforderungen: Molybdändraht muss 6 Schadstoffe wie Blei (Pb), Quecksilber (Hg), Cadmium (Cd) usw. mit einem Gehalt von $< 0,1 \%$ (1000 ppm) und Cadmium $< 0,01 \%$ (100 ppm) begrenzen. Verunreinigungen von Molybdändrähten (wie Fe, Ni) müssen mit ICP-OES getestet werden, um die Einhaltung der RoHS-Anforderungen sicherzustellen.

Auswirkungen auf den Prozess: Hochreines Molybdänpulver ($\geq 99,95 \%$) muss in der Produktion verwendet werden, um eine Verschmutzung der Rohstoffe zu vermeiden. Die chemische Reinigung (HNO_3 -HF) und das Elektropolieren (NaOH) erfordern ein Abfallentsorgungssystem, um Schwermetallemissionen zu vermeiden.

Auswirkungen auf die Anwendung: RoHS-konformer Molybdändraht kann auf den EU-Markt gelangen und wird häufig in Halogenlampen und HID-Lampen verwendet. Europäische Leuchtenhersteller wie Philips verlangen von ihren Lieferanten ein RoHS-Konformitätszertifikat.

7.4.2 China RoHS (Maßnahmen zur Kontrolle der Umweltverschmutzung durch elektronische Informationsprodukte)

China RoHS (GB/T 26572-2011) ist Chinas Standard zur Beschränkung gefährlicher Stoffe in elektronischen Produkten, ähnlich wie die EU-RoHS.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anforderungen: Begrenzen Sie 6 Arten von gefährlichen Stoffen, und die Gehaltsanforderungen entsprechen der EU-RoHS. Für Molybdändraht muss ein Prüfbericht für gefährliche Stoffe vorgelegt werden, in dem der Nutzungszeitraum des Umweltschutzes (in der Regel 10-50 Jahre) angegeben ist.

Auswirkungen auf den Prozess: Hersteller müssen ein Gefahrstoffmanagementsystem einrichten und RFA oder ICP-MS verwenden, um Rohstoffe und Fertigprodukte zu erkennen. Abgase und flüssige Abfälle müssen gemäß GB 25466-2010 (Emissionsnorm) durch Absorptionsturm und Neutralisation und Fällung behandelt werden.

Auswirkungen auf die Anwendung: Chinas RoHS hat die grüne Transformation des inländischen Beleuchtungsmarktes gefördert, und Lieferanten von Molybdändraht müssen Konformitätszertifikate vorlegen, um die Anforderungen der häuslichen und gewerblichen Beleuchtung zu erfüllen.

7.4.3 Einhaltung der Umweltvorschriften bei der Herstellung von Molybdändraht (Schwermetalle, Abgasemissionen)

Schwermetallkontrolle: Die Reinigungslösung ($\text{HNO}_3\text{-HF}$) und der Elektrolyt (NaOH) bei der Herstellung von Molybdändraht können Spuren von Schwermetallen (wie Cr und Ni) enthalten, die ausgefällt und gefiltert werden müssen, und die Einleitungskonzentration beträgt $< 0,1 \text{ mg/L}$ gemäß GB 8978-1996 (Abwassereinleitungsnorm).

Abgasemission: Beim Wasserstoffreduktions- und Sinterprozess entsteht eine geringe Menge an Oxidgas (z. B. MoO_3), das vom Abgasabsorptionsturm behandelt werden muss (Laugenabsorption), und die Emissionskonzentration beträgt $< 0,05 \text{ mg/m}^3$, was der GB 16297-1996 (Luftschadstoffemissionsnorm) entspricht.

Prozessmerkmale: Unternehmen müssen mit Umweltschutzausrüstung ausgestattet sein (z. B. Neutralisationssystem für Abfallflüssigkeiten, Abgasreinigungsturm), was die Produktionskosten um etwa 5 % bis 10 % erhöht. Automatisierte Überwachungssysteme erkennen Emissionsparameter in Echtzeit, um die Einhaltung der Vorschriften zu gewährleisten.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Einhaltung von Umweltvorschriften ist eine notwendige Voraussetzung für den Eintritt in den europäischen und amerikanischen Markt, und chinesische Unternehmen (wie Jinduicheng Molybdän) haben ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit durch Umweltzertifizierung verbessert.

7.4.4 Anforderungen an umweltfreundliche Produktion und nachhaltige Entwicklung

Umweltfreundliche Fertigung: Setzen Sie energiesparende Geräte (z. B. energiesparende Sinteröfen, die den Energieverbrauch um 15 % senken) und Abfallrecyclingtechnologien (Recyclingquote von bis zu 30 %) ein, um den Ressourcenverbrauch zu senken. Sprühtrocknung und kontinuierliche Drahtziehenanlagen können die Produktionseffizienz um 10 % bis 20 % steigern.

Nachhaltigkeit: Förderung der Transformation der Molybdändrahtproduktion hin zu einer Kreislaufwirtschaft, z. B. durch Recycling, Ziehen, Bruchdraht und Sinterabfälle, und Senkung der Rohstoffkosten. Zertifizierungen für eine umweltfreundliche Fertigung, wie z. B. ISO 14001, werden zu einem Wettbewerbsvorteil.

Auswirkungen auf die Anwendung: Umweltfreundliche Fertigung erfüllt die Nachhaltigkeitsanforderungen globaler Kunden und treibt das Wachstum des Anteils chinesischer

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Unternehmen in High-End-Märkten wie der Automobilbeleuchtung voran.

7.5 Industrienormen und Unternehmensspezifikationen für Molybdändraht für die Beleuchtung

Neben nationalen und internationalen Normen verfeinern Branchenverbände und unternehmensinterne Vorgaben die Anforderungen an Molybdändraht für die Beleuchtung weiter.

7.5.1 Standards der China Nonferrous Metals Industry Association

Die China Nonferrous Metals Industry Association (YS/T-Norm) hat eine Reihe von Normen für Molybdän und Molybdänlegierungen formuliert, die die nationalen Normen ergänzen.

YS/T 357-2006 "Dotierter Molybdänstreifen": legt die chemische Zusammensetzung, Größe und Eigenschaften von dotiertem Molybdän (wie Molybdän, Lanthan, Molybdän-Rhenium) und die Gleichmäßigkeitsabweichung von dotierten Elementen ($<0,01\%$) fest.

YS / T 659-2007 "Molybdändraht-Testverfahren": spezifiziert die RFA-Analyse und das mechanische Hochtemperatur-Testverfahren für dotierten Molybdändraht, der für Lampenmolybdändraht geeignet ist.

Auswirkungen auf die Anwendung: Der YS/T-Standard legt mehr Wert auf die Leistung von dotierten Molybdändrähten und ist für Halogenlampen und HID-Lampen geeignet. Chinesische Unternehmen (z.B. Xiamen Honglu) optimieren den Dopingprozess durch den YS/T-Standard, um die Wertschöpfung ihrer Produkte zu erhöhen.

7.5.2 Interne Spezifikationen für die Beleuchtungsindustrie

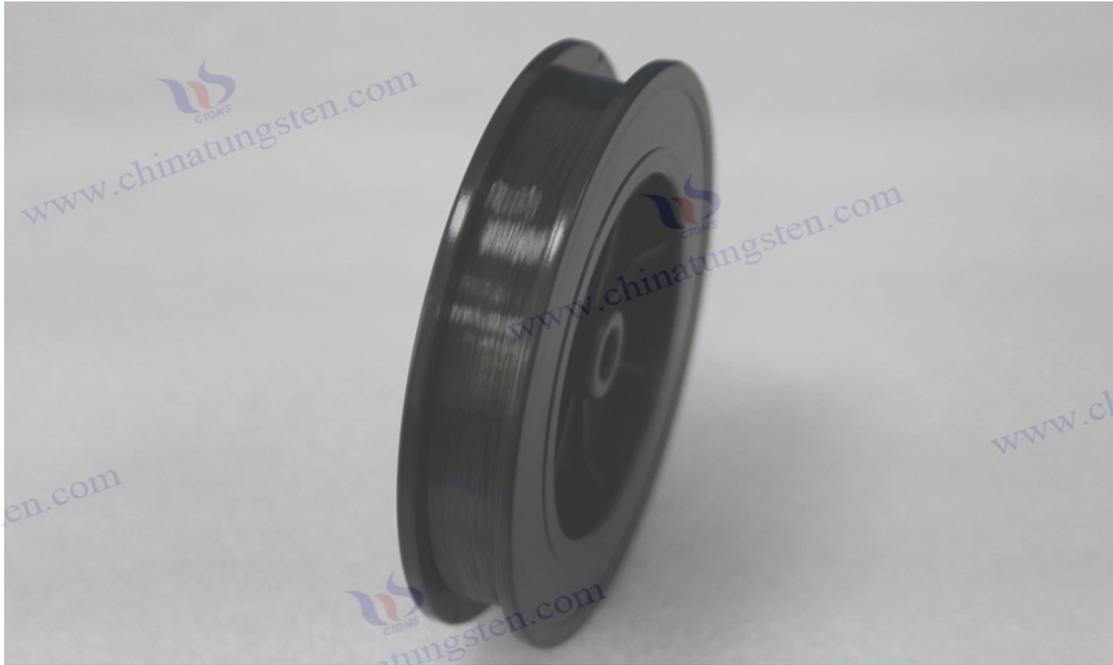
Interne Spezifikationen für die Beleuchtungsindustrie werden von Leuchtenherstellern und Branchenverbänden für spezifische Anwendungen von Molybdändraht entwickelt.

