

照明用モリブデン線の百科事典

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、レアアース産業向けのインテリジェント製造のグローバル
リーダー

[著作権および法的責任に関する声明](#)

CTIA GROUP の紹介

CTIA GROUP LTD は、CHINATUNGSTEN ONLINE によって設立された独立した法人格を持つ完全子会社であり、インダストリアル インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントで統合された柔軟な設計と製造を促進することに専念しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、www.chinatungsten.com を出発点として 1997 年に設立され、中国初の一流のタングステン製品ウェブサイトであり、タングステン、モリブデン、希土類産業に焦点を当てた国の先駆的な電子商取引企業です。タングステンとモリブデンの分野での深い経験の約 30 年を活用して、CTIA グループは、タングステン化学薬品、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、およびモリブデン合金の分野で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダになり、親会社の優れた設計および製造能力、優れたサービス、およびグローバルなビジネスの評判を継承しています。

過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、ニュース、価格、タングステン、モリブデン、希土類に関連する 100 万ページ以上の 20 以上の言語をカバーする 200 以上の多言語タングステンとモリブデンの専門家のウェブサイトを設定しています。2013 年以来、WeChat の公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 40,000 を超える情報を公開し、約 100,000 人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万人の業界専門家に毎日無料の情報を提供しています。そのウェブサイトクラスターと公式アカウントへの累積訪問数が数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類業界向けのグローバルで権威ある情報ハブとして認められ、24 時間年中無休の多言語ニュース、製品パフォーマンス、市場価格、市場動向サービスを提供しています。

CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験に基づいて、CTIA GROUP は顧客のパーソナライズされたニーズを満たすことに焦点を当てています。AI 技術を活用し、特定の化学組成や物性(粒子サイズ、密度、硬度、強度、寸法、公差など)を持つタングステン・モリブデン製品をお客様と共同で設計・製造します。型開きから試作、仕上げ、包装、物流まで一貫サービスを提供。過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 130,000 以上の顧客に 500,000 種類以上のタングステンおよびモリブデン製品の研究開発、設計、および生産サービスを提供し、カスタマイズされた、柔軟でインテリジェントな製造の基盤を築いてきました。この基盤に依拠して、CTIA GROUP は、インダストリアルインターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントな製造と統合イノベーションをさらに深化させます。

ハンズ博士と CTIA GROUP の彼のチームは、30 年以上の業界経験に基づいて、タングステン、モリブデン、希土類に関連する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、公開しています。ハン博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引および国際取引、ならびに超硬合金および高密度合金の設計および製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外のタングステンおよびモリブデン製品の有名な専門家です。CTIA GROUP のチームは、専門的で高品質な情報を業界に提供するという原則を堅持し、生産慣行と市場顧客のニーズに基づいて技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に作成し、業界で広く賞賛されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流をしっかりと支え、世界のタングステンおよびモリブデン製品製造および情報サービスのリーダーになるための原動力となっています。



著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

ディレクトリ

第1章 はじめに

- 1.1 モリブデンワイヤーの定義と概要
 - 1.1.1 モリブデン線の化学組成と物性
 - 1.1.2 照明分野におけるモリブデン線のコア機能
 - 1.1.3 モリブデン線と他の金属材料との比較
- 1.2 モリブデン線の歴史と発展
 - 1.2.1 モリブデンの発見と初期の産業応用
 - 1.2.2 照明技術におけるモリブデン線の進化
 - 1.2.3 主要な技術的ブレークスルーとマイルストーン
- 1.3 現代の照明業界におけるモリブデンワイヤーの重要性
 - 1.3.1 モリブデン線と従来のタングステン線の性能比較
 - 1.3.2 高効率照明におけるモリブデン線の戦略的位置
 - 1.3.3 省エネランプにおけるモリブデン線の役割
- 1.4 モリブデン線の研究と応用状況
 - 1.4.1 国内外のモリブデン線材技術の研究の進展
 - 1.4.2 世界の市場規模とアプリケーションの分布
 - 1.4.3 技術的なボトルネックと将来の課題

第2章 照明用モリブデンワイヤーの分類

- 2.1 化学組成による分類
 - 2.1.1 純粋なモリブデンワイヤー
 - 2.1.2 モリブデンランタンワイヤー
 - 2.1.3 モリブデンレニウムワイヤー
 - 2.1.4 その他のドーピングモリブデンワイヤー
- 2.2 用途による分類
 - 2.2.1 白熱灯用モリブデン線
 - 2.2.2 ハロゲンランプ用モリブデン線
 - 2.2.3 蛍光灯およびガス放電ランプ用モリブデン線
 - 2.2.4 特殊ランプ用モリブデン線
- 2.3 仕様による分類
 - 2.3.1 直径範囲と公差
 - 2.3.2 表面処理の種類
 - 2.3.3 ワイヤーフォーム

第3章 照明用モリブデン線の特性

- 3.1 照明用モリブデン線の物理的特性
 - 3.1.1 照明用モリブデン線の密度と融点
 - 3.1.2 照明用モリブデン線の熱膨張係数と温度依存性
 - 3.1.3 照明用モリブデン線の熱伝導率と伝導率解析
- 3.2 照明用モリブデン線の化学的特性
 - 3.2.1 照明用モリブデン線の耐酸化性と高温安定性

著作権および法的責任に関する声明

- 3.2.2 照明用モリブデン線の耐食性
- 3.2.3 照明用モリブデン線と不活性ガス・真空環境との相互作用
- 3.3 照明用モリブデン線の機械的特性
 - 3.3.1 照明用モリブデン線の高温引張強度とクリープ特性
 - 3.3.2 照明用モリブデン線の延性と靱性
 - 3.3.3 照明用モリブデン線の耐疲労性と耐破壊性
- 3.4 照明用モリブデン線の電気的特性
 - 3.4.1 照明用モリブデン線の抵抗率と温度係数
 - 3.4.2 照明用モリブデン線の電流容量
 - 3.4.3 照明用モリブデン線のアーク安定性
- 3.5 照明用モリブデン線の光学特性
 - 3.5.1 照明用モリブデン線の表面仕上げと反射率
 - 3.5.2 照明用モリブデン線の高温放射特性とスペクトル解析
 - 3.5.3 照明用モリブデン線の表面酸化が光学特性に及ぼす影響
- 3.6 CTIA GROUP LTD の照明 MSDS 用モリブデン線

第4章 照明用モリブデン線の調製・製造技術

- 4.1 照明用モリブデン線の原材料選択と前処理
 - 4.1.1 モリブデン粉末の純度要件と粒度制御
 - 4.1.2 ドーピング材料(ランタン、レニウムなど)の選択と比率
 - 4.1.3 原材料の前処理(洗浄、スクリーニング、混合)
- 4.2 照明用モリブデン線の製錬と成形
 - 4.2.1 粉末冶金プロセス
 - 4.2.2 真空焼結・高温焼結技術
 - 4.2.3 ホットプレス、鍛造、圧延プロセス
- 4.3 照明用モリブデン線の描画プロセス
 - 4.3.1 粗絞り、細絞り、超細絞り技術
 - 4.3.2 潤滑剤の選択と金型設計の最適化
 - 4.3.3 中間アニーリングと最終アニーリングのプロセス
- 4.4 照明用モリブデン線の表面処理技術
 - 4.4.1 化学洗浄と電解研磨
 - 4.4.2 ブラックモリブデンワイヤーとクリーニングされたモリブデンワイヤーのプロセスの違い
 - 4.4.3 表面コーティング技術(例:抗酸化コーティング)
- 4.5 照明用モリブデン線のドーピングプロセス
 - 4.5.1 ランタン、レニウム、その他の元素のドーピング方法
 - 4.5.2 ドーピングの均一性管理
 - 4.5.3 高温性能を高めるためのドーピングのメカニズム
- 4.6 照明用モリブデン線の品質管理とプロセス最適化
 - 4.6.1 プロセスパラメータのオンライン監視

著作権および法的責任に関する声明

4.6.2 欠陥制御(亀裂、気孔率、介在物)

4.6.3 生産性とコストの最適化

第5章 照明用モリブデン線の用途

5.1 白熱灯

5.1.1 フィラメントのサポートと導電性機能

5.1.2 高温環境での安定性と寿命

5.2 ハロゲンランプ

5.2.1 ハロゲンサイクルにおけるモリブデン線の主な役割

5.2.2 耐高温性と耐薬品性

5.3 ガス放電ランプ

5.3.1 高輝度放電ランプ用モリブデン線(HID)

5.3.2 蛍光灯電極材料

5.4 特殊照明

5.4.1 ヘッドランプとフォグランプ

5.4.2 プロジェクションランプ、ステージ照明、写真ライト

5.4.3 紫外線ランプ、赤外線ランプ、医療用照明

5.5 その他の適用分野

5.5.1 真空電子機器(チューブ、X線管)

5.5.2 放電加工用モリブデン線(EDM)

5.5.3 高温炉発熱体と熱電対

第6章 照明用モリブデン線の製造設備

6.1 ランプ用モリブデン線原料加工装置

6.1.1 モリブデン粉末粉碎およびスクリーニング装置

6.1.2 ドーパン混合および均質化装置

6.1.3 原料精製装置

6.2 ランプ用モリブデン線製錬・成形装置

6.2.1 真空焼結炉と大気保護炉

6.2.2 ホットプレスおよび多方向鍛造装置

6.2.3 精密圧延機

6.3 照明用モリブデン線用伸線装置

6.3.1 マルチパス伸線機と連続伸線装置

6.3.2 高精度金型と潤滑システム

6.3.3 焼鈍炉と温度制御システム

6.4 照明用モリブデン線の表面処理装置

6.4.1 電解研磨および化学洗浄装置

6.4.2 表面コーティング堆積装置

6.4.3 表面品質試験装置

6.5 照明用モリブデンワイヤーの試験および品質管理機器

6.5.1 顕微鏡(光学、電子)および表面分析装置

6.5.2 引張試験機と硬さ試験機

著作権および法的責任に関する声明

- 6.5.3 組成分析装置(ICP、XRF)
- 6.5.4 環境シミュレーション試験装置

第7章 照明用モリブデンワイヤーの国内外の規格

- 7.1 照明用モリブデン線の国内規格
 - 7.1.1 GB/T 3462-2017
 - 7.1.2 GB/T 4191-2015
 - 7.1.3 GB/T 4182-2000
 - 7.1.4 その他の関連する国内規格
- 7.2 照明用モリブデン線の国際規格
 - 7.2.1 モリブデンおよびモリブデン合金ロッド、バー、およびワイヤーの ASTM B387 標準仕様
 - 7.2.2 ISO 22447 モリブデンおよびモリブデン合金製品
 - 7.2.3 JIS H 4461
 - 7.2.4 その他の ISO 規格
- 7.3 照明用モリブデン線の異なる規格間の比較と変換
 - 7.3.1 国内外の規格の技術パラメータの比較
 - 7.3.2 標準的な変換方法
 - 7.3.3 国際規格と国内規格の相互承認に関する分析
- 7.4 照明用モリブデン線の環境保護と RoHS 規制
 - 7.4.1 RoHS 指令(EU 2011/65 / EU)モリブデン線材の要件
 - 7.4.2 中国版 RoHS(電子情報製品からの汚染防止措置)
 - 7.4.3 モリブデンワイヤーの製造における環境コンプライアンス
 - 7.4.4 グリーン製造と持続可能な開発の要件
- 7.5 照明用モリブデンワイヤーの業界標準とエンタープライズ仕様
 - 7.5.1 中国非鉄金属工業会規格
 - 7.5.2 照明業界の内部仕様

第8章 照明用モリブデン線の検出技術

- 8.1 照明用モリブデン線の化学組成試験
 - 8.1.1 蛍光 X 線分析(XRF)
 - 8.1.2 誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES)
 - 8.1.3 原子吸光分光法(AAS)
- 8.2 照明用モリブデン線の物性試験
 - 8.2.1 寸法および公差測定(レーザー顕微鏡、顕微鏡)
 - 8.2.2 密度テストと品質分析
 - 8.2.3 引張強度、延性、硬さの試験
- 8.3 照明用モリブデン線の表面品質検査
 - 8.3.1 光学顕微鏡と表面粗さ試験
 - 8.3.2 走査型電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分光法(EDS)
 - 8.3.3 表面欠陥検出技術
- 8.4 照明用モリブデン線の高温性能試験
 - 8.4.1 高温耐酸化性と熱安定性試験

著作権および法的責任に関する声明

- 8.4.2 熱サイクルと耐クリープ性試験
- 8.4.3 高温機械的特性試験
- 8.5 照明用モリブデン線の電气的性能試験
 - 8.5.1 抵抗率と導電率のテスト
 - 8.5.2 温度係数とアーク安定性解析
 - 8.5.3 高温電气的性能試験
- 8.6 照明用モリブデン線の非破壊検査
 - 8.6.1 超音波探傷技術
 - 8.6.2 X線探傷とCTスキャン
 - 8.6.3 磁性粒子試験と渦電流試験

第9章 照明用モリブデン線の今後の開発動向

- 9.1 新材料・ドーピング技術
 - 9.1.1 新しいドーブ元素の探索
 - 9.1.2 ナノスケールモリブデンワイヤーの研究開発と応用
 - 9.1.3 複合材料およびモリブデン基合金
- 9.2 インテリジェントでグリーンな生産プロセス
 - 9.2.1 インテリジェント製造とインダストリー4.0テクノロジー
 - 9.2.2 グリーン生産プロセスと廃棄物リサイクル
 - 9.2.3 エネルギー最適化と低炭素製造
- 9.3 照明用モリブデン線の代替材料
 - 9.3.1 タングステンベースの材料と新合金
 - 9.3.2 セラミックスとカーボンベース材料
 - 9.3.3 新興の高温導電性材料
- 9.4 市場とアプリケーションの拡大
 - 9.4.1 LEDおよびレーザー照明の潜在的なアプリケーション
 - 9.4.2 航空宇宙および高温産業の拡大
 - 9.4.3 世界市場の需要と新興市場分析

虫垂

- A. 用語集
- B. 参考文献

第1章 はじめに

1.1 モリブデン線の定義と概要

1.1.1 モリブデン線の化学組成と物性

モリブデン線 は、モリブデン金属を主成分とする細長い金属材料であり、モリブデン(化学記号 Mo、原子番号 42)は、そのユニークな物理的および化学的特性のために高融点金属であり、高温環境の工業製品で広く使用されています。モリブデンワイヤーは通常、非常に高い純度の高純度の形で製造され、その一貫した性能を保証します。一部のモリブデンワイヤーには、ランタンやレニウムなどの微量元素がドーピングされており、さまざまなアプリケーションシナリオのニーズに合わせて特定の特性を強化しています。モリブデンの結晶構造は体心立方体であるため、モリブデンワイヤーは優れた機械的強度と高温での変形に対する耐性があり、極端な動作条件に耐えることができます。

モリブデン線は融点が極めて高く、照明器具の高温環境にも十分対応できます。その高密度は材料に固体の物理的特性を与え、熱伝導性と電気伝導性は優れているため、電気用途で有利です。モリブデンワイヤーは室温で良好な化学的安定性を持ち、酸、アルカリ、その他の化学物質の侵食に耐えることができますが、高温で空気にさらされると酸素と反応して酸化物を形成しやすいため、ランプやランタンでは通常、酸化反応が材料特性を損なうのを防ぐために、真空または不活性ガス(アルゴンや窒素など)の環境保護が必要です。

モリブデンワイヤーの熱膨張特性は、照明分野での応用にとって重要な要素の1つです。その熱膨張係数は、ホウケイ酸ガラスなどの特定のガラス材料に高度に適合しているため、モリブデンワイヤーは照明器具製造のガラスと金属の封止プロセスに理想的な選択肢であり、気密性と構造安定性を確保します。さらに、モリブデンワイヤーの表面特性は、その特性に大きな影響を与えます。電解研磨または化学洗浄により、モリブデンワイヤーの表面は高い仕上がりを実現し、アーク放電中の凹凸を減らし、それによって照明器具の安定性と光学性能を向上させることができます。ドーピングされたモリブデン線(e.g. モリブデンランタンワイヤー またはモリブデンレニウムワイヤー)希土類または他の元素を添加することにより、高温での材料の耐クリープ性と再結晶温度が大幅に向上し、要求の厳しい照明アプリケーションシナリオにより適しています。

1.1.2 照明分野におけるモリブデン線のコア機能

照明分野でのモリブデンワイヤーの適用は、フィラメントサポート、電極材料、シーリングコンポーネント、ハロゲンサイクリングのサポートなど、以下に詳述するさまざまな主要機能をカバーしています。

フィラメントサポート: 白熱灯やハロゲンランプでは、タングステンフィラメントを支える構造材料としてモリブデンフィラメントがよく使用されます。タングステンフィラメントは高温での作業時に変形やたるみが発生しやすいですが、モリブデンフィラメントは、優れた高温強度と耐クリープ性を備えているため、フィラメントをしっかりと支え、その形状を維持できるため、ランプの発光効率と耐用年数を確保できます。この支持機能は、フィラメントが融点に長時間近づく可能性のある高温環境で特に重要です。

著作権および法的責任に関する声明

電極材料: ガス放電ランプ(高強度放電ランプ、蛍光灯など)では、モリブデン線が電極材料として機能し、アークをガイドして電流を伝送する役割を果たします。その高い導電性とアーク腐食に対する耐性により、瞬間的な高電圧および高温アークの衝撃に耐えることができ、電極構造の完全性を維持します。たとえば、高圧ナトリウムランプまたはメタルハライドランプでは、モリブデンワイヤ電極は、照明器具が点灯し、発光し続けるように、極端な条件下で安定して動作する必要があります。

シーリング部品: モリブデンワイヤはガラスの熱膨張係数と一致するため、照明器具製造におけるガラスと金属のシーリングに最適な材料となっています。シーリングコンポーネントは、照明器具内部の気密性を確保し、不活性ガスの漏れや外気の侵入を防ぐ必要があるため、ランプ内部の環境を保護し、耐用年数を延ばすことができます。モリブデンワイヤの化学的安定性により、ランプ内部の高温ガス環境での腐食に耐えることができ、シーリング部品の長期的な信頼性を確保します。

ハロゲンサイクルアシスタンス: ハロゲンランプでは、モリブデンフィラメントがランプ内のハロゲンガス(ヨウ素や臭素など)とともにハロゲンサイクルプロセスに関与しています。ハロゲンサイクルは、蒸発したタングステンを化学反応によってフィラメントに戻し、発光効率を高めながらフィラメントの寿命を大幅に延ばします。モリブデンワイヤの耐薬品性により、ハロゲン環境で攻撃されないため、サイクルプロセスの安定性が維持され、ハロゲンランプの高性能がサポートされます。

モリブデンワイヤの汎用性は、従来の照明(白熱灯、ハロゲンランプなど)と特殊照明(自動車用ランプ、ステージランプ、医療用ランプなど)の両方で不可欠な役割を果たします。また、ハイパワー放電ランプなどの新しい照明技術におけるその可能性も、現代の照明業界の重要な柱となりつつあります。

1.1.3 モリブデン線と他の金属材料との比較

照明におけるモリブデンワイヤのユニークな利点は、タングステン、銅、ニッケル、プラチナなどの一般的に使用される金属材料との詳細な比較によって実証できます。

タングステンとの対比: タングステンは、融点が非常に高いため、白熱フィラメントに最適な材料であり、発光素子としての直接使用に適しています。高温でのタングステンの発光効率はモリブデンよりも優れていますが、その熱膨張係数はガラスのそれとわずかに互換性が低く、高温で再結晶しやすく、材料の脆化を引き起こします。対照的に、モリブデンワイヤは高温での耐クリープ性と構造安定性に優れているため、フィラメントサポートや電極材料として特に適しています。さらに、モリブデンの原材料コストと加工の難しさはタングステンよりも低いため、より経済的で、高温安定性とシーリング機能を必要とするシナリオで広く使用されています。

銅との対比: 銅は非常に高い電気伝導率と優れた延性を備えていますが、融点が低いため、照明デバイスに見られる高温に耐えることができません。また、銅の熱膨張係数はガラスとはかなり異なるため、ガラスと金属の封止には適していません。モリブデンワイヤの高温安定性とガラスとの互換性により、照明器具の製造、特に高温耐性と気密性を必要とするシナリオで広く使用されています。

著作権および法的責任に関する声明

とする用途では、銅よりもはるかに優れています。

ニッケルとの比較:ニッケルは、その耐食性と加工性から、一部の低電力ランプの電極材料として使用されています。しかし、ニッケルは融点が低く、高温での強度が不十分であるため、高強度の放電ランプやハロゲンランプの厳しい要件を満たすことができません。高温アークおよび化学的に腐食性の環境でのモリブデンワイヤーの優れた特性により、高性能照明用途に適した材料になります。

プラチナとのコントラスト:プラチナは、その高い化学的安定性と耐酸化性により、ハイエンドの特殊ランプに時折使用されます。しかし、プラチナはモリブデンよりも融点が低く、コストも非常に高いため、産業界での大規模な用途には限界があります。モリブデン線は、性能とコストのバランスが取れているため、幅広い照明用途や高温用途に適しています。

要約すると、モリブデンワイヤは、特に高温安定性と密閉された接続を必要とするアプリケーションにおいて、高温性能、シーリング能力、化学的安定性、および費用対効果の組み合わせにより、照明分野で独自の位置を占めています。

1.2 モリブデン線の歴史と発展

1.2.1 モリブデンの発見と初期の産業応用

モリブデンの発見は 18 世紀の終わりにさかのぼります。1778 年、スウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーラーは、化学実験を通じてモリブデン酸をモリブデン酸から分離し、モリブデン研究の基礎を築きました。1781 年、ピーター・ジェイコブ・ヒエムは、モリブデン酸を還元して金属モリブデンを調製することに成功し、モリブデンの公式発見をマークしました。19 世紀の終わりに、冶金技術の進歩に伴い、モリブデンは工業分野に参入し始め、当初は主に鋼合金の製造に使用され、鋼の強度、耐熱性、耐食性を高めました。20 世紀初頭、モリブデンの耐火性が徐々に認識され、その高融点と高温強度により、電気炉発熱体や真空装置などの高温産業への応用が始まりました。

照明の分野では、19 世紀末の白熱灯の開発からモリブデンの応用が始まりました。初期の白熱灯は、フィラメントとしてカーボンフィラメントまたはプラチナフィラメントを使用していましたが、カーボンフィラメントは寿命が短く、プラチナフィラメントのコストが高いため、大量生産のニーズを満たすことが困難でした。モリブデンは、特に真空または不活性ガス環境での高融点と優れた機械的特性により、フィラメント支持体および電極材料として試みられてきました。20 世紀初頭、モリブデン線は、他の金属よりもガラスの熱膨張によく一致し、ランプの気密性と信頼性が大幅に向上したため、白熱灯のシール部品にモリブデン線が使用され始めました。

1.2.2 照明技術におけるモリブデン線の進化

照明技術におけるモリブデンワイヤーの応用は、照明器具技術の発展とともにいくつかの進化段階を経てきました。

著作権および法的責任に関する声明

白熱灯の時代(19世紀後半から20世紀初頭):白熱灯の発明により、モリブデン線が早期に実用化されました。トーマス・エジソンらが白熱灯を開発したとき、フィラメントサポートとシーリング材の選択という問題に直面しました。モリブデンワイヤーは、高温強度とガラスとの適合性により、タングステンフィラメントを支え、密閉された接合部を形成するために使用されました。1900年代に入ると、モリブデン線の延伸工程が徐々に成熟し、より細く均一なモリブデン線が製造され、白熱灯の精密製造ニーズに応えました。

ハロゲンランプの台頭(20世紀半ば):1950年代には、ハロゲンランプの発明により、モリブデン線に対する要求が高まりました。ハロゲンランプは、非常に高温で動作し、化学的に活性なハロゲンガスで満たされています。モリブデンワイヤーは、その高温耐性と耐薬品性により、電極や支持材料に最適です。この時期にドーピングされたモリブデン線(例えば、モリブデンランタン線)が開発され、高温性能がさらに向上しました。

ガス放電ランプと特殊照明(20世紀後半):高輝度放電ランプ(HID)、蛍光灯、特殊照明(自動車用ランプ、プロジェクションランプなど)の普及に伴い、モリブデン線の適用範囲はさらに拡大しました。アーク放電環境での安定性とガラスへのシーリングの信頼性により、ガス放電ランプの電極やシーリング部品に最適な材料となっています。

現代の照明技術(21世紀):LED照明は徐々に従来の照明器具に取って代わりつつありますが、モリブデン線は、高出力の特殊照明(ステージ照明、医療用ランプなど)や従来の照明器具の株式市場では依然として不可欠です。さらに、真空電子デバイス、航空宇宙高温部品、その他の分野でのモリブデンワイヤーの応用可能性がさらに探求されており、その分野横断的な適応性が示されています。

1.2.3 主要な技術的ブレークスルーとマイルストーン

照明分野でのモリブデンワイヤーの幅広い用途は、次の主要な技術的ブレークスルーによるものです。

粉末冶金技術の成熟:20世紀初頭、粉末冶金技術の進歩により、高純度のモリブデン線を大規模に製造することが可能になりました。モリブデン粉末をプレス、焼結、鍛造してブランクにすることにより、その後の延伸プロセスに高品質の原料を提供します。

伸線プロセスの改善:1920年代には、マルチパス伸線技術とダイ設計の最適化により、モリブデン線の直径が大幅に縮小され、精密ランプのニーズを満たすマイクロサイズのフィラメントを製造できるようになりました。アニーリングプロセスの導入により、モリブデンワイヤーの延性と韌性が向上し、加工中の破壊率が低下します。

ドーピング技術の発展:1950年代、酸化ランタンやレニウムなどの元素をドーピングすることにより、モリブデン線の高温耐クリープ性と再結晶温度が大幅に向上しました。例えば、モリブデンランタンワイヤーは、純粋なモリブデンワイヤーよりも数百°C高い再結晶温度を有し、より厳しい条件下での使用を可能にします。

著作権および法的責任に関する声明

表面処理技術の進歩:1980年代には、電解研磨と化学洗浄技術の適用により、モリブデン線の表面仕上げが大幅に改善され、アーク放電の不均一性が減少し、照明器具の寿命が延びました。

自動生産の導入:21世紀の初めに、自動化された生産ラインの広範な適用により、モリブデンワイヤー生産の一貫性と効率が向上し、生産コストが削減され、世界市場におけるモリブデンワイヤーの競争力がさらに向上しました。

これらの技術的ブレークスルーは、照明分野でのモリブデンワイヤーの適用を促進するだけでなく、他の高温産業分野でのモリブデンワイヤーの拡大の基礎を築きます。

1.3 現代の照明業界におけるモリブデン線の重要性

1.3.1 モリブデン線と従来のタングステン線の性能比較

モリブデン線と タングステン線 は、照明業界で最も一般的に使用される 2 つの高温金属材料です。以下は、複数の側面からの詳細な比較です。

高温性能:タングステンの融点はモリブデンの融点よりも高いため、白熱灯の発光フィラメントとしてより適しており、高温の発光タスクに直接耐えます。ただし、モリブデンは高温での耐クリープ性と構造安定性が優れているため、特に長期的な形状保持が必要なシナリオでは、支持材料または電極として適しています。

熱膨張特性:モリブデンの熱膨張係数は、ホウケイ酸ガラスなどのシーリング材料と高度に一致しており、信頼性の高い気密シールを形成できます。タングステンの熱膨張係数はガラスとの相溶性がわずかに低く、シーリングには追加の遷移材料が必要になることが多く、製造の複雑さが増します。

化学的安定性:ハロゲンランプのハロゲンガス環境では、モリブデン線の耐食性はタングステンよりも優れており、ハロゲンガスの化学的攻撃に効果的に抵抗し、ハロゲンサイクルプロセスをサポートし、ランプの寿命を延ばすことができます。

コストと加工性:モリブデンはタングステンよりも原材料と加工コストが低く、その延伸および成形プロセスは比較的単純であるため、大規模生産に適しています。タングステンは、特に極細線の製造において、加工が難しく、歩留まりが低い。

電気的特性:タングステンとモリブデンの抵抗率は似ていますが、モリブデンはガス放電ランプのアーク安定性が優れており、瞬間的な高電圧および高温アークの衝撃に耐える電極材料として適しています。

要約すると、モリブデン線とタングステン線は照明装置で補完的な関係を形成し、モリブデン線は、その優れたシール性能、化学的安定性、経済性により、支持、電極、およびシーリング機能に広く使用されていますが、タングステンワイヤーは主に発光フィラメントに使用されます。

著作権および法的責任に関する声明

1.3.2 高効率照明におけるモリブデン線の戦略的な位置

高効率照明(ハロゲンランプ、高輝度放電ランプなど)は、材料の高温性能、化学的安定性、および電気的特性に対するより高い要件を提唱しており、モリブデンワイヤは次の側面で戦略的な位置を示しています。

ハロゲンランプの重要な役割:ハロゲンランプは、ハロゲンサイクルにより、より高い発光効率と長寿命を実現します。電極および支持材料として、モリブデン線はハロゲンガスの高温および化学的攻撃に耐える必要があり、その優れた耐食性と高温強度によりランプの安定した動作が保証され、ハロゲンランプの高効率をキーサポートします。

高輝度放電ランプの応用:メタルハライドランプや高圧ナトリウムランプなどの高輝度放電ランプでは、電極材料としてモリブデン線は、瞬間的な高電圧および極端な高温アーク環境に耐える必要があります。そのアーク安定性と高温耐性により、かけがえのない材料となり、照明器具の迅速な起動と連続的な発光を保証します。

特殊照明の信頼性:自動車のヘッドランプ、プロジェクションランプ、舞台照明では、照明器具は振動や高温などの複雑な環境でも安定して動作する必要があります。モリブデンワイヤの高い信頼性とガラスでシールする能力により、照明器具の耐久性と性能の安定性が保証されます。

省エネと環境保護のサポート:モリブデンワイヤの高効率と長寿命の特性は、エネルギー効率と環境保護のための現代の照明業界の要件を満たす省エネランプとランタンの設計をサポートします。その製造および使用プロセスは、欧州連合の RoHS 指令などの厳しい環境基準も満たしています。

モリブデンワイヤの戦略的な位置は、特に従来の照明を高効率照明に変換する際に、高性能、長寿命、省エネの方向に照明技術の開発を促進する能力に反映されています。

1.3.3 省エネランプにおけるモリブデン線の役割

省エネ照明器具(ハロゲンランプ、コンパクト蛍光灯、高輝度放電ランプなど)は現代の照明の主流であり、モリブデン線は其中で重要な役割を果たしています。

ハロゲンランプ:モリブデンフィラメントは、ハロゲンサイクルをサポートすることにより、フィラメントの寿命を延ばし、エネルギー消費を削減します。モリブデンフィラメントの信頼性は、従来の白熱灯と比較してハロゲンランプの発光効率がかなりの割合を占めているため、この利点を達成するための鍵であり、高温および化学的攻撃環境での照明器具の安定した動作を保証します。

コンパクト蛍光灯:コンパクト蛍光灯では、モリブデン線が電極材料として機能し、蛍光放電の開始と維持を担当します。その高い導電性とアーク腐食に対する耐性により、照明器具の迅速な起動と長期安定性が保証され、エネルギー効率の高い照明の高効率の要件を満たします。

高輝度放電ランプ:高輝度放電ランプの発光効率は、従来の白熱灯の発光効率をはるかに

著作権および法的責任に関する声明

を超えており、高効率照明の代表です。電極およびシーリング材料として、モリブデンワイヤーは高温高圧環境でのランプの動作をサポートし、エネルギー効率を大幅に向上させます。

環境保護特性:モリブデンワイヤーの製造と使用は、厳格な環境保護規制に準拠し、鉛、水銀、その他の有害物質を含まず、グリーン照明の要件を満たしています。また、耐久性が高いため、照明器具の交換頻度も減り、資源消費や廃棄物の発生を抑えることができます。

省エネランプやランタンにモリブデン線を適用すると、ランプやランタンの小型化、高性能化、環境保護が促進され、低炭素で持続可能な開発に対する現代社会のニーズを満たします。

1.4 モリブデン線の研究と応用状況

1.4.1 国内外のモリブデン線材技術の研究の進展

世界的に、モリブデンワイヤー技術の研究は主に次の方向に焦点を当てています。

ドーピング技術:国内外の研究機関は、希土類元素(ランタン、セリウム、イットリウムなど)または貴金属(レニウムなど)を添加して高温クリープ耐性と耐酸化性を向上させることにより、新しいドーピングモリブデンワイヤーの開発に取り組んでいます。たとえば、中国科学院の金属研究所によって開発された高性能モリブデンランタンワイヤーは、再結晶温度が大幅に高く、より要求の厳しい高温環境に適しています。欧米での研究は、延性と耐酸化性を向上させるためのモリブデン-レニウム合金の開発に焦点を当ててきました。

生産プロセスの最適化:ドイツとオーストリアの企業は、インテリジェントな製造技術と精密伸線装置を導入することにより、モリブデン線の表面品質と生産の一貫性を大幅に向上させました。中国企業は、粉末冶金と伸線プロセスでブレイクスルーを達成し、生産効率を最適化し、コストを削減しました。

ナノスケールモリブデンワイヤー:ナノテクノロジーの台頭に伴い、一部の研究機関は、高精度電子デバイスや新しい照明技術のためのナノスケールモリブデンワイヤーの調製を模索しています。ナノモリブデン線の強度と導電性のさらなる向上が期待され、次世代の照明技術の可能性が期待されます。

グリーン製造:ヨーロッパと日本での研究は、焼結プロセスでのエネルギー消費と排気ガスの削減など、環境に優しい生産技術に焦点を当てています。中国はまた、モリブデンワイヤーの低炭素生産を推進し、廃棄物リサイクル技術とグリーンプロセスを開発し、地球環境保護の傾向に対応しています。

1.4.2 世界の市場規模とアプリケーションの分布

業界の分析によると、世界のモリブデンワイヤー市場は近年着実な成長を維持しており、照明分野はその主要なアプリケーションシナリオの1つです。市場規模の成長は、主に以下の要因によって推進されています。

著作権および法的責任に関する声明

地域分布:中国は世界最大のモリブデンワイヤー生産国であり、豊富なモリブデン鉱石資源と成熟した加工技術を備えており、世界の生産量の大きなシェアを占めています。ヨーロッパ(ドイツ、オーストリア)と米国は、高付加価値製品に焦点を当てたハイエンドドーブモリブデンワイヤーの製造において技術的な優位性を持っています。

アプリケーションの分布:照明の分野では、ハロゲンランプと高輝度放電ランプがモリブデンワイヤーの主なアプリケーションシナリオであり、照明用モリブデンワイヤーの大きな市場シェアを占めています。その他のアプリケーションには、特殊照明(自動車用照明、医療用照明など)や真空電子機器(X線管など)などがあります。

市場の推進力 高効率照明に対する需要の高まり、自動車用照明市場の急速な拡大、航空宇宙および医療分野での特殊照明の使用が、モリブデンワイヤー市場の継続的な成長を後押ししています。エネルギー効率が高く環境に優しい照明が世界的に重視されていることから、モリブデンワイヤーの適用もさらに促進されています。

1.4.3 技術的なボトルネックと将来の課題

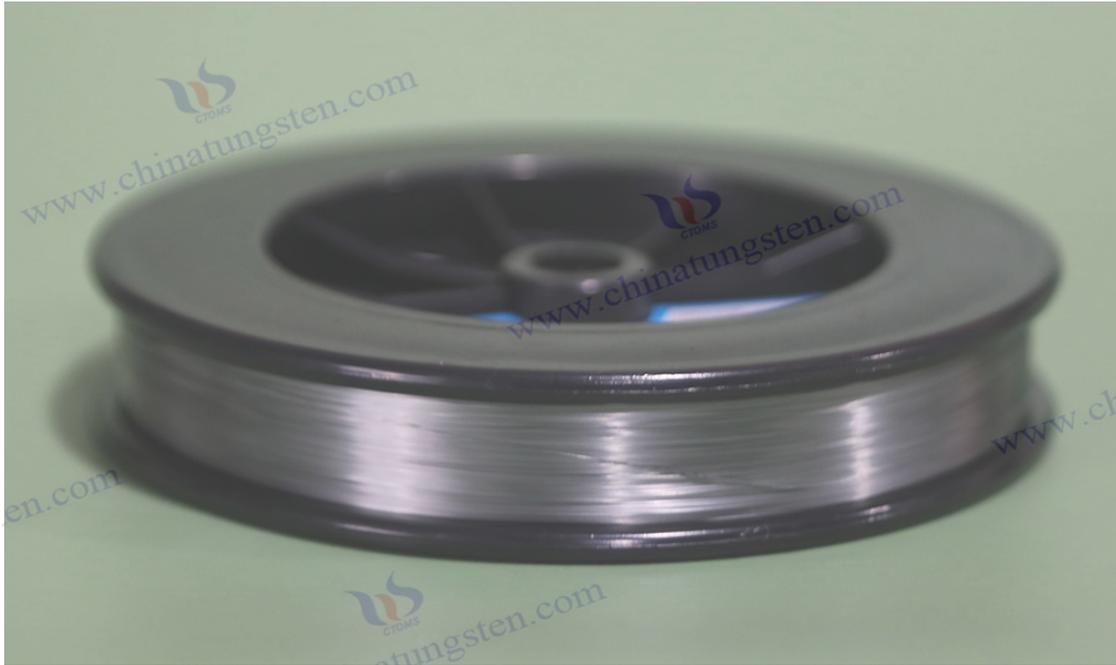
モリブデン線は照明分野で広く使用されていますが、依然として次の技術的なボトルネックと課題に直面しています。