Spezifikation der China Lighting Society: Die Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate $< 0,005$ mg/cm²·h) und Lichtbogenstabilität (Offset $< 0,1$ mm) von Molybdändraht in Halogenlampen sind erforderlich.

Die Spezifikation des International Institute of Illumination (CIE) spezifiziert die Hochtemperaturzugfestigkeit ($1500\text{ °C} \geq 200$ MPa) und Oberflächenrauheit ($Ra \leq 0,4\text{ }\mu\text{m}$) für Molybdändraht für HID-Lampen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Industrienormen haben die kundenspezifische Produktion von Molybdändraht in bestimmten Leuchten vorangetrieben, wie z. B. Molybdän-Lanthandraht für Autoscheinwerfer, die strengere Anforderungen an die Vibrationsfestigkeit erfüllen müssen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 8 Detektionstechnologie von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Leistung von Molybdändraht für die Beleuchtung wirkt sich direkt auf die Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Effizienz von Beleuchtungsgeräten aus, und seine Erkennungstechnologie deckt viele Aspekte wie chemische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, Oberflächenqualität, Hochtemperaturleistung, elektrische Eigenschaften und zerstörungsfreie Prüfung ab. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Detektionstechnologien von Molybdändraht für die Beleuchtung ausführlich erörtert, die Detektionsmethoden, Gerätefunktionen, Genauigkeit und Anwendungsszenarien analysiert und eine umfassende technische Erklärung basierend auf fortschrittlichen Technologiepraktiken im In- und Ausland gegeben.

8.1 Prüfung der chemischen Zusammensetzung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Prüfung der chemischen Zusammensetzung wird verwendet, um den Reinheits- ($\geq 99,95\%$) und den Gehalt an Verunreinigungen (wie Fe, Ni, Si) von Molybdändraht zu bestimmen, seine chemische Stabilität und seine elektrischen Eigenschaften sicherzustellen und die Anforderungen der Hochtemperaturumgebung von Lampen zu erfüllen.

8.1.1 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Die Röntgenfluoreszenzanalyse ist eine schnelle, zerstörungsfreie Methode zur Bauteildetektion von fertigem Molybdändraht und Rohmaterialien.

Prinzip: Röntgenstrahlen regen die Atome auf der Oberfläche der Probe zu einer charakteristischen Fluoreszenz an, und der Elementgehalt wird durch Spektralanalyse bestimmt.

Gerätefunktion: Der Erfassungsbereich des Geräts beträgt $0,01\%$ bis 100% , die Empfindlichkeit $0,01$ ppm und die Analysezeit 1-5 Minuten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technische Parameter:

Detektierte Elemente: Molybdän (Mo), Eisen (Fe), Nickel (Ni), Silizium (Si) usw. Die Gehaltsabweichung von dotierten Elementen (wie La, Re) beträgt $<0,01\%$.

Anforderungen an die Probe: Die Oberfläche des Molybdändrahtes sollte sauber sein, keine Oxide enthalten und der Probendurchmesser sollte 0,01 bis 2 mm betragen.

Genauigkeit: $\pm 0,01\%$ (hochkonzentrierte Elemente), $\pm 0,001\%$ (Spurenelemente).

Prozesseigenschaften: RFA ist eine zerstörungsfreie Prüfung und eignet sich für die Online-Qualitätskontrolle. Die Geräte müssen regelmäßig kalibriert werden, und es werden Standardproben verwendet, um die Genauigkeit zu gewährleisten. Die Prüfumgebung sollte sauber sein (ISO-Klasse 7), um Staubbeeinflussung zu vermeiden.

Auswirkungen auf die Anwendung: RFA wird häufig verwendet, um die Dotierungsgleichmäßigkeit von Molybdändraht für Halogenlampen und HID-Lampen zu ermitteln und so die Korrosionsbeständigkeit und hohe Temperaturstabilität mit einer Nachweiseffizienz von 98% zu gewährleisten.

8.1.2 Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

ICP-OES ist eine hochempfindliche Methode zur Bauteilanalytik, die sich für den Nachweis von Spurenverunreinigungen eignet.

Prinzip: Nachdem die Probe aufgelöst wurde, wird sie durch Plasma angeregt und ein bestimmtes Wellenlängenspektrum emittiert, um den Elementgehalt zu analysieren.

Gerätfunktion: Die Nachweisgrenze des Geräts beträgt $0,001\text{ ppm}$ und die Analysezeit 5-10 Minuten.

Technische Parameter:

Detektionselemente: Fe, Ni, Si, C, O usw., Nachweisbereich $0,001\text{-}1000\text{ ppm}$.

Probenvorbereitung: Molybdändraht sollte mit einem $\text{HNO}_3\text{-HF}$ -Gemisch (Verhältnis 3:1) bei einer Temperatur von $60\text{-}80\text{ }^\circ\text{C}$ aufgelöst werden.

Genauigkeit: $\pm 0,1\%$ (Hauptelement), $\pm 0,001\%$ (Spurenelement).

Prozesseigenschaften: ICP-OES muss durch die Probe zerstört werden, die für die Laboranalyse geeignet ist. Das Gerät ist mit hochreinem Argongas ($\geq 99,999\%$) ausgestattet, um Hintergrundstörungen zu vermeiden. Die Abfallflüssigkeit muss neutralisiert und behandelt werden, um die Abwassereinleitungsnormen zu erfüllen.

Auswirkungen auf die Anwendung: ICP-OES wird verwendet, um den Sauerstoffgehalt ($<0,005\%$) in Molybdändraht zu detektieren, die chemische Stabilität von Glühlampen und Halogenlampen sicherzustellen und den Verunreinigungsgehalt unter $0,01\%$ zu kontrollieren.

8.1.3 Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)

AAS wird zum Nachweis von Spuren bestimmter Elemente verwendet und eignet sich für Schwermetallverunreinigungen in Molybdändraht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prinzip: Nach der Zerstäubung absorbiert die Probe eine bestimmte Wellenlänge des Lichts, und die Absorptionsintensität wird analysiert, um den Elementgehalt zu bestimmen.

Geräteigenschaften: Das Gerät hat eine Nachweisgrenze von 0,01 ppm und eine Analysezeit von 3-5 Minuten/Element.

Technische Parameter:

Detektionselemente: Fe, Ni, Cr, Pb usw., Nachweisbereich 0,01-100 ppm.

Probenvorbereitung: Molybdändraht gelöst in einem HNO₃-HCl-Gemisch (Verhältnis 1:3) bei 50-70 °C.

Genauigkeit: ±0,05% (Spurenelemente).

Prozesseigenschaften: AAS ist eine Einzelementanalyse, die für den gezielten Nachweis geeignet ist (z. B. Pb<0,01 % zur Einhaltung der RoHS). Das Gerät muss mit einer Hohlkathodenlampe ausgestattet und regelmäßig ausgetauscht werden. Die Entsorgung von flüssigen Abfällen muss den Anforderungen des Umweltschutzes entsprechen.

Auswirkungen auf die Anwendung: AAS wird verwendet, um die RoHS-Konformität von Molybdändraht zu überprüfen und die Anforderungen des EU-Marktes für Molybdändraht für Autoscheinwerfer zu erfüllen.

8.2 Prüfung der physikalischen Eigenschaften von Molybdändraht für die Beleuchtung

Bei der Prüfung der physikalischen Eigenschaften werden die Größe, Dichte und mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht bewertet, um sicherzustellen, dass er die mechanischen und strukturellen Anforderungen der Leuchte erfüllt.

8.2.1 Maß- und Toleranzmessung (Lasermikrometrie, Mikroskopie)

Größe und Toleranz wirken sich direkt auf die elektrischen Eigenschaften und die Dichtungszuverlässigkeit von Molybdändraht aus.

Laser-Mikrometer:

Gerätefunktion: Messbereich 0,005-2 mm, Genauigkeit ± 0,0001 mm.

Prinzip: Der Laserstrahl tastet den Molybdändraht ab und berechnet den Durchmesser und die Rundheit.

Technische Parameter: Toleranzkontrolle ± 0,002 mm (ultrafeiner Draht), Messgeschwindigkeit 1-10 m/min, geeignet für die Inline-Inspektion.

Prozesseigenschaften: Das Gerät benötigt eine konstante Temperaturumgebung (20-25 °C), um Wärmeausdehnungsfehler zu vermeiden. Das Inline-Mikrometer kann in die Drahtziehmaschine integriert werden, um die Durchmesserkonsistenz in Echtzeit zu überwachen.