高温酸化問題: モリブデンワイヤーは高温の空气中で酸化しやすいため、非真空または非不活性ガス環境での用途が制限されます。酸化防止コーティングや新しいドーブ材料の開発は、その応用シナリオをさらに広げるための将来の研究の焦点です。

極細モリブデン線の製造の難しさ: 極細モリブデン線(直径 0.02mm 未満)の製造には、非常に高い加工精度と低い歩留まりが求められるため、コストが増加します。生産の一貫性を向上させ、コストを削減することは、業界にとって重要な課題です。

LED 照明の競争: LED ランプの人気により、従来のランプ(白熱灯やハロゲンランプなど)の需要が大幅に減少し、照明分野におけるモリブデンワイヤーの市場シェアはある程度影響を受けています。LED 関連の高温部品や新興分野でのモリブデン線のアプリケーション開発は、この課題に対処するための鍵となります。

環境保護と持続可能性: モリブデン電線の製造におけるエネルギー消費と廃棄物処理は、ますます厳しくなる環境規制(欧州連合の RoHS 指令や REACH 指令など)の対象となります。グリーン製造技術と廃棄物リサイクルシステムの開発は、業界の重要な開発の方向性となっています。



CTIA の照明用モリブデン線

第2章 照明用モリブデンワイヤーの分類

照明業界の主要材料として、照明用モリブデン線は、化学組成、用途、物理的仕様が異なるため、特性と用途が多様化しています。化学組成に応じて、モリブデンワイヤーは、純粋なモリブデンワイヤー、モリブデンランタンワイヤー、モリブデンレニウムワイヤー、その他のドーピングモリブデンワイヤーに分けることができます。用途に応じて、白熱灯、ハロゲンランプ、蛍光灯、ガス放電ランプ、特殊ランプ用モリブデン線に分けられます。仕様に際して、さまざまな直径範囲、表面処理タイプ、ワイヤー形状に分けられます。この章では、各分類の特性、準備プロセス、アプリケーションシナリオ、技術的課題、および市場状況について、グローバルな研究と産業慣行と組み合わせて、包括的かつ詳細な分析を提供します。

2.1 化学組成による分類

モリブデンワイヤーの化学組成は、その物理的、化学的、機械的、電気的特性を決定する中心的な要素です。モリブデンマトリックスにさまざまな元素をドーピングしたり、高純度を維持したりすることで、モリブデンワイヤーは低コストの白熱灯から高性能の特殊ランプまで、さまざまなニーズを満たすことができます。以下は、純粋なモリブデンワイヤー、モリブデンランタンワイヤー、モリブデンレニウムワイヤー、およびその他のドーピングモリブデンワイヤーの特性、製造プロセス、およびアプリケーションの詳細な紹介です。

2.1.1 純粋なモリブデンワイヤー

純粋なモリブデンワイヤーはドーピング要素を添加しない $\geq 99.95\%$ のモリブデンワイヤーを指し、照明のためのモリブデンワイヤーの最も基本的で広く利用されたタイプです。その高純度と優れた物理化学的特性により、従来の照明装置に最適な材料となっています。

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

化学組成と純度: 純粋なモリブデンワイヤーは高純度のモリブデンに基づいており、不純物(鉄、ニッケル、炭素、酸素、シリコンなど)の総含有量は通常 0.05%未満に制御され、一部の高需要のアプリケーションでは 0.01%まで低くなる可能性があります。モリブデン酸アンモニウム(AMT)または三酸化モリブデン(MoO_3)を水素還元してモリブデン粉末を調製することにより、高純度が達成されます。モリブデン線の導電率(抵抗率約 $5.5 \times 10^{-6} \cdot \text{m} \Omega \cdot \text{m}$)に対する不純物の厳密な管理と耐食性が重要です。例えば、酸素濃度が高すぎると、高温で酸化が加速し、揮発性の MoO_3 (酸化反応)が発生し、照明器具の寿命に影響を与える可能性があります。

物理的特性: 純粋なモリブデンワイヤーは、高融点(2623°C)、高密度(10.2 g/cm^3)、および低熱膨張係数($4.8 \times 10^{-6}/\text{K}$)を備えています。その熱伝導率($138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)はタングステン($174 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)よりも優れているため、熱伝導率と電気伝導率に適しています。モリブデン線の体心立方体(BCC)結晶構造は、優れた機械的強度を提供しますが、高温($>1000^\circ\text{C}$)で再結晶しやすく、結晶粒の成長と脆化を引き起こします。

機械的特性: 室温では、純粋なモリブデンワイヤーの引張強度は $800 \sim 1000 \text{ MPa}$ で、破断点伸びは約 $5\% \sim 10\%$ です。高温(1500°C)では、引張強度は $200 \sim 300 \text{ MPa}$ に低下し、耐クリープ性が弱いため、非常に高温の環境での適用が制限されます。モリブデン線の延性により、マルチパス絞りにより直径 0.01 mm の極細線に加工することができます。

化学的安定性: 純粋なモリブデン線は、室温で酸、アルカリ、水に対して優れた耐食性を備えていますが、高温($>600^\circ\text{C}$)で空気にさらされると急速に酸化し、 MoO_3 を形成します。したがって、照明用の純粋なモリブデンワイヤーは、通常、酸化損失を避けるために真空または不活性ガス(アルゴン、窒素など)の環境で使用されます。

準備プロセス:

原料調製: 高純度モリブデン粉末(粒子サイズ $1 \sim 5 \mu\text{m}$)は、モリブデン酸アンモニウムまたは三酸化モリブデンを水素で還元することにより調製されます。粉末中の酸素や炭素などの不純物は厳密に管理する必要があります。

粉末冶金: モリブデン粉末を冷間静水圧プレス(CIP)によってピレットに押し込み、真空または水素雰囲気焼結($1800 \sim 2000^\circ\text{C}$)して、緻密なモリブデンピレットを形成します。

熱間加工: ブランクは、熱間鍛造、熱間圧延、または回転鍛造で、直径が $1 \sim 5 \text{ mm}$ に縮小されたモリブデンロッドを形成します。

伸線: モリブデンロッドをダイヤモンドダイとグラファイトエマルジョンなどの潤滑剤を用いて、複数回($10 \sim 20$ パス)で目標径まで延伸します。延伸工程では中間焼鈍($800 \sim 1200^\circ\text{C}$)を行い、加工硬化をなくします。

著作権および法的責任に関する声明

表面处理:アプリケーションの要件に応じて、酸化層(黒色モリブデン線)を保持するか、酸洗と電解研磨によってモリブデン線を洗浄することができます。

適用シナリオ: 純粋なモリブデン線は、ホウケイ酸ガラスの熱膨張係数(差 $<0.5 \times 10^{-6}/K$)に非常に適合しているため、主に低電力白熱灯(40-100 W)のフィラメントサポートフィラメントおよびシーリング電極に使用されます。また、純粋なモリブデン線は蛍光灯の電極材料としても使用され、放電を開始する役割を担っています。費用対効果が高く、大規模生産に適しています。

市場と技術の状況: 純粋なモリブデンワイヤーの生産技術は世界で非常に成熟しており、中国は世界の生産量の60%以上を占めています。

利点と制限:

利点: 低コスト(仕様にもよりますが、約\$1-2/kg)、優れた処理性能、低コストの照明デバイスに適しています。純粋なモリブデンワイヤーの製造プロセスは簡単で、歩留まりは高い(>95%)。

制限事項: 高温での耐クリープ性および耐酸化性が低いため、高出力ハロゲンランプまたはガス放電ランプへの適用が制限されます。>1500°Cの環境では、純粋なモリブデンワイヤーの寿命は通常1000時間未満です。

技術的な課題: 純粋なモリブデンワイヤーの高温性能を向上させるには、粒子の成長と酸化損失を低減するための最適化されたアニールプロセスまたは表面パッシベーションが必要です。将来的には、低コストの抗酸化コーティングの開発が画期的な方向になるかもしれません。

2.1.2 モリブデンランタンワイヤー

モリブデンランタンワイヤーは、モリブデンマトリックスに酸化ランタン(La₂O₃、含有量0.3%-1.0%)をドーピングして作られ、優れた高温性能と耐クリープ性によりハイエンド照明デバイスで広く使用されています。

化学組成: モリブデンランタンワイヤーは、高純度モリブデン(≥99.5%)をベースに、酸化ランタン粒子(粒子サイズ10~100 nm)をドーピングしています。酸化ランタンは、モリブデン粒界に拡散相の形で分布しており、ピンニング効果による結晶粒の成長と転位スリップを抑制します。不純物(鉄、炭素など)は、性能の低下を避けるために0.03%未満に制御する必要があります。

物理的性質: モリブデンランタンワイヤーの融点は純粋なモリブデンの融点(約2620°C)に近いですが、再結晶温度は1800~2000°C(純粋なモリブデンワイヤーの場合は1400~1600°C)に大幅に上昇します。その熱膨張係数($4.8 \times 10^{-6}/K$)と熱伝導率(約135W/m·K)は

著作権および法的責任に関する声明

純粋なモリブデンワイヤの係数に匹敵しますが、酸化ランタン粒子が酸素拡散を遅らせることができるため、耐酸化性はわずかに向上します。

機械的特性: 高温(2000°C)でのモリブデンランタンワイヤーの引張強度は 300~500 MPa で、クリープ抵抗は純粋なモリブデンワイヤーの 2~3 倍です。破断点伸びは室温で 8%~12%であり、高温でも一定の靱性を維持します。酸化ランタンのピン留め効果により、モリブデンランタンワイヤは熱サイクル中の耐疲労性が向上します。

化学的安定性: モリブデンランタンワイヤーは、ハロゲンガス環境(ヨウ素、臭素など)で良好に機能し、純粋なモリブデンワイヤーよりも耐薬品性に優れています。真空または不活性ガス中では、その耐酸化性により、>2000 時間の照明器具寿命を支えることができます。

準備プロセス:

ドーピング調製: ウェットドーピング(酸化ランタン溶液とモリブデン粉末の混合)または噴霧乾燥により、酸化ランタンの均一な分布を確保します。ドーピング率は正確に制御する必要があります(0.3%~1.0%)、高すぎると材料の脆化につながる可能性があります。

粉末冶金: ドープされたモリブデン粉末をブランクにプレスし、水素雰囲気(1900-2100°C)で焼結して均一な拡散相構造を形成します。

熱間加工と伸線: ブランクは、熱間鍛造と熱間圧延後のマルチパス伸線によって形成されます。延性を維持するために、延伸プロセス中にいくつかのアニーリング(900-1300°C)が必要です。金型と潤滑剤の選択は、表面品質にとって重要です。

表面処理: 通常、洗浄されたモリブデン線にされ、電解研磨によって酸化物層が除去され、アーク安定性と耐食性が向上します。

アプリケーションシナリオ: モリブデンランタンワイヤは、ハロゲンランプおよび高輝度放電ランプ(HID)の電極および支持材料として広く使用されています。たとえば、自動車のヘッドライトでは、モリブデンランタン線は高温(>2500°C)と振動に耐えることができ、2000 時間以上のランプ寿命を保証します。メタルハライドランプへの電極使用も、放電安定性を大幅に向上させます。

市場と技術状況: モリブデンランタンワイヤーは、ランプモリブデンワイヤーの市場の約 30%を占めています。技術導入と独立した研究開発を通じて、中国はモリブデンランタンワイヤーの大規模生産を実現し、ヨーロッパと北米に輸出しています。世界市場は年率約 5%で成長しており、自動車照明の需要に牽引されています。

利点と制限:

利点: 高温での耐クリープ性と耐酸化性は、純粋なモリブデン線よりも大幅に優れており、

著作権および法的責任に関する声明

高性能ランプに適しています。耐用年数は純粋なモリブデン線の2〜3倍に達することができます。

制限事項:ドーピングプロセスは製造コスト(約3〜5 USD / kg)を増加させ、酸化ランタンの均一な分布は機器とプロセスに高い要求を課します。不適切なドーピングは、粒子の凝集や性能の低下につながる可能性があります。

技術的な課題:ドーピングの均一性の最適化とコスト削減が主な方向性です。ナノスケールの酸化ランタン粒子の調製および分散技術は、将来の研究開発の焦点です。

2.1.3 モリブデンレニウムワイヤー

モリブデンレニウムワイヤーは、モリブデンマトリックスにレニウム(Re)をドーピングした合金ワイヤーで、延性と耐酸化性に優れた特殊照明に独自の利点があります。

化学組成:モリブデンレニウムワイヤーはモリブデンに基づいており、レニウム金属をドーピングして固溶体を形成します。レニウムの添加により、モリブデンの結晶構造が改善され、低温での脆性が減少します。不純物(酸素や窒素など)は、安定した性能を確保するために0.02%未満に制御する必要があります。

物理的性質:レニウム(3186°C)の融点がわずかに低いため、モリブデンレニウムワイヤーの融点は純粋なモリブデン(約2600°C)の融点よりもわずかに低くなっています。熱膨張係数($4.9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)と熱伝導率(約130 W/m · K)は純モリブデンと似ていますが、耐酸化性が大幅に向上し、高温での酸化速度は約30%低下します。

機械的特性:室温でのモリブデンレニウムワイヤーの引張強度は900〜1200 MPaで、破断点伸びは15%〜20%で、純粋なモリブデンワイヤー(5%〜10%)よりもはるかに高くなっています。2000°Cでは、引張強度は300〜400 MPaであり、耐疲労性はモリブデンランタンワイヤーよりも優れており、頻繁な熱サイクル環境に適しています。

化学的安定性:モリブデンレニウムワイヤーはハロゲンガスおよび真空環境で良好に機能し、その耐薬品性は純粋なモリブデンワイヤーおよびモリブデンランタンワイヤーよりも優れています。その抗酸化特性は、レニウムによって形成される保護酸化物層によるもので、これによりMoO₃の揮発を遅らせます。

準備プロセス:

ドーピング調製:レニウム粉末は、機械的混合または化学的共沈によってモリブデン粉末と混合され、レニウム酸化を防ぐために真空または不活性雰囲気下で操作する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

粉末冶金:ドーピングされた粉末をブランクに押し込み、水素または真空(1900-2100°C)で焼結します。レニウムの揮発を避けるために、焼結温度を正確に制御する必要があります。
熱間加工と伸線:ブランクは、熱間鍛造と熱間圧延後の精密伸線によって形成されます。

伸線工程では、韌性を維持するために低温焼鈍(700~1000°C)が必要です。

表面処理:洗浄されたモリブデンワイヤーが主に使用され、電解研磨または化学洗浄によって表面仕上げが改善されます。

アプリケーションシナリオ: モリブデンレニウムワイヤーは、主にプロジェクションランプ、ステージライト、医療用紫外線ランプ、航空ライトなどの特殊ランプに使用されます。その高い延性は、複雑な電極形状の設計(スパイラル電極や湾曲電極など)に適しており、その耐酸化性により、照明器具の寿命(最大 3000 時間以上)が延長されます。

市場と技術の状況: モリブデンレニウムワイヤーは、ランプのモリブデンワイヤー市場の約 10%を占めています。近年、中国は技術導入により小規模生産を達成していますが、レニウムの希少性と高価格が市場規模を制限しています。

利点と制限:

利点:延性と耐酸化性は、純粋なモリブデンワイヤーやモリブデンランタンワイヤーよりも優れており、複雑な形状や極端な環境に適しています。高い韌性と熱サイクルに対する強い耐性。

制限:レニウムの高コストにより、モリブデンレニウムワイヤーの価格は純粋なモリブデンワイヤーの約 3~5 倍になり、大規模なアプリケーションが制限されます。ドーピング比が高すぎると材料が軟化する可能性があるため、正確に制御する必要があります。

技術的な課題:レニウムの量を減らすか、代替元素(ルテニウム、オスミウムなど)を開発することが、コスト最適化の鍵となります。ドーピングの均一性と生産効率を向上させることも前進する方法です。

2.1.4 その他のドーピングモリブデンワイヤー

モリブデン・ランタン・ワイヤおよびモリブデン・レニウム・ワイヤに加えて、他のドーピング・モリブデン・ワイヤには、タングステン、イットリウム、セリウム、または多元素複合ドーピング・ワイヤをドーピングしたモリブデン・ワイヤが含まれ、特定のハイエンド・アプリケーション向けに最適化されています。

モリブデンタングステンワイヤー:

特徴:タングステン(W、含有量 1%-10%)をドーピングしたモリブデンワイヤーは、モリブデンのシール特性とタングステンの高融点(3422°C)を兼ね備えています。その引張強度は 2000°C で 600MPa に達する可能性があり、高出力の照明器具に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

用途:高出力白熱灯およびメタルハライドランプ用の電極および支持材料。

制限事項:延性が悪く(破断点伸び<5%)、加工難易度が高く、コストは純粋なモリブデンワイヤーの約2倍です。

モリブデンイットリウムワイヤー:

特性:酸化イットリウム(Y_2O_3 、含有量 0.5%-2%)をドーブし、再結晶温度は 1900°C まで、優れた耐酸化性と耐クリープ性を備えています。

アプリケーション:航空宇宙用特殊ランプ(ナビゲーションライトなど)や高温赤外線ランプに使用されます。

制限事項:酸化イットリウムのドーピングプロセスは複雑で、収率は低い(約 80%)。

モリブデンおよびセリウムワイヤー:

特徴:ドーブ酸化セリウム(CeO_2 、含有量 0.3%-1%)、強力なアーク耐食性、高周波放電環境に適しています。

アプリケーション:紫外線ランプや医療用光源に使用されます。

制限事項:コストが高く、市場が狭いアプリケーション。

多元素ドーブモリブデンワイヤー:

特徴:ランタン、レニウム、イットリウムをドーブした複合モリブデンワイヤーなど、高温強度、延性、耐酸化性を兼ね備えています。

アプリケーション:高圧放電ランプや科学光源などの極端な環境で使用されます。

制限事項:準備プロセスは複雑で、コストは高く、小ロット生産に限定されています。

準備プロセス: モリブデンランタンワイヤーと同様に、湿式ドーピングまたは噴霧乾燥によって均一化する必要があり、焼結温度は 1900~2200°C であり、伸線には高精度の金型とマルチパスアニリングが必要です。

市場と技術の状況: その他のドーブモリブデンワイヤーは、主に外国企業によって製造されているランプモリブデンワイヤーの市場の 5%を占めています。中国はモリブデンイットリウムワイヤーとモリブデンとセリウムワイヤーの分野でいくつかの進歩を遂げましたが、技術はまだ突破する必要があります。

利点と制限:

利点: ハイエンド アプリケーションの特定のニーズに合わせて最適化されたパフォーマンス。

制限:高コスト、小さな市場規模、複雑な生産技術。

技術的な課題: 低コストのドーピングエレメントの開発とプロセスの簡素化が重要です。ナノスケールのドーピング技術を応用することで、さらなる性能向上が期待されます。

2.2 用途による分類

さまざまなタイプのランプの機能とアプリケーションシナリオに応じて、照明用モリブデ

著作権および法的責任に関する声明

ン線は、白熱灯、ハロゲンランプ、蛍光灯およびガス放電ランプ、および特殊ランプ用のモリブデン線に分けることができます。各アプリケーションには、高温安定性、耐食性、電気的特性、および加工性を含む、モリブデンワイヤの異なる性能要件があります。

2.2.1 白熱灯用モリブデン線

白熱灯用のモリブデン ワイヤーは、主にフィラメントのサポートとガラスと金属のシーリングに使用され、従来の照明で最も一般的なモリブデン ワイヤーの用途です。

機能と機能:白熱灯では、モリブデン線は主にタングステンフィラメントを固定するための支持線として使用され、高温(2500-3000°C)でのたるみや破損を防ぎます。シーリング電極として、電球に電流が流れ込み、ガラスとの気密接続が形成され、ランプ内の真空ガスや不活性ガス(アルゴン、窒素など)が漏れないようにします。

パフォーマンス要件:

高温安定性:2000°C 以上の使用温度に耐える必要があり、引張強度は高温で 200MPa 以上に維持されます。

熱膨張マッチング:熱膨張係数はホウケイ酸ガラス($4.3-5.0 \times 10^{-6}/K$)と高度に一致させる必要があり、その差は $0.5 \times 10^{-6}/K$ である必要があります。

導電率:電流伝送の効率を確保するために、抵抗率を低くする必要があります(約 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)。

表面品質:通常、洗浄されたモリブデンワイヤが使用され、 $Ra < 0.5 \mu m$ の表面粗さを使用してアークの不安定性を低減します。

アプリケーション特性: 白熱灯は、発光効率が低く(10-15 lm/W)、寿命が約 1000 時間で、主に家庭用照明、装飾照明(レトロな電球など)、低コストのシーンで使用されます。モリブデンワイヤーは、酸化を防ぐために真空または不活性ガス環境で機能する必要があります。

準備プロセス:

原料の選択:高純度のモリブデン粉末($\geq 99.95\%$)を使用して、水素還元により調製します。

成形と絞り加工:直径 0.1-0.5mm のモリブデンワイヤーは、粉末冶金とマルチパス絞りによって作られています。延性を維持するために、延伸プロセス中にいくつかのアニーリング(800-1200°C)が必要です。

表面処理:洗浄されたモリブデンワイヤーは、通常、ガラスへの接着性とアーク安定性を確保するために、電解研磨または酸洗い(HNO_3 -HF 混合物)によって作られます。

市場の状況: LED 照明の人気により白熱灯市場は縮小しましたが、それでも世界の照明市場の約 10%を占めており、モリブデン線の量はランプのモリブデン線の約 20%を占めています。主な市場は東南アジアやアフリカなどの発展途上国に集中しており、中国が主な供給国です。

著作権および法的責任に関する声明

利点と制限:

利点:成熟した技術、低コスト(約 1 USD/kg)、大規模生産に適しています。純粋なモリブデンワイヤーは、優れたシール性能と高い収率(>95%)を備えています。

制限事項:高温での耐クリープ性が低く、寿命が短く、高出力または長寿命のランプには適していません。

技術的な課題: モリブデン線の高温性能と寿命を改善し、白熱灯の寿命を延ばすための低コストの抗酸化コーティングを開発します。

2.2.2 ハロゲンランプ用モリブデン線

ハロゲンランプ用のモリブデンワイヤーは、ハイエンド照明アプリケーションの主要な材料であり、電極、サポート、シールに広く使用されており、高温やハロゲンガスによる化学攻撃にさらされます。

機能と機能: ハロゲンランプでは、モリブデン線は、電流を導き、アークを開始するための電極として、タングステンフィラメントを固定するためのサポートワイヤとして、および気密性を確保するためのシーリング材として使用されます。ハロゲンサイクルでは、ハロゲンガス(ヨウ素、臭素など)と蒸発したタングステンを反応させて、タングステンをフィラメントに戻し、寿命を延ばします。

パフォーマンス要件:

高温性能:動作温度は 3000°C に達する可能性があり、300MPa>引張強度と優れた耐クリープ性が必要です。

耐薬品性:ハロゲンガスの攻撃に抵抗する必要があるため、表面は高温化学反応に耐性がある必要があります。

アーク安定性:高い表面仕上げ($Ra < 0.3 \mu m$)と低い抵抗率により、均一なアークが保証されます。

熱膨張マッチング:石英ガラス(熱膨張係数 $0.5-1.0 \times 10^{-6} / K$)またはホウケイ酸ガラスと一致します。

アプリケーション特性: ハロゲンランプは、20~30 lm/W の発光効率と 2000~4000 時間の寿命を持ち、自動車のヘッドライト、舞台照明、家庭用ハイエンド照明に広く使用されています。モリブデンワイヤーは、高温、熱サイクル、化学腐食の組み合わせの影響を受けます。

準備プロセス:

原料の選択:ドーパされたモリブデンの粉(ドーパされる酸化ランタンのような、内容 0.3%-1.0%)は高温性能を改善するために大抵使用されます。

成形と絞り:直径 0.05-0.3mm のモリブデンワイヤーは、粉末冶金、熱間鍛造、マルチパス伸線によって作られています。結晶粒構造を最適化するためには、焼鈍温度(900-1300°C)を正確に制御する必要があります。

表面処理:洗浄されたモリブデンワイヤーは、電解研磨または化学洗浄によって作られ、

著作権および法的責任に関する声明

一部のハイエンドアプリケーションでは、防食コーティング(MoS₂など)の堆積が必要です。

市場の状況: ハロゲンランプは世界の照明市場の15%を占めており、モリブデン線の量はランプに使用されるモリブデン線の30%以上を占めています。自動車の照明が主な牽引役であり、2025年から2030年にかけて安定した需要が見込まれています。中国、ヨーロッパ、日本が主な市場です。

利点と制限:

利点:モリブデンランタンワイヤーの高温性能と耐食性は、長寿命と安定した性能でハロゲンランプのニーズを満たします。

制限事項:高温での酸化は、不活性ガス保護によって解決する必要があり、ドーピングプロセスはコストを増加させます。

技術的課題: 過酷な環境下でのモリブデン線の寿命を延ばすための、耐ハロゲン性表面コーティングと低コストのドーピング技術を開発すること。

2.2.3 蛍光灯およびガス放電ランプ用モリブデン線

蛍光灯やガス放電ランプ(高輝度放電ランプ、HIDなど)用のモリブデン線は、主に電極や封止材として使用され、高電圧やアーク温度に耐える必要があります。

機能と機能: 蛍光灯では、モリブデン線が電極として機能して蛍光放電を開始および維持します。HIDランプ(メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプなど)では、モリブデン線を電極として使用して過渡高電圧(>10kV)やアーク温度(6000°Cまで)に耐えるとともに、気密性を確保するためのシール材として機能します。

パフォーマンス要件:

電気的特性:高い導電性(抵抗率 $<6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)およびアーク耐食性により、放電安定性を確保します。

高温性能:アークの高温で構造が損なわれず、引張強度>300MPaである必要があります。

化学的安定性:ランプ内の高圧ガス(水銀蒸気、ナトリウム蒸気など)の化学的攻撃に抵抗する必要があります。

熱膨張マッチング:ホウケイ酸ガラスまたは石英ガラスと一致します。

アプリケーション特性: 蛍光灯の発光効率は50~100 lm/W、HIDランプは100~150 lm/Wで、商業照明(オフィス、ショッピングモール)、道路照明、工業用照明で広く使用されています。モリブデン線は、高周波放電や化学腐食に強い必要があります。

準備プロセス:

原料の選択:モリブデンランタンワイヤーまたはモリブデンレニウムワイヤーが主に使用

著作権および法的責任に関する声明

され、ドーピング率はアーク耐食性を向上させるために 0.3%~2%です。

成形と絞り:直径 0.03~0.2mm のモリブデンワイヤーは精密絞りによって作られており、
韌性を維持するために低温(700~1000°C)でアニールする必要があります。

表面処理:電解研磨または不動態化処理、および HID ランプ用の一部のモリブデンワイヤーには、防食コーティングを施す必要があります。

市場状況: 蛍光灯市場は LED 競争により縮小しており、HID ランプは依然として屋外照明の市場シェアの 20%を占めており、モリブデン線の量はランプに使用されるモリブデン線の 25%を占めています。米国の GE Lighting と中国の NVC Lighting が主なユーザーです。

利点と制限:

利点:モリブデンランタンワイヤーとモリブデンレニウムワイヤーの高性能は、高効率照明のニーズを満たし、強力なアーク安定性を備えています。

制限事項:高周波放電環境での耐用年数をさらに向上させる必要があります、表面処理コストが高くなります。

技術的な課題: 耐アーク性コーティングを開発し、電極設計を最適化して、放電効率と寿命を向上させる。

2.2.4 特殊ランプ用モリブデン線(紫外線ランプ、赤外線ランプなど)

特殊ランプ用のモリブデンワイヤーは、医療、科学、航空宇宙、および産業用途の特定のスペクトルまたは極端な環境向けに設計されています。

機能と機能:紫外線ランプでは、モリブデン線が紫外線放電を開始するための電極として使用されます。赤外線ランプでは、モリブデンワイヤーは支持体または電極として高温放射にさらされます。医療用ランプ(手術用ライトなど)や航空ランプでは、モリブデン線は高い信頼性と複雑な形状の要件を満たす必要があります。

パフォーマンス要件:

アーク耐食性:高周波放電と水銀蒸気腐食に耐える必要があります。

高温安定性:使用温度は 2000°C 以上に達することができ、引張強度>300MPa です。

延性:複雑な電極形状(スパイラル、曲げなど)をサポートする必要があります。

表面品質:スペクトルの純度を確保するためには、高い仕上げが必要です。

アプリケーションの特徴: UV ランプは滅菌や医療に使用され、赤外線ランプは加熱や工業処理に使用され、航空ランプには高い信頼性が必要です。モリブデンワイヤーは、複雑な化学環境と高温放射線に耐える必要があります。

準備プロセス:

原料の選択:モリブデンレニウムワイヤーまたはモリブデンイットリウムワイヤーが主に使用され、ドーピング率は 0.5%~2%です。

成形と絞り:直径 0.02~0.1mm のモリブデン線は超精密絞りで作られており、低温焼鈍とハイエンド成形が必要です。

表面処理:酸化防止コーティング用の CVD または PVD(Al_2O_3 、 $MoSi_2$ など)。

市場状況: 特殊ランプの市場規模は小さい(世界の照明市場の 5%を占める)が、付加価値は高く、モリブデン線の量はランプに使用されるモリブデン線の 10%を占めています。

利点と制限:

利点:高性能は専門家のニーズと長寿命(最大 5000 時間)を満たします。

制限:高コスト(約\$ 10 / kg)、カスタマイズされた生産が必要です。

技術課題: 低コストなコーティング技術や複雑形状加工技術の開発による特殊ランプの用途拡大

2.3 仕様による分類

照明用モリブデンワイヤーの仕様は、直径範囲、表面処理タイプ、ワイヤー形態によって分類されており、その性能と用途に直接影響します。

2.3.1 直径の範囲と公差

モリブデンワイヤーの直径と公差は、その仕様の主要なパラメータであり、電気的、機械的、および加工特性を決定します。

直径範囲:

極細モリブデン線(0.01-0.05mm):高い延性と表面仕上げが求められる高精度の特殊ランプ(UV ランプ、医療用ランプなど)に使用。高抵抗率(約 $6 \times 10^{-10} \cdot \Omega \cdot m$)で、高電圧電極に適しています。

細いモリブデン線(0.05-0.2 mm):ハロゲンランプ、HID、蛍光灯の電極または支持線で、市場の 60%以上を占めています。

中粗モリブデン線(0.2-0.5 mm):機械的強度の高い白熱灯用のサポートワイヤーとシーリング材。

粗いモリブデン線(0.5-2.0 mm):高出力照明器具(工業用赤外線ランプなど)の構造部品。

公差要件: GB/T 4191-2015 および ASTM B387 によると、超微細モリブデンワイヤーの公差は ± 0.001 mm、微細モリブデンワイヤーは ± 0.002 mm、粗いモリブデンワイヤーは ± 0.01 mm です。

影響要因:直径が小さいほど、抵抗率が高くなり、電極に適しています。直径が大きいほ

著作権および法的責任に関する声明

ど強度が高くなり、サポートに適しています。公差精度は、シーリングの信頼性とアーク安定性に影響します。

準備プロセス:超極細モリブデンワイヤーは、ダイヤモンドモールドと低温アニール(700-900°C)を使用して、20〜30回の描画が必要です。粗いモリブデンワイヤーには、高強度の金型と高温アニール(1000-1200°C)が必要です。

市場の状況:細いモリブデン線(0.05-0.2 mm)が最も需要があり、中国はドイツの機器の導入により高精度の生産を達成しました。

技術課題:極細モリブデン線の歩留まり向上(現在約 85%)と公差管理のコスト削減

2.3.2 表面処理タイプ(黒色モリブデン線、洗浄モリブデン線、被覆モリブデン線)

表面処理の種類は、モリブデンワイヤの電気的特性、耐食性、および適用シナリオに大きな影響を与えます。

ブラックモリブデンワイヤー:

特徴:表面には黒色酸化物層(MoO_2 または MoO_3)があり、粗さは $\text{Ra}0.5\sim 2.0\mu\text{m}$ です。酸化膜はガラスへの接着性を高めます。

準備プロセス:描画後、空気中または低真空下でアニーリング(800-1000°C)して酸化物層を形成します。

アプリケーション:白熱灯のフィラメントと低コストのシーリングをサポートし、市場の20%を占めています。

利点と制限:低コストですが、アークの安定性が低く、高性能の照明器具には適していません。

クリーニングされたモリブデンワイヤー:

特徴:電解研磨または酸洗による酸化物層の除去、表面の平滑化($\text{Ra} 0.1\text{-}0.5\mu\text{m}$)、優れた導電性と耐食性。

調製プロセス: $\text{HNO}_3\text{-HF}$ 混合溶液酸洗または NaOH 溶液電解研磨、環境保護廃液処理。

アプリケーション:ハロゲン、HID、特殊ランプ用の電極とシールは、市場の70%を占めています。

利点と制限:優れた性能と長寿命ですが、処理コストが高くなります。

コーティングされたモリブデンワイヤー:

特性:厚さ $0.1\sim 1.0\mu\text{m}$ の耐酸化性または耐食性コーティング(Al_2O_3 、 MoSi_2 など)を堆積させます。

準備プロセス:CVD または PVD 技術が採用されており、真空環境と高精度の装置が必要です。

アプリケーション:紫外線ランプや赤外線ランプなどの極端な環境で使用され、市場の5%

著作権および法的責任に関する声明

を占めています。

利点と制限:寿命は 2~3 倍延長されますが、コストは高くなります(約 10 USD / kg)。

市場の状況:洗浄されたモリブデンワイヤーが主流であり、コーティングされたモリブデンワイヤーはヨーロッパとアメリカの市場で急速に成長しています。

技術課題:低コストのコーティング技術と環境に配慮した表面処理プロセスの開発。

2.3.3 電線形状(直線線、巻線、切断線)

ワイヤーの形状は、モリブデンワイヤーの加工、輸送、および適用の方法に影響を与えます。

ストレートワイヤー:

特徴:固定長(10-100cm)、自動組み立てに適しています。

準備プロセス:延伸後、高精度の切断機で切断され、切開は滑らかでバリがない必要があります。

用途:白熱灯やハロゲンランプのサポートフィラメントやシーリングに使用され、市場の 30%を占めています。

利点と制限:設置効率は高いですが、輸送は変形しやすいです。

巻き:

特徴:リールに巻かれた長さは数キロメートルに達することができ、連続処理に適しています。

準備プロセス:引き抜き後、ワインダーで巻き取り、張力を制御する必要があります。

アプリケーション:大規模なランプ生産の場合、市場の 50%を占めています。

利点と制限:保管と輸送が簡単で、巻き戻し装置が必要です。

ワイヤーの切断:

特徴:精密組立のための短い長さ(1-10 mm)。

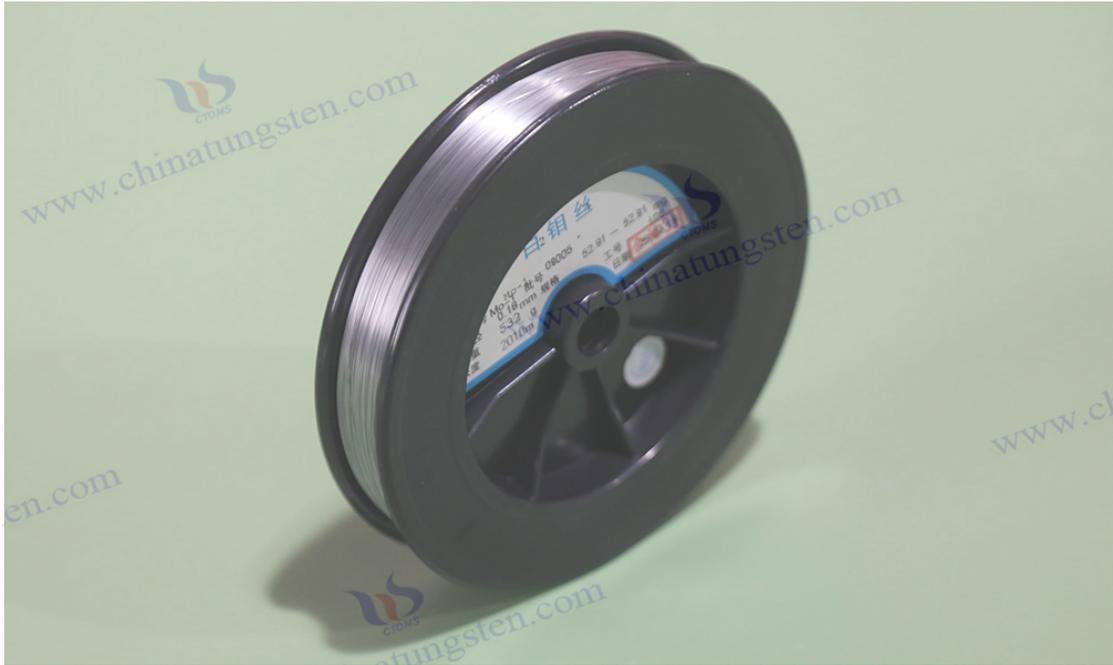
準備プロセス:長さの一貫性を確保するための高精度の切断。

アプリケーション:市場の 10%を占める特殊ランプ用の複合電極。

利点と制限:カスタマイズに適しており、生産効率が低い。

市場の状況:コイル状線が主流であり、ストレート線とカット線は主にハイエンド用途で使用されています。

技術的な課題:切断されたワイヤーの精度を向上させ、ストレートワイヤーの輸送コストを削減します。



CTIA の照明用モリブデン線

第3章 照明用モリブデン線の特性

照明用モリブデン線の特性は、物理的、化学的、機械的、電気的、光学的、および関連する製品安全データシート(MSDS)情報をカバーする、照明分野での応用の鍵です。この章では、これらの特性を詳細に調査し、照明デバイスの性能への影響を分析し、グローバルな研究と業界の慣行に基づいて包括的な技術説明を提供します。