Optische Mikroskopie:

Gerätefunktion: 50-1000-fache Vergrößerung, Genauigkeit ± 0,001 mm.

Prinzip: Der Durchmesser des Molybdändrahtes und die Oberflächentopographie werden durch hochauflösende Bildgebung gemessen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technische Parameter: Geeignet für die Offline-Prüfung, Messbereich 0,01-2 mm, Toleranznachweis $\pm 0,002$ mm.

Prozessmerkmale: Schneiden und Polieren der Probe, Detektionszeit 5-10 Minuten. Die Bildanalysesoftware berechnet automatisch die Größenverteilung.

Auswirkungen auf die Anwendung: Das Lasermikrometer wird für die Produktionskontrolle von ultrafeinem Molybdändraht (0,01-0,05 mm Durchmesser) verwendet, und das Mikroskop wird für Forschung und Entwicklung sowie für die Fehleranalyse verwendet und entspricht den Standards GB/T 4191-2015 und ASTM B387.

8.2.2 Dichteprüfung und Qualitätsanalyse

Der Dichtetest bewertet die Dichte des Molybdändrahtes, die indirekt die Porosität und den Einschlussgehalt widerspiegelt.

Gerätfunktion: Basierend auf dem Archimedisches Prinzip \pm die Genauigkeit $0,001 \text{ g/cm}^3$.

Technische Parameter:

Die theoretische Dichte von Molybdän beträgt $10,22 \text{ g/cm}^3$ und die gemessene Dichte $\geq 9,8 \text{ g/cm}^3$ (Dichte $\geq 96\%$).

Anforderungen an die Stichprobe: Molybdändraht Länge 10-50 mm, saubere Oberfläche.

Prozesseigenschaften: Für den Test wird hochreines Ethanol (Dichte $0,789 \text{ g/cm}^3$) als Tauchlösung benötigt, und die Temperatur wird auf $20 \text{ }^\circ\text{C}$ geregelt. Die Geräte müssen regelmäßig kalibriert werden und es werden Standardproben verwendet.

Auswirkungen auf die Anwendung: Molybdändraht mit hoher Dichte reduziert die stomatäre Verflüchtigung bei hohen Temperaturen und verlängert die Lebensdauer von Halogenlampen und HID-Lampen.

8.2.3 Prüfung von Zugfestigkeit, Duktilität und Härte

Bei der Prüfung der mechanischen Eigenschaften wird die mechanische Stabilität von Molybdändraht bei Raumtemperatur und hohen Temperaturen bewertet.

Zugversuch:

Gerätfunktion: Prüfbereich 0-100 kN, Genauigkeit $\pm 0,5\%$.

Technische Parameter: Zugfestigkeit bei Raumtemperatur 800-1200 MPa, Bruchdehnung 10%-25%; Hohe Temperatur (1500°C) Zugfestigkeit 200-400 MPa.

Prozesseigenschaften: Der Hochtemperaturtest muss mit einem Wasserstoffschutzofen (Taupunkt $< -40 \text{ }^\circ\text{C}$) ausgestattet sein, und das Vorrichtungsmaterial ist Molybdän oder Wolfram. Prüfgeschwindigkeit 0,1-1 mm/min.

Härteprüfung:

Gerätfunktion: Prüfbereich HV 0,1-1000, Genauigkeit $\pm 0,5$ HV.

Technische Parameter: reiner Molybdändraht HV 200-250, dotierter Molybdändraht HV 250-300, Eindringtiefe $< 0,01$ mm.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prozesseigenschaften: Die Oberfläche der Probe muss poliert werden, die Prüfkraft beträgt 0,1-0,5 N und die Haltezeit beträgt 10 Sekunden.

Anwendung Auswirkungen: Zug- und Härteprüfungen gewährleisten die mechanische Zuverlässigkeit von Molybdänfilament in Glühfadenträgern und Elektroden und erfüllen die Anforderungen von Autoscheinwerfern und Projektionslampen.

8.3 Oberflächenqualitätsprüfung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die Oberflächenqualität beeinflusst die Lichtbogenstabilität, die Korrosionsbeständigkeit und die optischen Eigenschaften von Molybdändraht, die durch Mikroskopie und Fehlererkennungstechniken bewertet werden müssen.

8.3.1 Mikroskopische und Oberflächenrauheitsprüfung

Optische Mikroskope und Rauheitsmessgeräte werden verwendet, um die Oberflächentopographie und das Finish von Molybdändrähten zu bewerten.

Optische Mikroskopie:

Gerätfunktion: Vergrößerung 50-1000x, Genauigkeit $\pm 0,001 \mu\text{m}$.

Technische Parameter: Detektion von Kratzern, Rissen und Oxiden mit einer Bildauflösung von 0,1 μm .

Prozessmerkmale: Es ist eine Probenpolitur erforderlich, die mit einer Bildanalysesoftware ausgestattet ist, und die Anzahl der Fehler wird automatisch gezählt. Die Erkennungszeit beträgt 5-10 Minuten.

Prüfgerät für Oberflächenrauheit:

Gerätfunktion: Messbereich Ra 0,01-10 μm , Genauigkeit $\pm 0,001 \mu\text{m}$.

Technische Parameter: gereinigter Molybdändraht Ra 0,1-0,5 μm , schwarzer Molybdändraht Ra 0,5-2,0 μm .

Prozesseigenschaften: Messung des Kontaktstifts, Sondenradius 2 μm , Verfahrensgeschwindigkeit 0,5 mm/s. Die Inline-Inspektion kann in Polieranlagen integriert werden.

Auswirkungen auf die Anwendung: Hochveredelter Molybdändraht ($\text{Ra} < 0,4 \mu\text{m}$) verbessert die Lichtbogenstabilität, ist für HID-Lampen und UV-Lampen geeignet und kontrolliert die Oberflächenfehlerrate $< 0,5 \%$.

8.3.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Energiespektroskopie (EDS)

REM und EDS werden für die hochauflösende Oberflächentopographie und Zusammensetzungsanalyse eingesetzt.

OHNE:

Geräteigenschaften: Auflösung 1 nm, Vergrößerung 100-100.000x.

Technische Parameter: Detektion von Oberflächenrissen, Porosität und Korrosionstopographie, geeignet für ultrafeinen Molybdändraht (Durchmesser 0,01-0,05 mm).

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prozesseigenschaften: Eine Vakuumumgebung ($<10^{-6}$ Pa) ist erforderlich, und eine leitfähige Beschichtung (z. B. Kohlenstofffilm) ist auf der Probenoberfläche erforderlich. 3D-Bildgebungsfunktionen zur Analyse der Oberflächentopographie.

EDS:

Technische Parameter: Detektion der Verteilung der dotierten Elemente (z. B. La, Re), Genauigkeit $\pm 0,1\%$, Detektionstiefe 1-2 μm .

Prozesseigenschaften: Integriert mit REM zur Analyse der Gleichmäßigkeit der Dotierung (Partikelabstand 0,5-2 μm). Erkennungszeit 10-20 Minuten.

Auswirkungen auf die Anwendung: REM-EDS wird zur Fehleranalyse (z. B. Korrosion von Halogenlampenelektroden), zur Optimierung des Dotierungsprozesses und zur Verbesserung der Leistung von Molybdän-Lanthandraht verwendet.

8.3.3 Technologie zur Erkennung von Oberflächenfehlern

Die Technologie zur Erkennung von Oberflächenfehlern wird verwendet, um mikroskopisch kleine Risse und Einschlüsse zu identifizieren.

Laser-Scanning-Mikroskop:

Merkmale des Geräts: Auflösung 0,1 μm , 3D-Bildtiefe 10-100 μm .

Technische Parameter: Erkennung von Kratzern, Rissen und Oxiden, Fehlergröße $> 0,5 \mu\text{m}$.

Prozesseigenschaften: berührungslose Erkennung, geeignet für die Online-Qualitätskontrolle. Die Erfassungsgeschwindigkeit beträgt 1-5 m/min.

Automatisierte Bildverarbeitungssysteme:

Gerätemerkmale: Ausgestattet mit einer hochauflösenden CCD-Kamera mit einer Auflösung von 0,01 μm .

Technische Parameter: Die Erkennungsrate an Oberflächenfehlern beträgt $<0,5\%$, was für die Großserienproduktion geeignet ist.

Prozessmerkmale: Integriert in das Drahtziehen, Echtzeit-Rückmeldung der Fehlerlokalisierung, Effizienzsteigerung um 50%.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Fehlererkennungstechnologie reduziert die Ausfallrate, erfüllt die strengen Anforderungen von Projektionslampen und Autoscheinwerfern und erreicht eine Ausbeute von 98 %.