3.1 照明用モリブデン線の物性

照明用モリブデンワイヤーの物理的特性は、主に密度と融点、熱膨張係数と温度依存性、熱伝導率、電気伝導率など、高温、高圧、複雑な環境での性能を決定します。これらの特性は、照明器具のモリブデンワイヤーの構造安定性、熱管理能力、および電気的性能に直接影響します。

3.1.1 照明用モリブデン線の密度と融点

密度が 10.2 g/cm^3 のモリブデン ワイヤは高密度の金属材料で、タングステン (19.25 g/cm^3) よりわずかに低いだけです。この密度により、モリブデンワイヤーは高い質量安定性を得ることができ、照明器具の支持構造または電極の機械的応力や振動に耐えることができます。たとえば、自動車のヘッドライトでは、モリブデンワイヤーは運転中の車両の振動に耐える必要がありますが、適度に密度の高いモリブデンワイヤーは、過度の重量によるランプ設計の難しさを増すことなく、十分な強度を提供できます。

モリブデンワイヤーの融点は 2623°C (2896 K) で、これは高融点金属として、タングステン (3422°C) とレニウム (3186°C) に次ぐコアの利点の一つです。この高融点により、モリブデンフィラメントは、白熱灯(フィラメント温度 2500°C まで)、ハロゲンランプ(フィラメント温度 3000°C まで)、高輝度ガス放電ランプ(HID、アーク中心温度 6000°C まで)で溶融や

著作権および法的責任に関する声明

大きな変形なしに安定して動作することができます。実際の用途では、モリブデン線は通常、融点(1000〜2000°C)をはるかに下回る温度で動作し、融点に近づくとつれて材料の軟化を防ぎます。モリブデンワイヤーはタングステンよりも融点がわずかに低いですが、加工コストが低く、耐クリープ性が 2000°C 未満であるため、フィラメントサポートやシーリング材に最適です。

モリブデン線の密度と融点も、その結晶構造と密接に関連しています。モリブデンの体心立方(BCC)結晶構造は高温でも安定しており、温度の上昇に伴ってわずかに膨張する格子定数のわずかな変化により、熱サイクル中の構造的完全性が確保されます。生産では、モリブデンワイヤーの密度は高純度モリブデン粉末(純度 $\geq 99.95\%$)の焼結プロセスによって制御され、酸化ランタンなどの微量元素をドーピングして再結晶温度(約 1400°C から 1800°C 以上)を上昇させることにより融点がさらに最適化されます。

3.1.2 照明用モリブデン線の熱膨張係数と温度依存性

モリブデンワイヤーの熱膨張係数は $4.8 \times 10^{-6}/K$ (20〜1000°C の範囲)で、ホウケイ酸ガラス(約 $4.5 \sim 5.0 \times 10^{-6}/K$)と高い互換性があります。この特性により、モリブデン線はランプのガラスと金属の封止に最適な材料となり、高温での動作時の熱膨張の違いによるモリブデン線とガラスの応力亀裂を引き起こさないようにします(たとえば、ハロゲンランプのシーリング部分の温度は 600〜800°C に達する可能性があります)。対照的に、タングステンは熱膨張係数がわずかに低く ($4.5 \times 10^{-6}/K$)、追加の遷移材料が必要になる場合がありますが、銅($16.5 \times 10^{-6}/K$)はガラスの熱膨張と一致せず、シーリングには使用できません。

モリブデンワイヤーの熱膨張係数は、温度が上昇するにつれてわずかに増加します。たとえば、1500°C/K で最大 5.2×10^{-6} まで上昇します。この温度依存性は、照明器具の設計、特に熱サイクルが頻繁なハロゲンランプや HID ランプでは特に考慮すべき点です。熱膨張の影響を減らすために、モリブデンワイヤーには酸化ランタンまたはレニウムがドーピングされることがよくあります。また、モリブデン線の熱膨張係数は表面処理と密接に関係しており、洗浄されたモリブデン線(電解研磨された線)は、黒色のモリブデン線(表面に酸化物層がある)よりも表面欠陥が少ないため、高温で均一に膨張します。

実際のアプリケーションでは、熱膨張係数のマッチングは、照明器具の気密性と耐用年数に直接影響します。たとえば、高圧ナトリウムランプでは、モリブデンワイヤーシールは 500〜700°C の周期的な温度変化にさらされ、熱膨張係数の不一致はガラスの亀裂やガス漏れにつながる可能性があります。そのため、シールの信頼性を確保するためには、製造現場での正確な熱膨張試験(膨張計の測定など)とガラス組成の最適化が必要です。

3.1.3 照明用モリブデン線の熱伝導率と伝導率解析

著作権および法的責任に関する声明

モリブデン線の熱伝導率は $138\text{W/m}\cdot\text{K}(20^\circ\text{C})$ で、金属の中では適度に高く、銅($401\text{W/m}\cdot\text{K}$)よりは低いですが、タングステン($173\text{W/m}\cdot\text{K}$)よりは高いです。高い熱伝導率により、モリブデンワイヤは、照明器具の運転中に発生する熱を高温領域(アークやフィラメントの近くなど)から低温領域(シーリングサイトなど)にすばやく伝達できるため、局所的な過熱のリスクが軽減され、照明器具の構造が保護されます。たとえば、ハロゲンランプでは、ガラスシールの過熱を避けるために、フィラメントの熱を効果的に放散するためのサポートワイヤーとしてモリブデンワイヤーを使用する必要があります($>800^\circ\text{C}$ ではガラスが軟化する可能性があります)。

モリブデン線の導電率は約 $1.8\times 10^{-7}\text{S/m}$ (抵抗率 $5.5\times 10^{-7}\Omega\cdot\text{m}$)です。銅($5.9\times 10^7\text{S/m}$)をわずかに下回るが、タングステン($1.9\times 10^7\text{S/m}$)に近い高温金属で優れた性能を発揮します。その電気伝導性により、モリブデンワイヤは電極または導電性部品に電流を効率的に伝達でき、エネルギー損失を低減します。ガス放電ランプでは、モリブデン線電極に高電圧(数百ボルトから数千ボルト)と瞬間的な大電流(数アンペア)が供給され、高い導電性によりジュール熱を低減し、電極の寿命を延ばすことができます。

熱伝導率と電気伝導率の温度依存性は、設計の重要な要素です。温度が上昇すると、モリブデンワイヤの熱伝導率はわずかに減少し(1000°C で約 $120\text{W/m}\cdot\text{K}$)、抵抗率が増加します(1000°C で約 $2.0\times 10^{-7}\Omega\cdot\text{m}$)。モリブデンランタン線などのドーブモリブデン線は、結晶構造を最適化することにより、高温での導電率の低下を遅らせることができます。例えば、1%酸化ランタンをドーブしたモリブデン線は、 1500°C で純粋なモリブデン線に比べて抵抗率が約 10%低くなっています。生産では、モリブデンワイヤーの純度、粒度、表面仕上げを制御することにより、熱伝導率と電気伝導率が最適化されます。

3.2 照明用モリブデン線の化学的特性

照明用モリブデン線の化学的性質は、主に耐酸化性、耐食性、不活性ガスおよび真空環境との相互作用を含む、ランプの複雑な化学環境(ハロゲンガス、高温真空など)での安定性と寿命を決定します。

3.2.1 照明用モリブデン線の耐酸化性と高温安定性

モリブデン線は室温での耐酸化性に優れており、その表面に薄い酸化物保護層(MoO_2)を形成して、さらなる酸化を防ぐことができます。しかし、高温($>600^\circ\text{C}$)の空気にさらされると、モリブデンフィラメントが急速に形成されて揮発性の三酸化モリブデン(MoO_3)が生成されるため、材料の損失や性能の低下につながります。照明用途では、照明器具は酸化を避けるために、真空または不活性ガス(アルゴン、窒素など)で操作されることがよくあります。たとえば、白熱灯にはアルゴンガスと少量のハロゲンガスが充填されており、モリブデン線を酸化から保護します。

酸化防止性能を向上させるために、ドーパされたモリブデンワイヤー(モリブデンランタンワイヤー、モリブデンレニウムワイヤーなど)が広く使用されています。酸化ランタンを添加すると、粒界をピン留めすることで高温でのモリブデン原子の拡散が遅くなり、酸化反応の発生が遅れます。レニウムの溶液強化効果により、モリブデンレニウムワイヤーは 1000°C 以上でより安定した表面酸化物層を形成し、 MoO_3 の揮発を遅らせることができます。研究によると、1200°C の空気中で 1%酸化ランタンをドーパしたモリブデンワイヤーの酸化速度は、純粋なモリブデンワイヤーの酸化速度よりも約 30%低いことが示されています。さらに、アルミナやシリサイドモリブデンコーティングなどの表面コーティング技術は、耐酸化性をさらに向上させ、特殊な照明器具に適しています。

高温安定性の観点からは、モリブデン線の再結晶温度(純粋なモリブデンで約 1400°C)が重要な指標です。再結晶は、材料の粒子の成長と脆化を引き起こし、機械的強度を低下させます。ドーパされたモリブデンワイヤーは、再結晶温度(モリブデンランタンワイヤーの場合は最大 1800°C、モリブデンレニウムワイヤーの場合は約 1700°C)を上昇させることにより、高温での耐用年数を大幅に延ばします。ハロゲンランプでは、モリブデンワイヤーは 1500~2000°C で長時間動作する必要があるため、ドーパされたモリブデンワイヤーの優れた高温安定性により、その構造的完全性が保証されます。

3.2.2 照明用モリブデン線の耐食性

ランプのモリブデンワイヤーの耐食性は、主にハロゲンガス(ヨウ素、臭素など)、水銀蒸気、その他の化学物質に対する耐性に反映されています。ハロゲンランプでは、モリブデン線はハロゲンガスと直接接触しており、高温(1000~1500°C)での化学攻撃に耐える必要があります。モリブデンの化学的安定性により、揮発性化合物の形成や重大な腐食なしに、ヨウ素または臭素環境で良好に機能します。対照的に、タングステンはハロゲン環境で揮発性ハロゲン化物(WBr_6 など)が形成されやすく、フィラメントの損失を引き起こします。

高圧水銀ランプやメタルハライドランプなどのガス放電ランプでは、モリブデン線電極が水銀蒸気やメタルハライド(ヨウ化ナトリウムなど)に抵抗する必要があります。結果は、モリブデンワイヤーが $0.01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ 未満の腐食速度で水銀蒸気(500-800°C)の表面完全性を維持できることを示しています。モリブデンランタン線などのドーパモリブデン線は、安定した表面構造を形成することにより、耐食性をさらに向上させます。例えば、酸化ランタンをドーパしたモリブデン線は、ヨウ化ナトリウム環境下での腐食損失を約 20%低減することができます。

耐食性は、モリブデン線の表面処理にも関係しています。洗浄されたモリブデン線(電解研磨された線)は、黒色のモリブデン線(表面に酸化物層がある)よりも表面欠陥が少なく、腐食率が低くなります。製造では、モリブデンワイヤーは、酸洗い(HNO_3 -HF 混合物)または電解研磨(NaOH 溶液)によって表面酸化物を除去し、耐食性を向上させるためによく使用されます。さらに、モリブデンシリサイドコーティングなどのコーティングされたモリブデンワイヤーは、UV ランプの水銀蒸気などの非常に腐食性の高い環境で優れた性能を発揮しますが、コストが高くなります。

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

3.2.3 照明用モリブデン線と不活性ガス・真空環境との相互作用

照明用のモリブデン線は、通常、酸化を防ぎ寿命を延ばすために、真空または不活性ガス（アルゴン、窒素、クリプトンなど）で操作されます。真空環境（白熱灯の内部など、圧力は $<10^{-3}\text{Pa}$ ）では、モリブデンワイヤーの化学的安定性は非常に高く、ガスとの反応はほとんどなく、表面は安定しています。真空環境はまた、熱対流損失を低減するため、モリブデンワイヤーの熱は主に熱伝導と放射によって放散され、ランプのエネルギー効率に貢献します。

不活性ガス環境（アルゴンと少量のハロゲンガスで満たされたハロゲンランプ、圧力 $0.1\sim 1\text{MPa}$ など）では、モリブデンワイヤーはアルゴンや窒素との明らかな化学反応はありませんが、表面吸着が弱いか、高温でハロゲンガスと化学結合する可能性があります。研究によると、モリブデンフィラメントは、ヨウ素含有アルゴンガス（ 1200°C ）の表面にヨウ化モリブデン（ MoI_3 ）の薄い層を形成することができますが、化合物はランプの性能に影響を与えることなく高温で急速に分解します。モリブデンランタン線などのドーピングモリブデン線は、表面構造を最適化することにより、この吸着効果を低減することができます。

ガス放電ランプでは、モリブデン線電極が複雑なガス混合物（水銀蒸気、金属ハロゲン化物、不活性ガス）と相互作用します。モリブデンワイヤーの高い化学的安定性により、これらの環境で大きな化学的劣化を受けることはありませんが、アーク放電は粒界腐食などの表面微細構造変化を引き起こす可能性があります。このため、モリブデンワイヤーの安定性は、製造における表面パッシベーションまたはドーピング技術によって強化されることがよくあります。

3.3 照明用モリブデン線の機械的特性

照明用モリブデン線の機械的特性は、引張強度とクリープ特性、延性と靱性、耐疲労性、高温での耐破壊性など、ランプの構造安定性と耐久性に直接影響します。これらの特性は、高温、熱サイクル、および機械的振動環境で特に重要です。

3.3.1 照明用モリブデン線の高温引張強度とクリープ特性

モリブデン線の引張強度は室温で $800\sim 1000\text{MPa}$ ですが、高温（ $>1000^{\circ}\text{C}$ ）では大幅に低下します。例えば、 1500°C での純モリブデン線の引張強度は約 200MPa です。ドーピングされたモリブデンワイヤーは、粒界の強化により高温強度を大幅に向上させ、モリブデンランタンワイヤーは 1500°C で $300\sim 500\text{MPa}$ に達することができ、モリブデン-レニウムワイヤーは約 $250\sim 400\text{MPa}$ です。この高い強度により、モリブデン線は、白熱灯やハロゲンランプの高温負荷に耐えるフィラメント支持材料として機能します。

クリープ性能は、高温での長期運転のためのモリブデンワイヤーの重要な指標です。クリープとは、材料が持続的な応力下でゆっくりと変形するプロセスを指し、フィラメント支持体の故障や電極の変形につながる可能性があります。純粋なモリブデン線は、 1200°C 以

著作権および法的責任に関する声明

上でクリープする傾向があり、クリープ率は約 10^{-5}s^{-1} (100MPa 応力時)です。ドーピングされたモリブデンワイヤーは、粒界転位をピン留めすることによりクリープ率を大幅に低減し、例えば、1%酸化ランタンをドーピングしたモリブデンワイヤーは、1500°Cで純粋なモリブデンワイヤーよりも50%以上低いクリープ率を持っています。レニウムの固溶体強化効果により、モリブデンレニウムワイヤーのクリープ性能も純粋なモリブデンワイヤーよりも優れています。

ハロゲンランプでは、モリブデンワイヤーサポートは熱サイクル(室温から1500°Cへの急速な上昇)にさらされ、高温での引張強度と耐クリープ性がランプの寿命を直接決定します。モリブデンワイヤーの耐クリープ性は、粒径(通常は10~50 μm)とドーピングプロセスを最適化することにより、製造時に改善されます。

3.3.2 照明用モリブデン線の延性と靱性

モリブデンワイヤーの延性は伸ばされたとき塑性に変形する能力を指し、純粋なモリブデンワイヤーの壊れ目での延長は室温で10%-15%です。ドーピングされたモリブデンワイヤー(モリブデンレニウムワイヤーなど)は、溶液強化により延性を大幅に改善し、破断伸びは20%~25%に達することがあります。延性が高いため、モリブデン線は延伸および成形プロセス中に切断されにくく、複雑な形状の電極や支持構造の製造に適しています。

靱性は、モリブデンワイヤーが衝撃エネルギーを吸収し、脆性破壊を防ぐ能力を反映しています。照明器具では、モリブデン線は振動(自動車のランプなど)や熱衝撃(ハロゲンランプの頻繁な交換など)にさらされます。高温(>1000°C)では、純粋なモリブデン線は再結晶により脆くなり、靱性が低下します。モリブデンランタンワイヤーは、高温靱性を維持する酸化ランタン粒子の分散によって強化され、破壊靱性(K_{IC})は1500°Cで約10MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ であり、7MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ の純粋なモリブデンワイヤーよりも高くなっています。モリブデンレニウムワイヤーは靱性に優れており、高振動環境に適しています。生産では、延性と靱性の最適化は、アニーリング温度(800-1200°C)と描画プロセスにおけるドーピング要素の均一な分布に依存します。極細モリブデン線(<0.05mm径)は、より高い延性が求められ、低温焼鈍と精密成形が必要です。