8.4 Hochtemperatur-Leistungstest von Molybdändraht für die Beleuchtung

Der Hochtemperatur-Leistungstest bewertet die Stabilität des Molybdändrahts in der Arbeitsumgebung (1500-3000 °C) der Leuchte unter Berücksichtigung der Oxidationsbeständigkeit, der Temperaturwechsel und der mechanischen Eigenschaften.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

8.4.1 Prüfung der Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen und der thermischen Stabilität

Der Antioxidans-Test bewertet die chemische Stabilität von Molybdändraht bei hohen Temperaturen.

Gerätfunktion: Temperaturbereich 500-2000 °C, Genauigkeit ± 5 °C.

Technische Parameter:

Testbedingungen: Argon- oder Wasserstoffschutz (Taupunkt $< -40^{\circ}\text{C}$), Temperatur 1500-1800°C, Wärmeerhaltung 1-100 Stunden.

Index: Oxidative Gewichtszunahme $< 0,01$ mg/cm², keine MoO₃-Verflüchtigung an der Oberfläche.

Prozesseigenschaften: Er muss mit einem Abgasnachbehandlungssystem (Alkaliabsorption) ausgestattet sein, um flüchtige Oxide zu behandeln. Die Oberfläche der Probe sollte poliert werden ($R_a < 0,5$ μm), um den Oxidationsinitiiierungspunkt zu reduzieren.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die antioxidative Leistung gewährleistet die chemische Stabilität von Molybdändraht in Glühlampen und Halogenlampen und verlängert die Lebensdauer um 10 % bis 20 %.

8.4.2 Temperaturwechsel- und Kriechfestigkeitsprüfung

Temperaturwechsel- und Kriechfestigkeitstests bewerten die Stabilität von Molybdändraht gegenüber Temperaturschwankungen und hohen Temperaturen über lange Zeiträume.

Temperaturwechsel-Test:

Gerätfunktion: Temperaturbereich -40°C bis 800°C , Zyklusrate $10-20^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Technische Parameter: 100-1000 Zyklen, Erkennung von Rissen und Dichtungsfehlern.

Prozesseigenschaften: Simulieren Sie den Schaltvorgang von Lampen und Laternen und testen Sie die Wärmeausdehnungsanpassung des Dichtungsteils (Molybdändraht-Glas).

Prüfung der Kriechfestigkeit:

Funktion der Ausrüstung: Temperatur 1500-1800°C, Spannung 50-200 MPa.

Technische Parameter: Kriechgeschwindigkeit $< 10^{-6}$ s⁻¹ (Molybdän-Lanthan-Draht), Prüfzeit 100-1000 Stunden.

Prozesseigenschaften: Es ist ein Wasserstoffschutz erforderlich, und das Vorrichtungsmaterial ist Molybdän oder Wolfram. Die Kriechrate wird von einem Wegsensor mit einer Genauigkeit von $\pm 0,001$ mm gemessen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Der Temperaturwechseltest stellt die Zuverlässigkeit von Molybdändraht in Autoscheinwerfern sicher, und der Kriechfestigkeitstest optimiert dotierten Molybdändraht (z. B. Molybdän-Lanthan-Draht), um die Lebensdauer von HID-Lampen zu verlängern.

8.4.3 Prüfung der mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen

Mechanische Hochtemperaturtests bewerten die mechanischen Eigenschaften von Molybdändraht

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

bei der Betriebstemperatur der Leuchte.

Gerätekfunktion: Temperaturbereich 500-2000°C, Genauigkeit $\pm 0,5\%$.

Technische Parameter:

Prüfbedingungen: 1500°C, Wasserstoffschutz, Zuggeschwindigkeit 0,1-1 mm/min.

Index: Zugfestigkeit 200-400 MPa, Bruchdehnung 5%-15%.

Prozesseigenschaften: Es muss mit Hochtemperaturvorrichtungen (Molybdän oder Wolframmaterial) und einem Atmosphärenkontrollsystem (Argon oder Wasserstoff, Reinheit $\geq 99,999\%$) ausgestattet sein. Die Prüfdaten werden mit einem Dehnungsmessstreifen aufgezeichnet (Genauigkeit $\pm 0,01\%$).

Anwendung Auswirkungen: Der Test der mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen gewährleistet die mechanische Stabilität von Molybdändraht in Halogenlampen und Infrarotlampen und erfüllt die Anforderungen von ASTM B387 und GB/T 4191-2015.

8.5 Elektrische Leistungsprüfung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Bei der elektrischen Leistungsprüfung werden die Leitfähigkeit und die Lichtbogenstabilität des Molybdändrahtes bewertet, die sich auf die Lichtausbeute und die Lebensdauer der Leuchte auswirken.

8.5.1 Prüfung des spezifischen Widerstands und der Leitfähigkeit

Mit dem spezifischen Widerstandstest wird die elektrische Leitfähigkeit des Molybdändrahtes bewertet.

Gerätekfunktion: Vier-Sonden-Tester, Messbereich 10^{-8} - $10^6 \Omega \cdot m$, die Genauigkeit $\pm 0,01\%$.

Technische Parameter:

Spezifischer Widerstand: Reiner Molybdändraht $5,5 \times 10^{-8} \Omega \eta m$ (20 °C), dotierter Molybdändraht etwas höher ($6-7 \times 10^{-8} \Omega \eta m$).

Prüfbedingungen: Probenlänge 50-100 mm, Strom 1-10 mA.

Prozesseigenschaften: Es ist eine konstante Temperaturumgebung (20 °C) erforderlich, und die Kontaktsonde besteht aus Gold oder Wolfram, um Kontaktwiderstände zu vermeiden. Die Testergebnisse werden nach dem Ohmschen Gesetz berechnet.

Auswirkungen auf die Anwendung: Molybdändraht mit niedrigem spezifischen Widerstand reduziert den Wärmeverlust von Joule und verbessert die Energieeffizienz von Glüh- und Halogenlampen.

8.5.2 Analyse des Temperaturkoeffizienten und der Lichtbogenstabilität

Der Temperaturkoeffizient und die Lichtbogenstabilität beeinflussen die Leistung von Molybdändraht in einer Hochtemperatur-Lichtbogenumgebung.

Prüfung des Temperaturkoeffizienten:

Gerätekfunktion: Temperaturbereich 20-1500°C, Genauigkeit $\pm 0,1\%$.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technische Parameter: Temperaturkoeffizient des Widerstands des Molybdändrahtes $4,5 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ (20-1000°C).

Prozesseigenschaften: Der Test benötigt einen Wasserstoffschutz, und die Probe wird in einer Keramikvorrichtung fixiert. Der Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur wird nach der Vier-Sonden-Methode gemessen.

Prüfung der Lichtbogenstabilität:

Gerätfunktion: Spannung 1-30 kV, Strom 0,1-100 A.

Technische Parameter: Lichtbogenversatz $< 0,1$ mm, Elektrodenkorrosionsrate $< 0,01$ mg/cm²·h.

Prozesseigenschaften: Ausgestattet mit einer Hochgeschwindigkeitskamera (1000 fps) zur Aufzeichnung der Lichtbogenbahn. Der Test simuliert die Arbeitsumgebung einer HID-Lampe (6000 °C Lichtbogenzentrum).

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Lichtbogenstabilitätsprüfung optimiert die Oberflächenqualität von Molybdändrähten ($R_a < 0,4$ µm) und verbessert die Lichtausbeute von HID- und Xenonlampen.

8.5.3 Prüfung der elektrischen Leistung bei hohen Temperaturen

Bei elektrischen Hochtemperaturtests wird die Leitfähigkeit von Molybdändraht bei der Betriebstemperatur der Leuchte bewertet.

Gerätfunktion: Halbleiteranalysator, Temperaturbereich 500-1500 °C, Genauigkeit $\pm 0,01\%$.

Technische Parameter:

Spezifischer Widerstand: ca. $2,5 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ bei 1500°C.

Prüfbedingungen: Wasserstoffschutz, Strom 0,1-1 A.

Prozesseigenschaften: Eine Hochtemperaturvorrichtung (Molybdän- oder Wolframmaterial) und ein Atmosphärenkontrollsystem sind erforderlich. Die Analyse der Prüfdaten erfolgt durch Aufzeichnung der Widerstandsänderung in Echtzeit.

Anwendungsauswirkungen: Die elektrische Hochtemperaturprüfung stellt die Leitfähigkeitsstabilität von Molybdändraht in Halogen- und Projektionslampen sicher, um die Anforderungen von JIS H 4461 zu erfüllen.

8.6 Zerstörungsfreie Prüfung von Molybdändraht für die Beleuchtung

Die zerstörungsfreie Prüfung (NDT) wird verwendet, um die internen Defekte und die strukturelle Integrität von Molybdändrähten zu bewerten, ohne ihre Leistung im Einsatz zu beeinträchtigen.

8.6.1 Ultraschall-Fehlerprüftechnik

Die Ultraschall-Fehlererkennung erkennt Porositäten und Einschlüsse im Molybdändraht.

Gerätfunktion: Frequenz 5-20 MHz, Genauigkeit $\pm 0,01$ mm.