3.3.3 照明用モリブデン線の耐疲労性と耐破壊性

耐疲労性は、繰り返し応力下でのモリブデンワイヤーの耐久性を反映しています。自動車のヘッドランプやステージライトでは、モリブデン線は頻繁に熱サイクルや機械的振動にさらされるため、疲労亀裂が発生する可能性があります。純粋なモリブデンワイヤーの疲労寿命は高温(約 10^4 サイクル、100MPa応力)で短くなりますが、ドーピングされたモリブデンワイヤー(モリブデンランタンワイヤーなど)の疲労寿命は、粒界強化により10°C以上に増やすことができます。

耐破壊性は、モリブデン線の粒径と表面欠陥と密接に関連しています。細粒(10-20 μm)は

著作権および法的責任に関する声明

応力集中を分散させ、耐破壊性を向上させます。表面仕上げが高く(Ra<0.5 μ m)、亀裂発生点が少ないため、洗浄されたモリブデンワイヤーは黒色モリブデンワイヤー(Ra 0.5-2.0 μ m)よりも優れた耐破壊性を備えています。生産現場では、表面の研磨と欠陥検出(超音波探傷など)が耐破壊性を向上させるための鍵となります。

HID ランプでは、モリブデン線電極はアーク衝撃による応力集中に抵抗する必要があり、ドーピングされたモリブデン線(モリブデンレニウム線など)は、その高い靱性と耐疲労性により、破壊のリスクを効果的に低減できます。

3.4 照明用モリブデン線の電気的特性

照明用モリブデン線の電気特性は、抵抗率や温度係数、電流容量、アーク安定性など、電極または導電部品としての性能を決定します。

3.4.1 照明用モリブデン線の抵抗率と温度係数

モリブデン線の抵抗率は $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ で、銅($1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)よりわずかに高いですが、タングステン($5.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)に近いです。抵抗率は温度とともに増加し、約 $2.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ で、最大 $4.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ で $2000^{\circ}C$ で m 。抵抗率の温度係数(TCR)は $0.0045K^{-1}$ ($20-1000^{\circ}C$)であり、温度が上昇すると導電率が急速に低下することを示しています。

ドーピングされたモリブデンワイヤーは、結晶構造を最適化することにより、高温抵抗率を低減することができます。例えば、1%の酸化ランタンをドーピングしたモリブデン線は、 $1500^{\circ}C$ で純粋なモリブデン線よりも抵抗率が約 10%低く、これは酸化ランタン粒子が粒界散乱を減少させるためです。レニウムの固溶体効果により、モリブデンレニウムワイヤーの抵抗率はわずかに高くなります($20^{\circ}C$ で約 $6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)が、その温度係数はより安定しており、高周波放電環境に適しています。

照明器具では、抵抗率がエネルギー損失と発熱に直接影響します。低抵抗のモリブデンワイヤーは、ジュール熱を低減し、照明器具の効率を向上させます。HID ランプでは、アーク始動の安定性を確保するために、モリブデンワイヤ電極の抵抗率を正確に制御する必要があります。

3.4.2 照明用モリブデン線の電流容量

モリブデンワイヤの電流容量は、その直径、材料の純度、および動作温度によって異なります。直径 0.1mm の純粋なモリブデンワイヤは、 $20^{\circ}C$ で約 10A の電流を流し、 $1000^{\circ}C$ で約 5A に低下することができます。ドーピングされたモリブデン線(モリブデンランタン線など)は、高温での強度が高いため、電流容量がわずかに優れており、 $1500^{\circ}C$ で 4~6A(直径 0.1mm)を運ぶことができます。

著作権および法的責任に関する声明

ガス放電ランプでは、モリブデン線電極に瞬間的な大電流(数ミリ秒で 10~100A)がかかるため、高い導電性と耐熱衝撃性が必要です。その優れた延性と靱性により、モリブデンレニウムワイヤは、破損することなく繰り返しの電流ショックに耐えることができます。生産では、粒径を大きくし、表面欠陥を減らすことにより、電流容量の最適化を達成する必要があります。

3.4.3 照明用モリブデン線のアーク安定性

アーク安定性は、特に HID ランプや蛍光灯の電極材料としてのモリブデンワイヤの重要な特性です。モリブデンワイヤの高い融点とアーク耐食性により、高いアーク温度(>4000°C)で構造的完全性を維持できます。表面仕上げ(Ra<0.5μm)が高いため、洗浄されたモリブデンワイヤは、アーク放電中の局所的な過熱とスパッタを減らし、安定性を向上させることができます。

ドーピングされたモリブデンワイヤ(例えば、モリブデンランタンワイヤ、モリブデンレニウムワイヤ)は、表面の微細構造を最適化することにより、アーク放電によって引き起こされる粒界腐食を低減します。たとえば、酸化ランタンをドーピングしたモリブデンワイヤは、高周波放電(20~10 kHz)で純粋なモリブデンワイヤよりも約 100%高いアーク安定性を示します。生産現場では、電極の長期的な信頼性を確保するために、高電圧インパルス試験などの照明器具の動作条件をシミュレートすることでアーク安定性がテストされることがよくあります。

3.5 照明用モリブデン線の光学特性

照明用モリブデン線の光学特性は、主に表面仕上げと反射率、高温放射特性、光学特性に対する表面酸化の影響など、ランプの放射効率と光出力品質に影響を与えます。

3.5.1 照明用モリブデン線の表面仕上げと反射率

モリブデンワイヤの表面仕上げは、その反射率とアーク放電の均一性に直接影響します。電解研磨または化学洗浄により、洗浄されたモリブデンワイヤの表面粗さは Ra0.1~0.5μm に達することができ、反射率(可視光範囲)は約 60%~70%です。表面酸化膜(MoO₂)のため、黒色モリブデン線の粗さは高く(Ra 0.5-2.0μm)、反射率はわずか 30%-40%です。

ハイフィニッシュモリブデンワイヤは、ハロゲンランプや HID ランプの光出力の均一性を向上させ、表面欠陥による局所的な過熱を低減します。プロジェクションランプでは、モリブデンワイヤの反射率が光の集光効果に影響を与え、クリーニングされたモリブデンワイヤの高い反射率により、光の利用率を向上させることができます。生産では、精密研磨装置とオンライン検査によって表面仕上げの制御を達成する必要があります。

3.5.2 照明用モリブデン線の高温放射特性とスペクトル解析

モリブデン線の高温での放射特性は、電極や支持材料としての性能と密接に関係していま

著作権および法的責任に関する声明

す。1500-2000°Cでは、モリブデンワイヤの放射スペクトルは主に赤外線および近赤外領域(波長0.7-2.5μm)に集中し、可視光(0.4-0.7μm)は比較的低いです。これにより、赤外線ランプに利点がありますが、主に白色光照明の補助材料として使用されています。

モリブデンランタン線などのドーパドモリブデン線は、結晶構造を最適化することにより、可視領域の放射効率をわずかに向上させることができます。例えば、1%酸化ランタンをドーパドしたモリブデン線は、2000°Cでの放射力が純粋なモリブデン線に比べて約10%高くなります。スペクトル解析により、モリブデン線の放射ピークは温度の上昇に伴って短波長に移動することが示されており、これはプランクの黒体放射法則に準拠しています。実際には、モリブデンフィラメントの放射特性をフィラメント(通常はタングステン)と共に最適化して、目的の光出力を達成する必要があります。

3.5.3 照明用モリブデン線の表面酸化が光学特性に及ぼす影響

表面酸化は、モリブデン線の光学特性に大きな影響を与えます。黒色モリブデン線の酸化物層(MoO₂またはMoO₃)は、可視光線と赤外光の一部を吸収し、反射率と放射効率を低下させます。ハロゲンランプでは、酸化物層の蒸発により電球の内壁が堆積し、光出力の効率が低下する可能性があります。酸化物層を除去することにより、洗浄されたモリブデン線は光学性能を大幅に向上させ、反射率と放射効率は黒色モリブデン線よりも優れています。

高温(>1000°C)では、モリブデン線の表面に少量の酸化が発生し、スペクトル特性に影響を与えることがあります。ドーパドされたモリブデンワイヤー(例えば、モリブデンランタンワイヤー)は、安定した表面構造を形成することにより、酸化プロセスを遅くし、光学特性の安定性を維持します。アルミナコーティングなどのコーティングされたモリブデンワイヤーは、表面の酸化に対するさらなる保護を提供し、高性能の特殊ランプに適しています。

3.6 CTIA GROUP LTD の照明 MSDS 用モリブデン線

製品安全データシート(MSDS)は、照明用モリブデンワイヤーの安全な使用、保管、および輸送に関するガイダンスを提供します。以下は、CTIAの照明用モリブデン線のMSDSの主な内容です。

パート I: 化学名

化学名: モリブデン ワイヤー
CAS 番号: 7439-98-7
分子式: Mo
分子量: 99.95

パート II: 構成/構成情報

内容量 99.3%~99.95% モリブデン

著作権および法的責任に関する声明

パート III: ハザードの概要

健康被害: この製品は目や皮膚に刺激を与えません。

爆発の危険性: この製品は不燃性で刺激性がありません。

パート IV: 応急処置

肌と肌の接触: 汚染された衣服を脱ぎ、大量の流水ですすいでください。

アイコンタクト: まぶたを持ち上げ、流水または生理食塩水ですすいでください。医療。

吸入: 現場から新鮮な空気に移します。呼吸が困難な場合は、酸素を供給してください。医療。

摂取量: 嘔吐を誘発するために、温かい水をたくさん飲んでください。医療。

パート V: 防火対策

有害な燃焼生成物: 自然分解生成物は不明です。

消火方法: 消防士は、風上方向の消火のためにガスマスクと全身消防服を着用する必要があります。消火剤: 乾燥皮革粉末、砂。

パート VI: 流出の緊急対応

応急処置: 漏れた汚染領域を隔離し、アクセスを制限します。火源を遮断します。救急隊員は、防塵マスク(フルフェイスマスク)と防護服を着用することをお勧めします。ほこりを避け、慎重に掃き上げ、袋に入れて安全な場所に移してください。漏れが多い場合は、プラスチックの布またはキャンバスで覆ってください。収集してリサイクルするか、廃棄物処理場に輸送して処分します。

パート VII: 取り扱い、取り扱い、保管

操作上の注意: オペレーターは特別な訓練を受け、操作手順に厳密に従う必要があります。オペレーターは、自吸式フィルター防塵マスク、化学安全メガネ、毒物防止用オーバーオール、ゴム手袋を着用することをお勧めします。火気や熱源から遠ざけ、職場での喫煙は固く禁じられています。防爆換気システムと機器を使用してください。粉塵の発生を避けてください。酸化剤やハロゲンとの接触を避けてください。取り扱いの際は、包装や容器の破損を防ぐため、軽快な積み下ろしをする必要があります。対応する種類と量の消防設備と漏洩救急治療設備を装備しています。空の容器は有害物質を残す可能性があります。

保管上の注意: 涼しく換気の良い倉庫に保管してください。火気や熱源から遠ざけてください。酸化剤やハロゲンとは別に保管し、混合しないでください。対応する種類と量の消防設備を装備しています。保管場所には、こぼれを封じ込めるのに適した材料を装備する必要があります。

パート VIII: 露出制御/個人保護

著作権および法的責任に関する声明

中国 MAC(mg / m3):6

ソ連 MAC(mg / m3):6

TLVTN:ACGIH 1mg/m3

TLVWN:ACGIH 3mg/m3

モニタリング方法:チオシアン化カリウム-塩化チタン分光法

エンジニアリング制御:生産プロセスはほこりがなく、完全に換気されています。

呼吸保護:空気中の粉塵濃度が基準を超える場合は、自吸式フィルター防塵マスクを着用する必要があります。緊急避難の場合、空気呼吸装置を着用する必要があります。

目の保護具:化学安全メガネを着用してください。

ボディプロテクション:毒物防止浸透オーバーオールを着用してください。

手の保護具:ゴム手袋を着用してください。

パート IX:物理化学的性質

主成分:ピュア

外観と特性:ソリッド、メタリックブライトホワイト。ブランク、ブラック仕上げ

融点(°C):2620

沸点(°C):5560

相対密度(水=1):9.4~10.2(20°C)

蒸気密度(空気=1):データなし

飽和蒸気圧(kPa):データなし

燃焼熱(kj / mol):データなし

臨界温度(°C):データがありません

臨界圧力(MPa):データなし

水分分配係数の対数:データなし

引火点(°C):データがありません

発火温度(°C):データなし

爆発限界%(V / V):データなし

爆発下限%(V / V):データなし

溶解性:硝酸、フッ化水素酸に可溶

主な用途:金型、モリブデン線、電子部品などの製造に使用

パート X:安定性と反応性

禁止物質:強酸とアルカリ。

パート 11:

急性毒性:データはありません

LC50:データなし

パート XII:生態学的データ

このセクションのデータはありません

著作権および法的責任に関する声明

パート XIII:処分

廃棄物の処理方法:処分する前に、関連する国および地域の法律および規制を参照してください。可能であればリサイクルしてください。

パート XIV:配送情報

危険物番号:情報なし

包装カテゴリ:Z01

輸送上の注意:輸送時には梱包が完了し、積み込みはしっかりと行う必要があります。輸送中は、コンテナが漏れたり、倒れたり、落下したり、損傷したりしないようにする必要があります。酸化剤、ハロゲン、食用薬品などとの混合は固く禁じられています。輸送中は、日光、雨、高温にさらされないように保護する必要があります。車両は輸送後に徹底的に清掃する必要があります。

パート XV: 規制情報

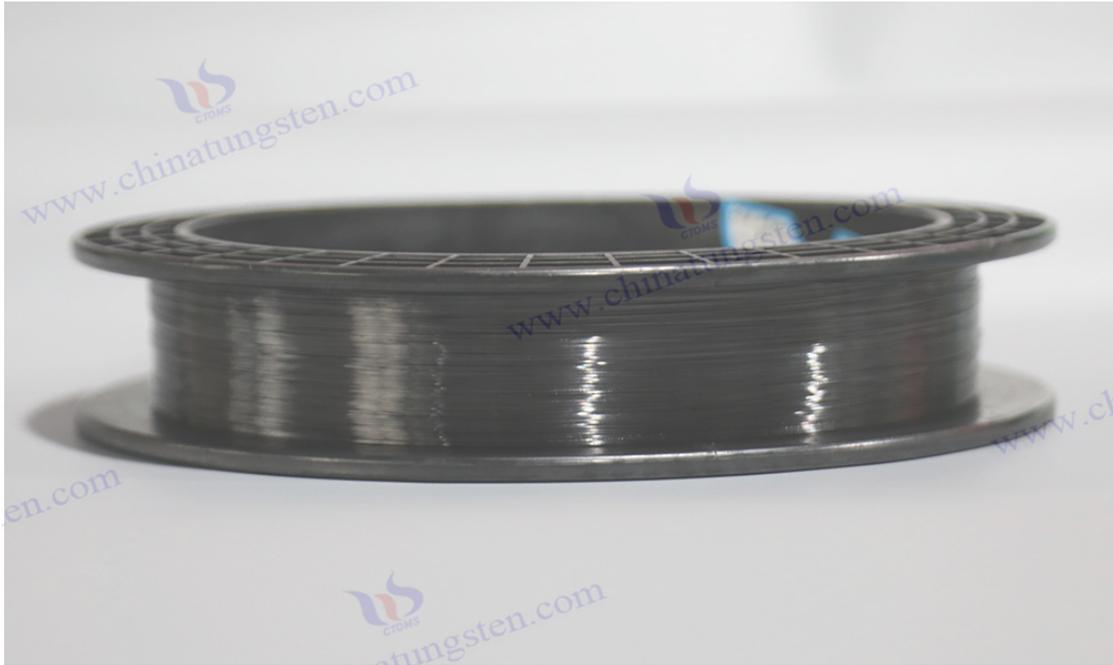
規制情報:危険化学物質の安全管理に関する規則(1987年2月17日に国務院で公布)、危険化学物質の安全管理に関する規則の実施に関する詳細な規則(Hua Lao Fa [1992] No. 677)、職場における化学物質の安全な使用に関する規則([1996] Lao Bu Fa No. 423)およびその他の法律および規制、危険な化学物質の安全な使用、製造、保管、輸送、積み降ろしに関する対応する規定を設けている。ワークショップの空気中のタングステンの衛生基準(GB 16229-1996)は、ワークショップの空気中のこの物質の最大許容濃度と検出方法を規定しています。

パート XVI:サプライヤー情報

サプライヤー:CTIA GROUP LTD

電話番号:0592-5129696/5129595

著作権および法的責任に関する声明



CTIA の照明用モリブデン線

第 4 章 照明用モリブデン線の調製・製造技術

照明用モリブデンワイヤーの準備は、原材料の選択から最終製品までの複数のプロセスリンクを含む複雑で正確なプロセスであり、その生産技術とプロセスの最適化がモリブデンワイヤーの品質と性能を直接決定します。この章では、原材料の選択と前処理、製錬と成形、伸線プロセス、表面処理技術、ドーピングプロセス、品質管理、プロセスの最適化など、照明用モリブデンワイヤーの準備と製造プロセスについて詳しく説明します。

4.1 照明用モリブデン線の原料選択と前処理

照明用モリブデンワイヤーの性能は、原材料の品質と前処理プロセスに大きく依存します。原材料の選択と前処理は生産の最初のステップであり、その後の製錬、成形、伸線の成功率、および最終製品の性能に直接影響します。以下は、モリブデン粉末の純度と粒度制御、ドーピング材料の選択と比率、および前処理プロセスの 3 つの側面からの詳細な分析です。

4.1.1 モリブデン粉末の純度要件($\geq 99.95\%$)と粒度制御

モリブデンワイヤーの調製は通常、高純度のモリブデン粉末でできており、高温環境でのモリブデンワイヤーの化学的安定性と電気的特性を確保するために、純度が 99.95%以上に達する必要があります。不純物(鉄、ニッケル、シリコン、炭素など)の含有量は、微量の不純物でも高温で粒界腐食やアークの不安定性を引き起こす可能性があるため、非常に低いレベル(全不純物の 0.05%<に保つ必要があります。例えば、鉄不純物が 0.01%を超えると、モリブデンフィラメントがハロゲンランプ中のハロゲンガスと反応して揮発性化合物を形成し、ランプの寿命を縮める可能性があります。

著作権および法的責任に関する声明

モリブデン粉末の調製は、通常、モリブデン石(MoS_2)を精製することによって得られます。このプロセスは、モリブデン焙煎して三酸化モリブデン(MoO_3)を生成し、続いて水素還元(600~1000°Cの管状炉で2回の還元)を行い、高純度のモリブデン粉末を製造するというものです。還元プロセスでは、水素の純度($\geq 99.999\%$)と還元温度を制御して、酸素残留物を避ける必要があります。還元モリブデン粉末は、その純度を確認し、ASTM B386またはGB/T 3462規格に準拠するために、化学的に分析する必要があります(ICP-OESなど)。

粒度制御は、原材料の前処理の重要な部分です。照明用モリブデン線材には、粒径が1~5 μm で粒度分布が均一なモリブデン粉末(D50は約2~3 μm)が必要です。微細で均一な粒子サイズは、焼結ピレットの密度を高め、多孔性と介在物を減らすのに役立ちます。粒子サイズが大きすぎる($>10\mu\text{m}$)と、焼結にムラが生じ、モリブデン線の機械的強度に影響を及ぼします。粒径が小さすぎる($<1\mu\text{m}$)と、焼結収縮が増大し、ブランクの割れにつながる可能性があります。粒度制御は、気流分類または振動スクリーニングによって達成され、一般的な機器には気流分級機と超音波ふるいが含まれます。さらに、モリブデン粉末の形態は、その後の圧縮および焼結効果にとって重要であり、球状粉末はプラズマ球状化技術によって調製できます。

4.1.2 ドーピング材料(ランタン、レニウムなど)の選択と比率。

ドーピングされた材料の選択と比率は、高性能モリブデンワイヤー(モリブデンランタンワイヤーやモリブデンレニウムワイヤーなど)の調製におけるコアリンクであり、高温での耐クリープ性、延性、耐酸化性を向上させることを目的としています。一般的にドーピングされる材料には、酸化ランタン(La_2O_3)、レニウム(Re)、酸化イットリウム(Y_2O_3)、酸化セリウム(CeO_2)などがあります。

酸化ランタン(La_2O_3):最も一般的に使用されるドーピング材料で、通常は0.3~1.0質量%です。

酸化ランタンは、ナノスケールの粒子(粒子サイズ50~200nm)の形でモリブデンマトリックスに分散され、再結晶温度(1400°Cから1800°C)と耐クリープ性が大幅に向上します。酸化ランタンは、不純物(硫黄やリンなど)が性能に与える影響を避けるために、高純度($\geq 99.99\%$)である必要があります。

レニウム(Re):レニウム(1%-5%)をドーピングしてモリブデンレニウムの固溶体を形成し、延性と耐酸化性を向上させます。レニウム粉末は水素還元によって調製する必要があり、純度は $\geq 99.98\%$ です。レニウムのコストが高い(モリブデンの約50~100倍)ため、主にハイエンドの特殊ランプに使用されています。

酸化イットリウム(Y_2O_3)および酸化セリウム(CeO_2):0.5%-2%および0.3%-1%の含有量の特殊なモリブデンワイヤーに使用されます。酸化イットリウムは耐アーキ性を向上させ、紫外

著作権および法的責任に関する声明

線ランプに適しています。酸化セリウムは高温安定性を高め、赤外線ランプに適しています。どちらも高純度($\geq 99.95\%$)と微粒子サイズ($< 100\text{nm}$)が必要です。

比率制御:ドーピング比は正確に制御する必要があり、高すぎると材料の軟化やコストが高くなる可能性があります、低すぎると性能が大幅に向上しません。例えば、酸化ランタン含有量が0.8%の場合、モリブデンワイヤーの引張強度は 1500°C で 400MPa に達することができ、これは純粋なモリブデンワイヤーよりも50%高いです。この比率は、電子天びん計量と化学分析によって検証され、誤差は $\pm 0.01\%$ に制御されます。

ドーピング材料の選択では、モリブデンマトリックスとの化学的適合性も考慮する必要があります。例えば、酸化ランタンは高温でモリブデンと安定な分散相を形成しますが、レニウムは溶液強化により結晶構造を改善します。生産では、ドーピングされた材料の均一な分布が重要であり、これはその後の混合プロセスを通じて達成されます。

4.1.3 原材料の前処理(洗浄、スクリーニング、混合)

原材料の前処理には、モリブデン粉末とドーピング材料の一貫した品質を確保するための洗浄、スクリーニング、および混合が含まれます。

洗浄:モリブデン粉末は、製造プロセス中に水分、グリース、または酸化物を吸着する可能性があるため、化学洗浄によって除去する必要があります。一般的に使用される洗浄剤は、希硝酸(HNO_3 、濃度5%-10%)または水酸化ナトリウム(NaOH 、濃度2%-5%)であり、洗浄温度は $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ で5~10分間制御されます。洗浄後は、脱イオン水ですすぎ、乾燥($100\sim 150^{\circ}\text{C}$ の真空乾燥)して、不純物の残留を防ぐ必要があります。

ふるい分け:振動スクリーンまたは空気分級機を使用して、特大または小さすぎる粒子を除去し、 $1\sim 5\mu\text{m}$ の粒度分布を確保します。スクリーニング装置は、金属汚染を避けるために、ステンレス鋼またはセラミックで作られている必要があります。スクリーニングプロセスでは、粒度分布曲線を監視し、 D_{90}/D_{10} 比を2~3に制御して均一性を確保する必要があります。

混合:ドーピングされたモリブデンワイヤーは、モリブデン粉末とドーピングされた材料(酸化ランタンなど)と均一に混合する必要があります。湿式混合(例:エタノールまたは媒体としての脱イオン水)または乾式混合(例:V ミキサー)が一般的に使用されます。湿式混合は、通常2~4時間、超音波分散によって均一性を向上させます。混合後、複合粉末は噴霧乾燥(入口温度 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$)によって調製され、ドーピング粒子の均一な分布を確保します。

前処理プロセスは、粉塵の汚染を避けるために、クリーンな環境(清浄度クラス ISO 7)で

著作権および法的責任に関する声明

実行する必要があります。最先端の前処理装置により、効率と一貫性が向上します。

4.2 照明用モリブデン線の製錬・成形

製錬と成形はモリブデンワイヤー調製のコアリンクであり、粉末冶金、焼結、ホットプレス、鍛造、圧延を通じてモリブデン粉末を高密度ブランクに変換し、その後の伸線の基礎を提供します。

4.2.1 粉末冶金プロセス

粉末冶金は、照明用モリブデン線の主な調製方法であり、そのプロセスには、粉末プレス、焼結、熱処理、および成形が含まれます。材料組成と微細構造を正確に制御できるという利点があり、高性能モリブデン線の製造に適しています。

粉末プレス:前処理されたモリブデン粉末またはドーブ粉末を金型に装填し、油圧プレスでロッドまたはプレートブランクにプレスします。プレス圧力は 100~200MPa で、金型の材質は汚染を避けるために高強度鋼または超硬合金です。プレス工程では、ブランクの均一性を確保するために、粉末充填密度(理論密度約 50%~60%)を制御する必要があります。

予備焼結:プレスされたピレットは、水素雰囲気炉(温度 800~1000°C、2~4 時間保持)で予備焼結され、水分と揮発性不純物を除去し、ピレットの強度を高めます。予備焼結には、酸化を避けるために、水素の流量(1~2m³/h)と露点(<~40°C)を制御する必要があります。

プロセス特性:粉末冶金は、複雑な組成のドーブされたモリブデンワイヤー(モリブデンランタンワイヤーなど)を製造し、プレスおよび焼結パラメーターの正確な制御を通じてブランクの微細構造を最適化できます。世界有数の企業が、自動プレス装置を使用して生産効率を向上させています。

4.2.2 真空焼結・高温焼結技術

焼結は、プレスされたピレットを高密度のモリブデンピレットに変換するための重要なステップであり、通常は酸化を避けるために真空または水素雰囲気で行われます。

真空焼結:真空焼結炉(真空度<10³Pa)では、温度は 1800~2200°C に上昇し、4~8 時間保温されます。真空環境は、残留酸素を効果的に除去し、多孔性を低減します。焼結後、ブランクの密度は 95%~98%の理論密度に達することができ、粒径は 10~50μm に制御されます。

著作権および法的責任に関する声明

高温焼結:ドーパされたモリブデン線(モリブデンランタン線など)の場合、水素雰囲気中で高温焼結(2300~2500°C、2~4時間保持)が必要です。水素保護は、酸化ランタンまたはレニウムの揮発を防ぎ、ドーパされた元素の安定性を確保します。焼結炉には、高温に耐えるためにタングステンまたはモリブデンの発熱体を装備する必要があります。

主なパラメータ:焼結温度、保持時間、加熱速度を正確に制御する必要があります。過度の温度(>2600°C)は、過度の穀物の成長を引き起こし、機械的強度を低下させる可能性があります。温度が低すぎる(<1800°C)と、目的の密度が得られません。最新鋭の焼結炉により、±5°Cの温度制御精度を実現しています。

アプリケーションへの影響:高密度の焼結ブランクは、その後の伸線のための機械的特性の優れた基盤を提供し、超極細モリブデンワイヤ(直径<0.05mm)の製造に適しています。

4.2.3 ホットプレス、鍛造、圧延プロセス

焼結ブランクは、ホットプレス、鍛造、圧延によってさらに加工され、伸線に適したバーまたはプレートが形成されます。

ホットプレス:ホットプレス(圧力 50-100MPa、温度 1500-1800°C)では、焼結ブランクをさらに圧縮してマイクロスコーシスを排除します。ホットプレスは通常、真空または水素雰囲気で行われ、ピレットの密度は 99%以上に達することがあります。

鍛造:ホットプレスされたブランクは、多方向鍛造機(鍛造温度 1200-1600°C)によって円筒形または角形の棒に加工されます。鍛造は、粒子を微細化(50µm から 20-30µm)し、材料の靱性を向上させます。変形速度(0.1-0.5 s⁻¹)は、亀裂を避けるために鍛造プロセス中に制御する必要があります。

圧延:鍛造バーは、熱間圧延機(温度 1000-1400°C)によって直径 5~10mm のバーまたはプレートに圧延されます。ローリングでは、応力集中を減らすために、小さな変形(変形ごとに 10%~15%)を複数回使用する必要があります。酸化スケールを除去するために、圧延バーの表面を研磨する必要があります。

プロセス特性:熱間加工プロセスは、ブランクの機械的特性と加工性を改善し、その後の伸線に高品質の基板を提供します。中国企業は、ドイツの熱間圧延装置を導入することにより、バーの寸法精度を大幅に向上させました。

4.3 照明用モリブデン線の描画工程

伸線プロセスは、モリブデンロッドをフィラメントに引き伸ばすプロセスであり、これは照明用のモリブデンワイヤーを準備するためのコア技術であり、ワイヤーの寸法精度、表面品質、および機械的特性を直接決定します。

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

4.3.1 粗絞り、細絞り、超細絞り技術

伸線プロセスは、粗引き、細引き、超細引きの3つの段階に分かれており、ターゲットの直径とアプリケーション要件に応じて、ワイヤのサイズは徐々に縮小されます。

ラフ図面: 圧延バー(直径 5~10 mm)を直径 0.5~2 mm に引き伸ばします。大まかな絞りにはマルチパス伸線機(1 時間あたり 10%~20%の直径縮小)を使用し、金型材料は超硬合金または天然ダイヤモンドです。延伸速度は 1~5m / min で、延性を向上させるために 600~800°C で熱間伸線が必要です。

細線引き: 粗いワイヤーを直径 0.05~0.5mm に引き抜き、白熱灯、ハロゲンランプ、HID ランプに適しています。微細な絞り加工には高精度な金型(公差 0.001mm±)が必要で、絞り速度は 0.5~2m/min に低下します。加工硬化をなくすために、細引き工程では複数回の焼鈍(800-1000°C)が必要です。

超微細絞り: ワイヤーを直径 0.01~0.05mm に伸ばし、特殊なランプ(UV ランプなど)に適しています。超極細伸線は、ダイスや潤滑剤に非常に高い要求が課せられ、多結晶ダイヤモンドダイス(穴径精度 0.0005mm)±、延伸速度<0.5m/min が求められます。極細モリブデン線の引張強度は 1500MPa 以上に達することがありますが、破損しやすく、プロセスパラメータを厳密に制御する必要があります。

技術的な課題: 超微細絞りの歩留まりは低く(約 70%-80%)、ワイヤーの表面欠陥や内部応力により破壊が発生する可能性があります。最先端の伸線機は、インライン張力制御と欠陥検出により歩留まりを向上させます。

4.3.2 潤滑剤の選択と金型設計の最適化

潤滑剤とダイの設計は、ワイヤの表面品質と描画効率に直接影響する描画プロセスの鍵です。

潤滑剤の選択: グラファイトエマルジョンまたは二硫化モリブデン(MoS₂)潤滑剤は、高温安定性と低摩擦係数(0.1-0.2)で、粗引きおよび微細絞りに一般的に使用されます。超微細絞り加工では、表面の傷を減らすために、油性潤滑剤(ポリエチレングリコール系潤滑剤など)を使用する必要があります。不純物による汚染を防ぐために、潤滑剤は定期的に変換する必要があります。

金型設計: 絞りダイは、高硬度材料(超硬合金 WC や多結晶ダイヤモンド PCD など)で作成する必要があります。ダイの穴径は正確に加工する必要があります(公差±0.001 mm)、絞り応

著作権および法的責任に関する声明

力を減らすために、進入角度(8-12°)と減速ゾーンの長さを最適化する必要があります。金型の表面を研磨(Ra<0.05μm)して、摩擦や表面欠陥を減らす必要があります。

最適化対策: 高度なツール設計では、有限要素解析 (FEA) を使用して、伸線中の応力分布をシミュレートし、金型形状を最適化します。潤滑システムは、自動噴霧装置を通じて均一な潤滑剤カバレッジを確保し、描画安定性を向上させます。

4.3.3 中間アニーリングと最終アニーリングのプロセス

アニーリングプロセスは、延伸プロセス中の加工硬化を排除し、モリブデンワイヤの延性と靱性を回復するために使用されます。

中間焼鈍:通常は水素雰囲気炉で、800~1000°Cの温度で、荒引きと細引きを2~3回通過するごとに実施されます。中間アニーリングは、ワイヤの内部応力を50%~70%低減し、粒径を10~20μmに維持します。

最終焼鈍:900~1200°Cの温度で延伸し、5~15秒間保持した後、ワイヤの機械的特性と表面品質を最適化することを目的として行われます。最終的な焼鈍では、過度の穀物の成長を避けるために、冷却速度(10-50°C/s)を制御する必要があります。

プロセス特性:焼鈍炉には精密な温度制御システム(精度±5°C)を装備する必要があります。水素ガスの流量は0.5~1m³/hに制御されます。ドーピングされたモリブデンワイヤ(例えば、モリブデンランタンワイヤ)のアニーリング温度は、ドーピングされた要素の安定性を確保するためにわずかに高い(1000-1300°C)です。

アニーリングプロセスは、モリブデンワイヤの性能にとって重要です。アニーリング温度が高すぎると、再結晶が発生し、強度が低下する可能性があります。温度が低すぎると、ストレスを十分に緩和できません。高度なアニーリング装置により、オンラインアニーリングを実現し、生産効率を向上させることができます。

4.4 照明用モリブデン線の表面処理技術

表面処理技術は、モリブデンワイヤの表面品質、耐食性、光学特性を向上させるための鍵であり、化学洗浄と電解研磨、黒色と洗浄されたモリブデンワイヤのプロセスの違い、および表面コーティング技術をカバーしています。

4.4.1 化学洗浄と電解研磨

モリブデン線の表面から酸化物、グリース、延伸残留物を除去するために、化学洗浄と電解研磨が行われ、表面仕上げと電気的特性が向上します。

化学洗浄:酸洗液(HNO_3 -HF 混合物など、比率 3:1、濃度 5%-10%)で 40~60°C で 1~3 分間洗浄し、表面酸化層(MoO_2 または MoO_3)を除去します。洗浄後は脱イオン水ですすぎ、酸の残留を避けるために乾燥(100~150°C)してください。化学洗浄は、黒色モリブデン線を洗浄されたモリブデン線に変換するのに適しています。

電解研磨:モリブデンワイヤは電解質(NaOH 溶液、濃度 5%-10%など)のアノードとして使用され、電流密度は 0.5~2 A /cm²、研磨時間は 10~30 秒です。電解研磨により、表面粗さを Ra 0.1~0.5 μm に低減し、反射率(60%~70%)と耐アーク腐食性を向上させます。

プロセス特性:低コストの化学洗浄、大規模生産に適しています。電解研磨は精度が高く、ハイエンドランプ(ハロゲンランプ、HID ランプなど)に適しています。廃液処理は環境基準(RoHS 指令など)に準拠する必要があり、酸およびアルカリ廃液の処理には中和沈殿技術が使用されています。

4.4.2 黒色モリブデン線と洗浄されたモリブデン線のプロセスの違い

ブラックモリブデンワイヤーとクリーニングモリブデンワイヤーの間には、表面処理プロセスとアプリケーションシナリオの点で大きな違いがあります。

黒色モリブデン線:表面に酸化層(MoO_2 または MoO_3)の層を Ra0.5~2.0 μm の粗さで保持します。延伸後、空気中または低真空(10-100 Pa)で直接アニール(600-800°C)して酸化層を形成します。黒色モリブデン線は、酸化層がガラスへの接着性を高めるため、低コストの白熱灯のサポートフィラメントやシーリング材に適していますが、アーク安定性は劣ります。

洗浄されたモリブデンワイヤー:酸化層は化学洗浄または電解研磨によって除去され、表面は Ra0.1~0.5 μm の粗さで明るくなっています。洗浄されたモリブデン線の導電率とアーク耐食性は、黒色モリブデン線よりも優れており、ハロゲンランプや HID ランプの電極に適しています。製造には追加の洗浄および研磨ステップが必要であり、これによりコストが約 20%~30%増加します。

プロセスの違い:黒色モリブデンワイヤーの製造は表面処理ステップを省略し、プロセスは簡単です。洗浄されたモリブデンワイヤは、表面に残留欠陥がないことを確認するために、洗浄および研磨パラメータを厳密に制御する必要があります。洗浄されたモリブデン線の製造には、高精度の研磨装置が必要です。

著作権および法的責任に関する声明

4.4.3 表面コーティング技術(例:抗酸化コーティング)

表面コーティング技術は、表面に耐酸化性または耐食性のコーティング(アルミナ Al_2O_3 、モリブデンシリサイド $MoSi_2$ など)を堆積することにより、過酷な環境でのモリブデンワイヤの性能を向上させます。

コーティングタイプ:アルミナコーティング(厚さ $0.1-1\mu m$)は、赤外線ランプに適した耐酸化性を向上させることができます。シリサイドモリブデンコーティング(厚さ $0.5-2\mu m$)は、アーク耐食性を高め、UV ランプに適しています。 Mo_2C などの超硬コーティングは、非常に高温の環境で使用されます。