Technische Parameter:

Erfassungsbereich: Durchmesser 0,05-2 mm, Fehlergröße $> 0,01$ mm.

Empfindlichkeit: Erkennt Spaltöffnungen und Einschlüsse, und die Intensität des reflektierten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Signals > 10 %.

Prozesseigenschaften: erfordert Wassertrennmittel, Sondendurchmesser 2-5 mm. Die Erkennungsgeschwindigkeit beträgt 1-5 m/min, was für die Inline-Inspektion geeignet ist.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Ultraschall-Fehlererkennung verbessert die interne Qualität von Molybdändraht, verringert das Risiko eines Ausfalls der HID-Lampenelektrode und die Fehlererkennungsrate erreicht 95 %.

8.6.2 Röntgenfehlererkennung und CT-Abtastung

Röntgenfehlererkennung und CT-Abtastung werden eingesetzt, um kleinste Defekte im Inneren und auf der Oberfläche von Molybdändrähten zu erkennen.

Röntgenfehlererkennung:

Gerätfunktion: Spannung 50-225 kV, Auflösung 1 μ m.

Technische Parameter: Risserkennung, Porosität, Fehlergröße > 0,005 mm.

Prozessmerkmale: Die Probe muss gedreht werden und die Bildgebungszeit beträgt 5-10 Minuten.

Geeignet für die Offline-Inspektion.

CT-Scan:

Gerätfunktion: Auflösung 0,5 μ m, 3D-Rekonstruktionsgenauigkeit \pm 0,001 mm.

Technische Parameter: Detektion von inneren Einschlüssen und Korngrenzfehlern, geeignet für ultrafeinen Molybdändraht.

Prozesseigenschaften: Es ist eine Hochvakuumumgebung erforderlich, und die Scanzeit beträgt 10-30 Minuten. 3D-Rekonstruktion zur Analyse der Fehlerverteilung.

Auswirkungen auf die Anwendung: Röntgen- und CT-Scans werden für hochwertige Molybdändrähte (z. B. für Projektionslampen) verwendet, um sicherzustellen, dass keine internen Defekte auftreten und die Zuverlässigkeit verbessert wird.

8.6.3 Magnetpulverprüfung und Wirbelstromprüfung

Die Magnetpulver- und Wirbelstromprüfung wird für das schnelle Screening von Oberflächen- und oberflächennahen Defekten eingesetzt.

Magnetpulver-Prüfung:

Gerätfunktion: Magnetfeldstärke 0,1-1 T, Empfindlichkeit 0,01 mm.

Technische Parameter: Erkennung von Oberflächenrissen und Kratzern, geeignet für Molybdändraht mit einem Durchmesser von >0,1 mm.

Prozesseigenschaften: Eine magnetische Pulversuspension (fluoreszierend oder nicht fluoreszierend) ist erforderlich, und die Detektionszeit beträgt 1-3 Minuten. Nur für ferromagnetische Einschlüsse.

Wirbelstromprüfung:

Gerätfunktion: Frequenz 10 kHz-10 MHz, Empfindlichkeit 0,01 mm.

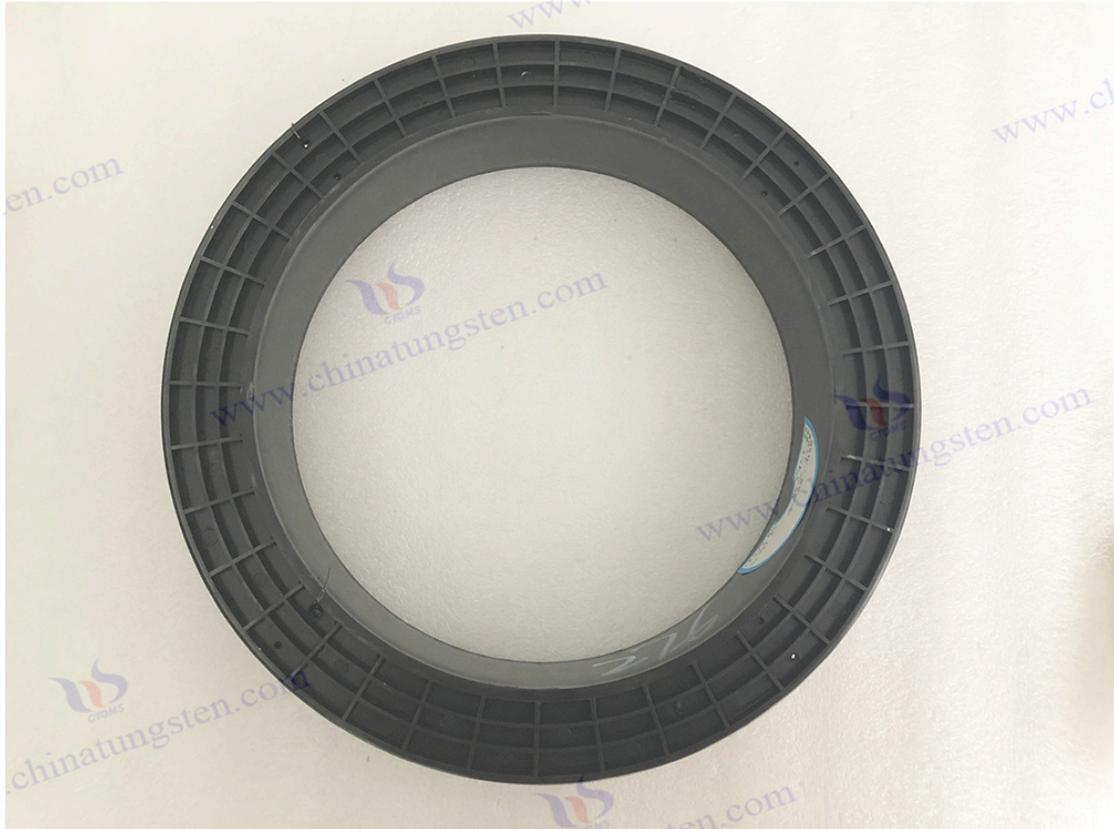
Technische Parameter: Detektion von Oberflächen- und oberflächennahen Rissen, geeignet für die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Inline-Inspektion, Geschwindigkeit 1-10 m/min.

Prozesseigenschaften: Die Spule muss kalibriert werden, um nichtleitende Beschichtungen oder Oxidschichtinterferenzen zu erkennen. Das Automatisierungssystem steigert die Effizienz um 50 %.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Wirbelstromprüfung wird für die Massenproduktion verwendet, die Magnetspulverprüfung wird für die Fehleranalyse verwendet, um die Oberflächenqualität von Molybdändraht in Automobilscheinwerfern sicherzustellen.



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Kapitel 9 Der zukünftige Entwicklungstrend von Molybdändraht für die Beleuchtung

Als wichtiges Material in der Beleuchtungsindustrie sieht sich Molybdändraht für die Beleuchtung mit schnellen Veränderungen in Bezug auf neue Materialtechnologien, die Modernisierung von Produktionsprozessen, den Wettbewerb alternativer Materialien und die Marktnachfrage konfrontiert. In diesem Kapitel werden der zukünftige Entwicklungstrend von Molybdändraht für die Beleuchtung in der neuen Dotierungstechnologie, intelligente und umweltfreundliche Produktionsprozesse, Forschung und Entwicklung alternativer Materialien sowie Markt- und Anwendungserweiterung erörtert und zukunftsgerichtete Analysen basierend auf dem globalen technologischen Fortschritt und Branchentrends bereitgestellt.

9.1 Neue Materialien und Dotierungstechnologien

Fortschritte bei neuen Materialien und Dotierungstechnologien werden die Leistung von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Molybdäandraht für die Beleuchtung verbessern, um den Anforderungen anspruchsvollerer Beleuchtungsanwendungen gerecht zu werden, wie z. B. hohe Temperaturstabilität, Korrosionsbeständigkeit und elektrische Eigenschaften.

9.1.1 Erforschung neuer dotierter Elemente (z.B. Seltene Erden, Edelmetalle).

Die Dotierungstechnologie verbessert die Hochtemperaturfestigkeit, Kriechfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Molybdäandraht durch die Einbringung von Seltenen Erden oder Edelmetallelementen erheblich.

Technologietrends: Die Forschung konzentriert sich auf neuartige dotierte Elemente wie Cer (Ce), Yttrium (Y), Rhenium (Re) und Platin (Pt). Seltene Erden (z. B. CeO₂, Dotierung 0,2 %-1,0 %) verfeinern Körner (Korngröße von 20 µm bis 10 µm) und erhöhen die Zugfestigkeit (20 % Erhöhung bei 1500 °C). Edelmetalle (z. B. Re, Dotierung 1%-5%) erhöhen die Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit, reduzieren die Korrosionsrate um 30% und sind für Hochdruckentladungslampen (HID) geeignet.

Prozessmerkmale: Nassdotierung in Kombination mit Sprühtrocknungstechnologie, um eine gleichmäßige Verteilung der dotierten Elemente zu gewährleisten (Abweichung < 0,01 %). Das Hochtemperaturesintern (2000-2300 °C) erfordert eine präzise Steuerung der Atmosphäre (Wasserstoff, Taupunkt <-40 °C), um eine Verflüchtigung der Elemente zu vermeiden.

Herausforderungen und Aussichten: Die Kosten für neue Dotierungselemente sind hoch (z. B. ist Re 10-mal so hoch wie Molybdän), und die Dotierungsmenge muss optimiert werden, um Leistung und Kosten in Einklang zu bringen. In den nächsten 5-10 Jahren wird erwartet, dass Seltenerd-dotierter Molybdäandraht 20 % des Marktanteils bei High-End-Scheinwerfern und Projektionslampen für Kraftfahrzeuge ausmachen wird.

Auswirkungen auf die Anwendung: Der neue dotierte Molybdäandraht verlängert die Lebensdauer der Lampe (30 % bis 50 %) und erfüllt die Anforderungen an eine hohe Helligkeit und langlebige Beleuchtung.

9.1.2 F&E und Anwendung von nanoskaligem Molybdäandraht

Nanoskaliger Molybdäandraht (<0,01 mm Durchmesser) wird durch Nanostruktur optimiert, um die mechanischen und elektrischen Eigenschaften zu verbessern.

Technologietrends: Herstellung von Molybdänfilamenten mit einem Durchmesser von 5-10 nm durch Nanoziehtechnologie und chemische Gasphasenabscheidung (CVD). Die Nanostruktur kann die Zugfestigkeit (bis zu 1500 MPa bei Raumtemperatur) und die Bruchdehnung (15%) verbessern. Die Oberflächennanoprozessierung (z. B. Abscheidung einer Al₂O₃-Beschichtung, Dicke 50-100 nm) erhöht die Oxidationsbeständigkeit und die oxidative Gewichtszunahme < 0,005 mg/cm².

Prozesseigenschaften: Es werden ultrahochpräzise Drahtziehenanlagen (Toleranz ± 0,0005 mm) und nanoskalige Formen (Aperturgenauigkeit ± 0,001 µm) benötigt. Der Glühprozess (900-1100°C,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wasserstoffschutz) optimiert die Korngröße (<100 nm).

Herausforderungen und Aussichten: Die Kosten für Nanodraht-Ziehanlagen sind hoch und die Ausbeute gering (ca. 70%). In den nächsten 10 Jahren wird mit der Weiterentwicklung der Präzisionsfertigungstechnologie erwartet, dass nanoskaliger Molybdändraht in miniaturisierten Lampen (z. B. in der medizinischen Beleuchtung) mit einem geschätzten Marktanteil von 10 % verwendet wird.

Auswirkungen auf die Anwendung: Nanoskaliger Molybdändraht eignet sich für hochpräzise Beleuchtungen (z. B. Laserprojektion), um die Lichtbogenstabilität und die optische Leistung zu verbessern.

9.1.3 Verbundwerkstoffe und Legierungen auf Molybdänbasis

Molybdänmatrix-Verbundwerkstoffe und -Legierungen erweitern das Anwendungsspektrum von Molybdändraht durch die Kombination mit anderen Hochtemperaturwerkstoffen.

Technologietrends: Entwicklung von Molybdän-Wolfram (Mo-W), Molybdän-Keramik (z. B. Mo-ZrO₂) und Molybdän-Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT)-Kompositen. Die Mo-W-Legierung (10%-30% W-Gehalt) erhöht den Schmelzpunkt (auf 2800 °C) und die Kriechfestigkeit (Kriechrate <10⁻⁷ s⁻¹). Mo-ZrO₂-Verbundwerkstoffe erhöhen die Oxidationsbeständigkeit und sind für Infrarotlampen geeignet.

Prozesseigenschaften: Pulvermetallurgie kombiniert mit Plasmasintern (Temperatur 2000-2200 °C, Druck 50 MPa) zur Herstellung von Composite-Rohlingen. Verbundwerkstoffe erfordern eine präzise kontrollierte Phasenverteilung (Abweichung < 0,1 µm), um eine Gleichmäßigkeit der mechanischen Eigenschaften zu gewährleisten.

Herausforderungen und Perspektiven: Verbundwerkstoffe sind schwer zu verarbeiten und die Kosten steigen um 20 % bis 30 %. Es wird erwartet, dass die Mo-W-Legierung in den nächsten 5-10 Jahren einen Teil des reinen Molybdändrahts ersetzen wird, was 15 % des Marktes für Lampenmolybdändraht ausmacht.

Auswirkungen auf die Anwendung: Verbundwerkstoffe verbessern die Zuverlässigkeit von Molybdändraht in extremen Umgebungen (z. B. UV-Lampen, Hochtemperaturöfen) und erfüllen die Anforderungen an spezielle Beleuchtung.

9.2 Intelligenter und grüner Produktionsprozess

Intelligente und umweltfreundliche Produktionsprozesse werden die Produktionseffizienz, die Qualitätskonsistenz und die Umweltverträglichkeit von Molybdändraht für die Beleuchtung verbessern.

9.2.1 Intelligente Fertigung und Industrie 4.0-Technologien

Smart Manufacturing optimiert die Produktion von Molybdändraht durch Automatisierung,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Datenanalyse und das Internet der Dinge (IoT).

Technologietrends: Einführung von Industrie 4.0-Technologien wie Online-Überwachungssystemen, künstlicher Intelligenz (KI) und Big-Data-Analysen. Der Online-Lasermessschieber (Genauigkeit $\pm 0,001$ mm) überwacht den Durchmesser des Molybdändrahtes in Echtzeit, und der KI-Algorithmus prognostiziert das Risiko eines Drahtbruchs (Genauigkeitsrate > 95 %). Das IIoT integriert Zieh-, Glüh- und Inspektionsgeräte, um den gesamten Prozess zu automatisieren.

Prozessmerkmale: Die intelligente Drahtziehmaschine regelt die Spannung ($\pm 0,5$ N) über den Servomotor, wodurch die Drahtbruchrate um 10 % reduziert wird. Die Technologie des digitalen Zwillings simuliert den Sinter- und Drahtziehprozess, optimiert die Prozessparameter (Temperatur, Geschwindigkeit) und erhöht die Ausbeute auf 98 %.

Herausforderungen und Perspektiven: Die Anfangsinvestition in intelligente Geräte ist hoch (sie macht etwa 30 % der Gesamtkosten aus), kann aber die Arbeitskosten um 20 % senken. Es wird erwartet, dass in den nächsten 5 Jahren die intelligente Fertigung in Chinas Molybdändrahtunternehmen populär wird und die Produktionseffizienz um 15 % bis 20 % gesteigert wird.

Auswirkungen auf die Anwendung: Eine intelligente Produktion gewährleistet die Dimensionskonsistenz und Leistungsstabilität von Molybdändraht und erfüllt die Anforderungen an die hohe Präzision von High-End-Lampen (z. B. HID-Lampen).

9.2.2 Umweltfreundliche Produktionsprozesse und Abfallverwertung

Grüne Produktion reduziert die Umweltbelastung durch Abfallrecycling und umweltfreundliche Prozesse.

Technologietrends: Entwicklung von geschlossenen Recyclingsystemen zur Verwertung von gebürsteten Drahtbrüchen und Sinterabfällen (30%-40% Rückgewinnung). Die chemische Reinigungsabflüssigkeit wird neutralisiert und gefällt, und der Schwermetallausstoß < 0,1 mg/L, was der Abwassereinleitungsnorm entspricht. Das Abgasnachbehandlungssystem (Laugeabsorption) regelt die Oxidemissionen < 0,05 mg/m³.

Prozesseigenschaften: Die Verwendung von schwerflüchtigen Schmierstoffen (z. B. Schmierstoffe auf Wasserbasis) zur Reduzierung der VOC-Emissionen im Ziehprozess (50 %). Der Abfall wird aus Molybdänpulver durch Wasserstoffreduktion (Temperatur 800-1000°C) reproduziert, wodurch die Kosten um 10% gesenkt werden.

Herausforderungen und Aussichten: Das Recycling von Anlagen erfordert eine hohe Anfangsinvestition, und die Recyclingeffizienz wird durch die Reinheit des Abfalls begrenzt. In den nächsten 10 Jahren wird die umweltfreundliche Produktion zum Industriestandard werden, in Übereinstimmung mit den Anforderungen von RoHS und ISO 14001.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Auswirkungen auf die Anwendung: Umweltfreundliche Technologie verbessert das Umweltimage des Unternehmens und erfüllt die Compliance-Anforderungen des europäischen und amerikanischen Marktes (z. B. Automobilbeleuchtung).

9.2.3 Energieoptimierung und kohlenstoffarme Fertigung

Eine kohlenstoffarme Fertigung senkt die Produktionskosten und CO₂-Emissionen, indem sie den Energieverbrauch optimiert.

Technologietrends: energieeffiziente Sinteröfen (15 % weniger Energieverbrauch) und hocheffiziente Drahtziehmaschinen (Motorwirkungsgrad > 90 %). Die induktive Erwärmung ersetzt die Widerstandserwärmung und der Heizwirkungsgrad wird um 20 % erhöht. Die Optimierung der Prozessparameter (z. B. 50 °C Reduzierung der Glühtemperatur) reduziert den Energieverbrauch um 10 %.

Prozessmerkmale: Das Energiemanagementsystem (EMS) überwacht den Energieverbrauch in Echtzeit und optimiert die Produktionsplanung. Das Abwärmerückgewinnungssystem nutzt die Abwärme des Sinterofens zur Vorwärmung des Rohlings, wodurch Energie von 5 % bis 10 % eingespart wird.

Herausforderungen und Aussichten: Die Aufrüstung energiesparender Geräte ist teuer und es dauert 5-7 Jahre, bis sich die Investition amortisiert hat. In den nächsten 10 Jahren wird eine kohlenstoffarme Fertigung zu einer Reduzierung der Kohlenstoffemissionen aus der Produktion von Molybdändraht um 20 % führen, im Einklang mit dem globalen Ziel der Klimaneutralität.

Auswirkungen auf die Anwendung: Eine kohlenstoffarme Herstellung senkt die Produktionskosten (ca. 5 %), verbessert die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes und erfüllt die Nachfrage des Marktes für umweltfreundliche Beleuchtung.

9.3 Alternative Materialien für Molybdändraht für die Beleuchtung

Mit der Weiterentwicklung der Beleuchtungstechnologie können alternative Materialien Molybdändraht teilweise ersetzen, aber seine einzigartigen Eigenschaften haben immer noch Vorteile.

9.3.1 Wolframbasierte Werkstoffe und neue Legierungen

Wolframbasierte Werkstoffe gelten aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer Festigkeit als potenzielle Alternative zu Molybdändraht.

Technologietrend: Wolfram-Rhenium-Legierung (W-Re, 3%-10% Re) zur Verbesserung der Zugfestigkeit (500 MPa bei 1500 °C) und der Lichtbogenkorrosionsbeständigkeit. Wolframmatrix-Komposite (z. B. W-ZrO₂) erhöhen die Oxidationsbeständigkeit und erhöhen das oxidative Gewicht < 0,005 mg/cm².

Prozesseigenschaften: Wolframbasierte Materialien erfordern eine höhere Sintertemperatur (2500-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

2800 °C) und Präzisionsdrahtziehmaschinen (Toleranz $\pm 0,001$ mm). Oberflächenbeschichtungen (z.B. Si_3N_4) verbessern die chemische Stabilität.

Herausforderungen und Aussichten: Die Kosten für wolframbasierte Materialien sind 2-3 Mal so hoch wie die von Molybdän und es ist schwierig zu verarbeiten. In den nächsten 5-10 Jahren könnte die W-Re-Legierung 10 % des Marktanteils bei High-End-HID-Lampen ausmachen, aber Molybdändraht ist aufgrund von Kostenvorteilen immer noch der Mainstream.

Auswirkungen auf die Anwendung: Wolframbasierte Materialien eignen sich für Ultrahochtemperaturanwendungen (z. B. Xenonlampen), aber Molybdändraht ist in Halogen- und Glühlampen wirtschaftlicher.

9.3.2 Keramik und kohlenstoffbasierte Werkstoffe

Keramiken und kohlenstoffbasierte Werkstoffe machen durch ihre Hochtemperaturstabilität und ihre Leichtbaueigenschaften auf sich aufmerksam.

Technologietrends: Keramiken aus Zirkonoxid (ZrO_2) und Siliziumnitrid (Si_3N_4) verfügen über eine hervorragende Oxidationsbeständigkeit (stabil bei 2000 °C) und eine elektrische Isolation, wodurch sie sich für Leuchentragkonstruktionen eignen. Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) und Graphen werden aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit (10^6 S/m) und Festigkeit (>1 GPa) in Elektroden verwendet.

Prozesseigenschaften: Keramiken müssen plasmasintern werden (1800-2000 °C), kohlenstoffbasierte Materialien werden durch CVD (800-1200 °C) abgeschieden. Die Keramikverarbeitung erfordert hochpräzise Formen, und kohlenstoffbasierte Materialien müssen das Problem der Fehlanpassung der Wärmeausdehnung mit der Glasversiegelung lösen.

Herausforderungen und Perspektiven: Keramik und kohlenstoffbasierte Materialien sind teuer (3-5 mal teurer als Molybdän) und haben begrenzte Produktionsmöglichkeiten. In den nächsten 10-15 Jahren könnte es 5 % des Marktanteils bei Spezialbeleuchtung (wie UV-Lampen) ausmachen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Keramik- und kohlenstoffbasierte Materialien eignen sich für hochpräzise Miniaturleuchten, aber die Dominanz von Molybdändraht in der traditionellen Beleuchtung ist kurzfristig schwer zu ersetzen.

9.3.3 Neue hochtemperaturleitfähige Materialien

Neue leitfähige Materialien bieten mehr Möglichkeiten für Molybdändraht für die Beleuchtung.

Technologietrends: Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (z. B. TiC-Ni) und Hochtemperatur-Supraleiter (z. B. YBCO) weisen eine hervorragende elektrische Leitfähigkeit (Widerstand $< 10^{-8}$ Ω μm) und eine hohe Temperaturbeständigkeit (>2000 °C) auf. Zweidimensionale Materialien, wie z.B. MoS₂-Folien, machen aufgrund ihrer hohen elektrischen Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit auf sich aufmerksam.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prozesseigenschaften: Neue Materialien erfordern fortschrittliche Abscheidungstechnologien (wie PVD, ALD), und die Dicke wird bei 10-100 nm kontrolliert. Die Produktion muss in einer ultrareinen Umgebung (ISO-Klasse 5) erfolgen, um eine Kontamination durch Verunreinigungen zu vermeiden.

Herausforderungen und Aussichten: Neue Materialtechnologien sind noch nicht ausgereift, und die Kosten sind 5-10 Mal so hoch wie die von Molybdän. In den nächsten 15 bis 20 Jahren könnten Durchbrüche im Bereich der Laserbeleuchtung und der Luft- und Raumfahrt erzielt werden, die einen Marktanteil von <5 % ausmachen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Neue Materialien eignen sich für hochmoderne Anwendungen, aber Molybdändraht ist aufgrund ausgereifter Prozess- und Kostenvorteile immer noch dominant.

9.4 Markt- und Anwendungserweiterung

Das Anwendungsfeld und die Marktnachfrage von Molybdändraht für die Beleuchtung werden sich mit den Veränderungen in der Beleuchtungstechnologie und auf dem Weltmarkt erweitern.

9.4.1 Mögliche Anwendungen in der LED- und Laserbeleuchtung

Obwohl LED- und Laserbeleuchtung den Bedarf an herkömmlichem Molybdändraht reduzieren, hat er in bestimmten Bereichen immer noch Potenzial.

Technologietrend: Molybdändraht als leitfähiges Blei- und Wärmeableitungssubstrat für LED-Lampen erfordert eine hohe elektrische Leitfähigkeit ($>10^7$ S/m) und Wärmeleitfähigkeit (>130 W/m·K). Bei der Laserbeleuchtung wird Molybdändraht zur Stützung von Leuchtstoffen oder Elektroden verwendet und wird hohen Energiedichten ($>10^4$ W/cm²) ausgesetzt.

Prozesseigenschaften: Ultrafeines Ziehen (Durchmesser $<0,02$ mm) und Oberflächenbeschichtung (Al₂O₃, Dicke 50 nm) sind erforderlich, um die Wärmeableitung und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern. Der Versiegelungsprozess muss auf das Saphirsubstrat abgestimmt sein (Koeffizient der Wärmeausdehnungsabweichung $<10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

Herausforderungen und Aussichten: Der Markt für LED- und Laserbeleuchtung wächst schnell (10 % jährliches Wachstum), aber die Verwendung von Molybdändraht macht 5 % des Gesamtmarktes aus. In den nächsten 10 Jahren wird die Nachfrage nach Molybdändraht in High-End-LEDs (z. B. Automobilbeleuchtung) und Laserprojektion voraussichtlich um 15 % steigen.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Verwendung von Molybdändraht in LED- und Laserbeleuchtung verlängert die Marktlebensdauer und gleicht das Schrumpfen des traditionellen Beleuchtungsmarktes aus.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

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

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

9.4.2 Expansion in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Hochtemperaturindustrie

Die Luft- und Raumfahrt sowie die Hochtemperaturindustrie bieten neue Anwendungen für Molybdändraht.

Technologietrends: Molybdändraht wird in der Luft- und Raumfahrtindustrie als Hochtemperaturelektrode ($>2000^{\circ}\text{C}$) und Sensormaterial mit einer Zugfestigkeit von 1500 MPa (Raumtemperatur) benötigt. In der Hochtemperaturindustrie (z. B. Plasmaspritzen, Wärmebehandlungsöfen) wird Molybdändraht als Heizelement verwendet und benötigt eine Kriechfestigkeit (Kriechgeschwindigkeit $< 10^{-7} \text{ s}^{-1}$).

Prozesseigenschaften: Die Molybdän-Rhenium-Legierung (5% Re) und die Oberflächenbeschichtung (z.B. MoSi_2 , Dicke 1-2 μm) müssen entwickelt werden. Die Produktion erfordert Hochvakuum-Sintern ($<10^{-3} \text{ Pa}$) und Präzisionsformverfahren.

Herausforderungen und Perspektiven: Der Luft- und Raumfahrtmarkt stellt extrem hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit, und Molybdändrähte müssen zertifiziert werden (z. B. AS9100). In den nächsten 10 Jahren wird erwartet, dass die Nachfrage in diesem Bereich 10 % des Molybdändrahtmarktes ausmachen wird.

Auswirkungen auf die Anwendung: Die Luft- und Raumfahrt- und Hochtemperaturindustrie erweitert die Anwendungen von Molybdändraht mit hoher Wertschöpfung, um den schrumpfenden Beleuchtungsmarkt auszugleichen.

9.4.3 Globale Marktnachfrage und Analyse der Schwellenländer

Veränderungen in der globalen Marktnachfrage und das Aufkommen neuer Märkte bieten Wachstumschancen für Molybdändraht.

Technologietrends: Der Markt für konventionelle Beleuchtung (z. B. Halogen, HID) wächst in Entwicklungsländern (z. B. Indien, Südostasien) immer noch mit einer jährlichen Rate von 5 % bis 7 %. Die Nachfrage nach High-End-Beleuchtung (z. B. Autoscheinwerfer, Projektionslampen) führte zu einem Anstieg von 10 % bei dotiertem Molybdändraht (Molybdän, Lanthan, Molybdän-Rhenium). Es wird erwartet, dass der globale Markt für Molybdändraht von 2025 bis 2030 eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 3 % beibehalten wird.

Marktmerkmale: Auf China entfallen 70 % der weltweiten Molybdändrahtproduktion, die nach Europa, Nordamerika und Asien exportiert wird. Es wird erwartet, dass die Schwellenländer (z. B. Afrika, Lateinamerika) aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach Infrastrukturbauten 15 % des Weltmarktes ausmachen werden.

Herausforderungen und Perspektiven: Der europäische und amerikanische Markt hat strenge Umweltschutzauflagen (RoHS, REACH) und verlangt grüne Produktionsprozesse. In den nächsten 10 Jahren wird die Nachfrage nach kostengünstiger Beleuchtung in den Schwellenländern zu einem Anstieg des Umsatzes von Molybdändraht um 20 % führen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Auswirkungen auf die Anwendung: Das Wachstum der Schwellenländer und die Expansion von High-End-Anwendungen werden die anhaltende Wettbewerbsfähigkeit von Molybdändraht auf dem globalen Beleuchtungsmarkt sicherstellen.



Molybdändraht für die Beleuchtung von CTIA

Anhang

A. Glossar

Molybdändraht : Ein schlanker Metalldraht mit Molybdän als Hauptbestandteil, der häufig in Hochtemperaturbeleuchtungsgeräten verwendet wird.

Reiner Molybdändraht: Molybdändraht mit einer Reinheit von $\geq 99,95\%$, ohne Zusatz von Dotierungselementen.

Molybdän-Lanthan-Draht : Molybdändraht, dotiert mit Lanthanoxid, um die Hochtemperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit zu verbessern.

Molybdän-Rheniumdraht : Molybdändraht, dotiert mit Rheniumelement, um die Duktilität und Oxidationsbeständigkeit zu verbessern.

Schwarzer Molybdändraht: Molybdändraht mit einer schwarzen Oxidschicht auf der Oberfläche, unpoliert.

Gereinigter Molybdändraht: Molybdändraht, der poliert oder gereinigt wurde, mit einer hellen Oberfläche.

Pulvermetallurgie : Die Technologie zur Vorbereitung von Metallwerkstoffen durch Pulverpressen, Sintern und andere Prozesse.

Drahtziehverfahren : Ein Verarbeitungsverfahren zum Strecken eines Metallrohrlings durch eine Matrize, um ein Filament zu bilden.

Hochtemperaturfestigkeit: Die Zugfestigkeit und Verformungsbeständigkeit des Materials bei hohen Temperaturen.

Oxidationsbeständigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, oxidativer Korrosion bei hohen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Temperaturen zu widerstehen.

Halogenzyklus: Der Prozess der Verlängerung der Lebensdauer des Glühfadens durch die chemische Reaktion von Halogenas mit dem Glühfaden in einer Halogenlampe.

Röntgenfluoreszenz (RFA): Eine Detektionstechnik, bei der Röntgenstrahlen verwendet werden, um eine Probe für die Elementaranalyse anzuregen.

Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES): Eine Technik zur Elementquantifizierung durch Plasmaanregung.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Ein hochauflösendes Mikroskop zur Beobachtung der Oberflächentopographie von Materialien.

Spezifischer Widerstand: Ein Maß für die Fähigkeit eines Materials, einem elektrischen Strom zu widerstehen, gemessen in Ohmmetern.

Wärmeausdehnungskoeffizient: Der Grad, in dem sich das Volumen eines Materials ausdehnt, wenn es mit der Temperatur zunimmt.

RoHS: Beschränkung gefährlicher Stoffe.

Green Manufacturing: Eine Produktionsmethode mit dem Ziel der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Kohlenstoffarmut.

B. Verweise

- [1] Handbuch der Werkstoffe für Molybdän und Molybdänlegierungen, Metallurgical Industry Press, 2018.
- [2] "Vorbereitungsprozess und Technologie von Molybdändraht", Chinesisches Journal für Nichteisenmetalle, 2022.
- [3] ASTM B386-03, Standardspezifikation für Platten, Bleche, Bänder und Folien aus Molybdän und Molybdänlegierungen.
- [4] GB/T 3462-2017, Molybdänstäbe und -platten.
- [5] Fortschritte in der Pulvermetallurgietechnologie, Materialwissenschaft und -technik, 2023.
- [6] "Optimierung des Molybdändrahtziehprozesses", Metallverarbeitung, 2021.
- [7] "Leistungsverbesserungsmechanismus von dotiertem Molybdändraht", International Materials Review, 2020.
- [8] "Anwendung der Oberflächenbehandlungstechnologie in Molybdändraht", Surface Engineering, 2022.
- [9] RoHS-Richtlinie 2011/65/EU, Europäische Union, 2011.
- [10] Globaler Molybdän-Marktanalysebericht, Market Research Future, 2024.
- [11] Materialien und Technologie von Beleuchtungsgeräten, Zeitschrift für Lichttechnik, 2023.
- [12] "Halogenlampen und Gasentladungslampentechnologie", Technischer Bericht des Internationalen Instituts für Beleuchtung, 2022.
- [13] Forschung zu Beleuchtungsmaterialien für die Automobilindustrie, Automotive Engineering, 2021.
- [14] "Fortschritte in der Spezialbeleuchtungstechnik", Optik und Optoelektronische Technologie, 2023.
- [15] Materialien für elektronische Vakuumgeräte, Verlag der Elektronikindustrie, 2020.
- [16] EDM-Technologie, Zeitschrift für Maschinenbau, 2022.
- [17] "Materialien und Anwendungen von Hochtemperaturöfen", Materialwissenschaft und -technik,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

2021.

- [18] Fortschrittliche Werkstoffe und Fertigungstechnologie, Science Press, 2023.
- [19] Intelligente Fertigung und Industrie 4.0, China Machine Press, 2022.
- [20] "Fortschritte in der grünen Fertigungstechnologie", Umweltwissenschaft und -technologie, 2023.
- [21] Beleuchtungsmaterialien und -technologie, Zeitschrift für Lichttechnik, 2024.
- [22] ISO 22447, Molybdän- und Molybdänlegierungsprodukte, Internationale Organisation für Normung, 2019.
- [23] RoHS-Richtlinie 2011/65/EU, Europäische Union, 2011.
- [24] Zeitschrift für Materialtechnologie in der Luft- und Raumfahrt, Zeitschrift für Luftfahrtmaterialien, 2023.
- [25] Materialprüftechnik, Science Press, 2022.
- [26] GB/T 4182-2000, "Methoden zur chemischen Analyse von Molybdän und Molybdänlegierungen", Normungsverwaltung der Volksrepublik China, 2000.
- [27] "Zerstörungsfreie Prüftechnologie", Chinesische Gesellschaft für Maschinenbau, 2023.
- [28] "Leistungsprüfung von Hochtemperaturmaterialien", Materialwissenschaft und -technik, 2021.
- [29] "Elektrische Leistungsprüftechnologie", Electronic Industry Press, 2020.