準備プロセス:化学蒸着(CVD、温度 $800-1200^\circ C$)または物理蒸着(PVD、温度 $500-800^\circ C$)でコーティングを堆積させます。CVDは複雑な形状のモリブデン線に適しており、PVDはコーティングの均一性が高くなります。コーティングは、剥がれないようにモリブデンマトリックスにしっかりと接着する必要があります。

プロセス特性:コーティングプロセスは真空または不活性雰囲気で行う必要があります、設備コストが高くなります(たとえば、CVD 炉の価格は通常の焼結炉の約 2-3 倍です)。コーティングの厚さは走査型電子顕微鏡(SEM)で測定し、接着性は引張試験で検証します。

アプリケーションへの影響:コーティングされたモリブデンワイヤは、酸化温度を $1500^\circ C$ 以上に上昇させ、ランプの寿命を 20%~30%延長できますが、コストは高く、市場の用途はハイエンドの特殊ランプに限定されています。

4.5 照明用モリブデン線のドーピングプロセス

ドーピングプロセスは、モリブデンワイヤの高温性能と耐久性を向上させるための重要な技術であり、ランタン、レニウム、その他の元素のドーピング方法、均一性制御、および性能向上メカニズムが含まれます。

4.5.1 ランタン、レニウム、その他の元素のドーピング方法

ドーピング方法には、主にウェットドーピング、ドライドーピング、化学共沈が含まれます。

ウェットドーピング:モリブデン粉末をドーピングされた材料(例えば、酸化ランタン)と液体媒体(例えば、エタノールまたは脱イオン水)に混合し、超音波分散(周波数 $20-40kHz$ で 1-2 時間)によって均一性を確保する。混合後、コンパウンド粉末を噴霧乾燥(入口温度 $200-250^\circ C$)によって調製します。ウェットドーピングは、酸化ランタンと酸化イットリウムに適しており、均一性が高いですが、粒子の凝集を避けるために乾燥プロセスを制御する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

ドライドーピング:モリブデン粉末は、V型またはダブルコーンミキサーによってドーブされた材料と乾燥混合され、混合時間は4~8時間です。ドライドーピングは、レニウムが液体中で酸化しやすいため、レニウム粉末に適しています。ミキサーの速度(20-50 rpm)は、粉末の成層を避けるために制御する必要があります。

化学共沈:ドーブ粉末は、化学反応(硝酸ランタンとモリブデン酸アンモニウムの共沈など)によって調製され、多元素ドーピング(ランタン+イットリウムなど)に適しています。pH値(6-8)と反応温度(50-80°C)は、ドーブされた元素の均一な分布を確保するために、共沈のために制御する必要があります。

プロセス特性:ウェットドーピングの均一性が最高で、大規模生産に適しています。ドライドーピング装置はシンプルで、レニウムドーピングに適しています。化学共沈は高精度ですが、コストが高く、特殊なモリブデン線に適しています。

4.5.2 ドーピングの均一性管理

ドーピングの均一性は、モリブデンワイヤーの性能安定性に直接影響します。均一性制御には、次の対策が含まれます。

粉末混合:高精度の混合装置を使用して、ドーブされた元素の分布をオンラインサンプリングと蛍光X線(XRF)分析によって検証し、偏差を $\pm 0.01\%$ に制御します。

焼結プロセス:ドーピング元素の揮発や偏析を避けるために、焼結温度(1800-2500°C)と保持時間(2-8時間)を最適化する必要があります。例えば、酸化ランタンは $>2300^{\circ}\text{C}$ で部分的に分解することがあり、焼結雰囲気(水素露点 $<-40^{\circ}\text{C}$)を制御する必要があります。

検出技術:走査型電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分光法(EDS)を組み合わせ、ドーブ粒子の分布を検出し、粒子間隔を $0.5\sim 2\mu\text{m}$ に制御しました。均一性の高いモリブデン線の引張強度は、高温で20%~30%増加させることができます。

4.5.3 高温性能を高めるためのドーピングのメカニズム

ドーピングは、次のメカニズムを通じてモリブデンワイヤーの高温性能を向上させます。

粒界強化:酸化ランタン、酸化イットリウムなどをモリブデン粒界にナノ粒子状に分散させ、転位部に固定することで、粒の成長とクリープを抑制します。例えば、0.8%の酸化ランタンをドーブしたモリブデン線は、 1500°C でのクリープ率が純粋なモリブデン線よりも50%低くなっています。

溶液強化:レニウムはモリブデン格子に溶解して固溶体を形成するため、結晶欠陥の密度が低下し、延性と耐酸化性が向上します。3%レニウムをドーブしたモリブデン線の破断点伸びは、 1200°C で20%に増加します。

著作権および法的責任に関する声明

表面安定性:ドーピングされた元素は、安定した表面構造を形成し、酸化物の揮発を抑制することができます。例えば、酸化ランタン粒子は高温で保護酸化物層を形成し、 MoO_3 (酸化)の形成速度を低下させます。

4.6 照明用モリブデン線の品質管理とプロセスの最適化

モリブデンワイヤの一貫した性能と生産性を確保するための鍵となるのは、プロセスパラメータの監視、欠陥管理、コストの最適化など、品質管理とプロセスの最適化です。

4.6.1 プロセスパラメータのオンライン監視

オンライン監視は、プロセスパラメータをリアルタイムで検出することにより、生産プロセスの安定性を確保します。

監視パラメータ:焼結温度($\pm 5^\circ\text{C}$)、絞り速度($\pm 0.1 \text{ m/min}$)、アニーリング温度($\pm 10^\circ\text{C}$)、潤滑剤流量($\pm \text{L/min}$)が含まれます。センサー(熱電対、レーザー速度計など)とデータ収集システムによるリアルタイム記録。

監視装置:高度な監視システムは、プロセス全体の自動制御を実現し、ビッグデータ分析を通じてパラメータを最適化することができます。例えば、延伸工程での張力変動は $\pm 0.5\text{N}$ に制御されます。

アプリケーションへの影響:オンライン監視により、故障率を1%未満に減らし、モリブデンワイヤの寸法精度と性能の一貫性を向上させ、ハイエンドランプのニーズを満たすことができます。

4.6.2 欠陥制御(亀裂、多孔性、介在物)

欠陥制御はモリブデンワイヤの品質を向上させるための鍵であり、一般的な欠陥には亀裂、多孔性、介在物などがあります。

亀裂:延伸応力または不適切な焼鈍によって引き起こされます。制御手段には、絞りダイの最適化(入口角度 $8\text{-}12^\circ$)、絞り速度の低減(ウルトラフィラメントの場合は $<0.5 \text{ m/min}$)、中間アニール($800\text{-}1000^\circ\text{C}$)が含まれます。亀裂検出は、超音波探傷または顕微鏡検査によって行われます。

多孔性:不十分な焼結または原材料の不純物によって引き起こされます。管理対策としては、焼結温度の増設($2200\text{-}2500^\circ\text{C}$)、保持時間の延長($4\text{-}8$ 時間)、高純度水素の使用(露点 $< -40^\circ\text{C}$)などがあります。空隙率は X 線 CT スキャンで検出し、空隙率は $<0.5\%$ に制御されました。

含有物:原材料の汚染または不均一なドーピングによって引き起こされます。管理措置には、原材料の厳格な洗浄(HNO_3 洗浄)とウェットドーピングの使用が含まれます。介在物の検出はエネルギー分光法(EDS)によって行われ、不純物含有量は $<0.01\%$ に制御されました。

著作権および法的責任に関する声明

4.6.3 生産性とコストの最適化

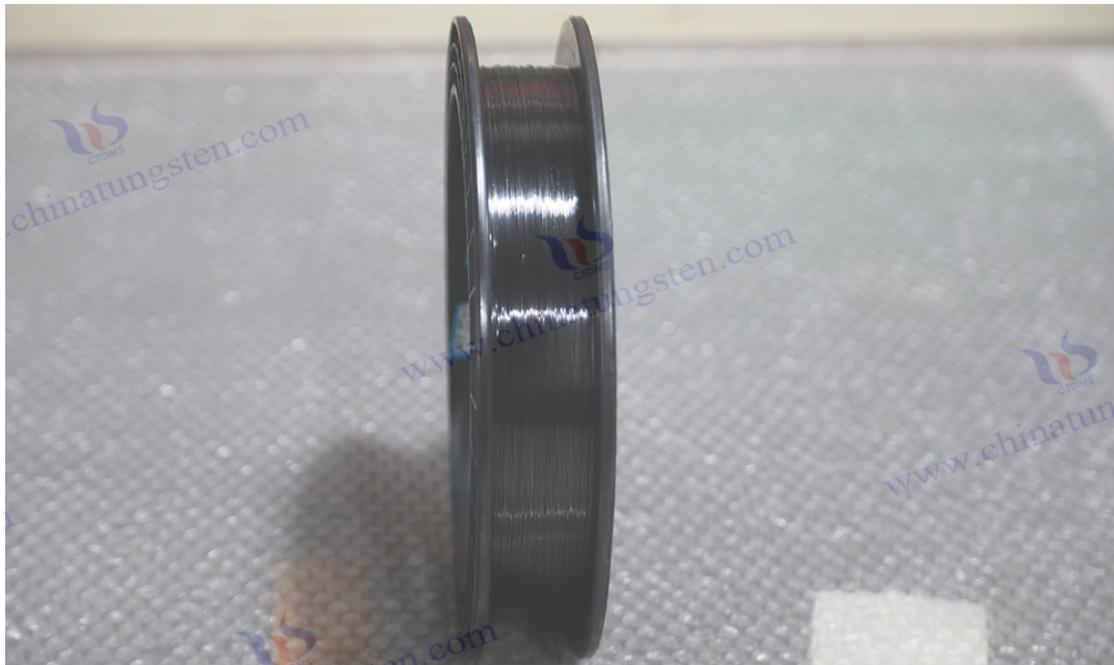
生産効率とコストの最適化は、モリブデン線業界の競争力の鍵です。

効率改善:連続伸線機(ドイツのニーホフ装置など)を使用して伸線速度を 5~10 m / min に上げ、歩留まりを 90%以上に向上させます。自動焼結および焼鈍装置により、生産サイクルタイムを最大 20%短縮できます。

コストの最適化:延伸工程で廃材(断線など)をリサイクルすることで原材料コストを削減し、スクラップ回収率を最大 30%に抑えます。潤滑剤の使用量の最適化(10%-20%削減)とエネルギー消費(焼結炉のエネルギー消費の 15%削減)により、さらにコストが削減されます。

環境保護対策:廃液処理システム(中和・沈殿装置など)は、RoHS および REACH 規制への準拠を確保し、環境保護コストを削減します。低エネルギー焼結炉などのグリーン製造技術は、エネルギー消費を 10%~15%削減できます。

中国企業はコスト最適化に利点がありますが、ハイエンドのドープモリブデンワイヤーのプロセスの一貫性については、ヨーロッパやアメリカの企業から学ぶ必要があります。



CTIA の照明用モリブデン線

著作権および法的責任に関する声明

第5章 照明用モリブデン線の使用

照明用モリブデン線は、その優れた高温性能、化学的安定性、機械的強度により、さまざまな照明デバイスで重要な役割を果たしています。この章では、白熱灯、ハロゲンランプ、ガス放電ランプ、特殊照明、およびその他の関連分野でのモリブデン線の特定の用途について詳しく説明し、その機能、性能要件、および市場の状況を分析します。

5.1 白熱灯

白熱灯は最初に広く使用された照明装置であり、LED ライトの台頭により市場は徐々に縮小しましたが、装飾照明、レトロなランプ、低コストのシーンではまだ広く使用されています。モリブデンフィラメントは、主に白熱灯のフィラメント支持体および導電部品として使用され、その高い温度安定性とガラスとの熱膨張適合性により、欠かせない材料となっています。

5.1.1 フィラメントのサポートと導電性機能

白熱灯では、モリブデンフィラメントの主な機能は、タングステンフィラメントを支え、導電性電極として機能し、安定した電流伝送を確保し、フィラメントの形状を維持することです。白熱灯は、タングステンフィラメントを電流で加熱して可視光を生成することで機能しますが、モリブデンフィラメントはこの高温環境でも構造安定性と電気的特性を維持する必要があります。

フィラメントのサポート:タングステンフィラメントは、高温で軟化またはたるみやすく、光出力が不均一になったり、フィラメントが破損したりします。モリブデンフィラメントは、フィラメントを電球の内側の指定された位置に保持するための支持材料として使用され、通常はタングステンフィラメントで巻かれたスパイラルまたは U 字型の構造になります。モリブデンワイヤーの高い引張強度により、フィラメントの重量と熱応力に耐えることができます。直径 0.1~0.5mm の純粋なモリブデンワイヤーは、低コストで加工性が良いため、一般的な選択肢です。

導電性機能:モリブデンワイヤは、外部電源からの電流を電球の内部に導入し、タングステンフィラメントに接続する電極として機能します。その低い抵抗率は、ジュールの熱損失を低減し、エネルギー効率を向上させます。また、モリブデン線はガラスで密封して気密構造を形成し、真空や不活性ガスの漏れを防ぐ必要があります。その熱膨張係数はホウケイ酸ガラスの熱膨張係数と一致しており、熱サイクル中にシール領域が割れないようにします。

プロセス特性:白熱灯用のモリブデン線は主に純粋なモリブデン線であり、酸化層がガラスとの接着性を高めることができるため、表面は通常黒色のモリブデン線です。生産では、モリブデンワイヤーは、一貫した直径公差と長さを確保するために、精密な絞りおよび切断プロセスを通じて必要です。自動組立装置は、モリブデン線とタングステンフィラメントを正確に組み合わせて、生産効率を向上させることができます。

著作権および法的責任に関する声明

アプリケーションシナリオ:白熱灯の電力範囲は 15~1000W で、モリブデン線は主に家庭用電球、装飾照明、工業用照明に使用されています。低電力電球はモリブデンワイヤから必要な性能が少なく済みますが、高出力電球は、より高い電流を流すために太いモリブデンワイヤを必要とします。

白熱灯におけるモリブデン線の応用技術は成熟しており、世界市場は中国、インド、東南アジアによって支配されており、低コストの照明の需要に対応しています。

5.1.2 高温環境での安定性と寿命

白熱灯は、内部温度が 2500°C を超える真空または低圧の不活性ガスで動作し、モリブデン線はランプの寿命を延ばすために高温で機械的および化学的安定性を維持する必要があります。

機械的安定性:高温でのモリブデンワイヤーの引張強度と耐クリープ性が重要です。1500°C での純粋なモリブデンワイヤーの引張強度は、タングステンフィラメントを支持するのに十分ですが、そのクリープ速度は、長期運転後に支持構造の変形を引き起こす可能性があります。安定性を向上させるために、ドーピングされたモリブデン線を出力の白熱灯に使用することができ、クリープ率を 50%以上低減し、1000W を超える工業用照明器具に適しています。

化学的安定性:白熱灯は真空またはアルゴン/窒素環境にあり、モリブデン線は酸化問題に直面する必要はありませんが、高温で微量の残留酸素または水蒸気と反応して揮発性の MoO_3 を生成する可能性があります。モリブデンワイヤーを保護するために、バルブのパウニングプロセスまたはガス純度を生産で厳密に制御する必要があります。黒色モリブデン線の酸化層は真空環境下で安定しており、性能に大きな影響を与えません。

寿命への影響:モリブデン線の安定性は、白熱灯の寿命に直接影響します。支持線の変形や破損により、タングステンフィラメントがずれ、短絡や光の減衰を引き起こす可能性があります。密閉された電極が故障すると、空気が混入し、フィラメントとモリブデンフィラメントが急速に酸化する可能性があります。研究によると、モリブデンワイヤーの表面品質とシーリングプロセスを最適化すると、照明器具の寿命を 10%~20%延ばすことができます。

プロセスの最適化:生産における中間焼鈍は、モリブデンワイヤーの延性を改善し、高温での脆化のリスクを低減します。表面洗浄は、微量の不純物を除去し、化学的安定性をさらに向上させます。中国企業は、自動シール装置とオンラインテスト技術により、モリブデンワイヤーの信頼性とランプとランタンの寿命を確保しています。

白熱灯用モリブデン線の市場は徐々に縮小していますが、装飾照明の需要は安定しており、2025年から2030年にかけてランプモリブデン線の市場の 15%~20%を占めると予想

著作権および法的責任に関する声明

されています。

5.2 ハロゲンランプ

ハロゲンランプは、ハロゲンサイクリングを通じて発光効率と寿命を向上させるために、自動車照明、家庭用照明、および業務用照明で広く使用されています。モリブデン線は、ハロゲンランプの電極、支持線、シール材として使用され、高温や化学環境にさらされます。

5.2.1 ハロゲンサイクルにおけるモリブデン線の重要な役割

ハロゲンランプの動作原理は、電球に少量のハロゲンガスを添加し、蒸発したタングステン原子と反応して揮発性のハロゲン化タングステンを形成し、電球の内壁にタングステンが堆積するのを防ぎ、フィラメントの寿命を延ばすためにフィラメントにタングステンを戻します。モリブデンワイヤーは、このサイクルで重要な役割を果たします。

電極機能:モリブデン線は、高電圧と瞬間的な高電流に耐える必要があるタングステンフィラメントに電流を導入する電極として機能します。その低い抵抗率と高い導電性により、効率的な電流伝送が保証され、エネルギー損失が減少します。また、モリブデン線電極は、電球内部の高電圧環境を維持するためにガラスに密封する必要があります。

サポート機能:モリブデンワイヤーはタングステンフィラメントを支え、高温やハロゲンサイクルでの振動やたるみを防ぎます。直径0.05〜0.3mmのモリブデンランタン線は、高温での引張強度と耐クリープ性が純粋なモリブデン線よりも優れているため、好まれます。

ハロゲンサイクルサポート:モリブデン線はハロゲンガスと直接接触しているため、化学腐食に対する耐性が必要です。ハロゲンサイクルは、電球の内壁の近くに高温の領域を作成し、モリブデンワイヤーの表面は安定しており、ヨウ素や臭素と揮発性化合物を形成しないようにする必要があります。研究によると、モリブデンワイヤーはヨウ素環境下でタングステンよりもはるかに優れた腐食速度を持っています。

プロセス特性:ハロゲンランプ用のモリブデン線は、ほとんどがモリブデン線を洗浄し、電解研磨により表面仕上げと耐食性が向上しています。シーリングプロセスは、気密性とハロゲンガスの安定性を確保するために、生産現場で正確に制御する必要があります。

アプリケーションシナリオ:ハロゲンランプは、自動車のヘッドライト、家庭用スポットライト、舞台照明に広く使用されています。自動車用ハロゲンランプはハロゲンランプ市場の50%以上を占めており、モリブデン線に対する信頼性要求は非常に高いです。

ハロゲンサイクルにおけるモリブデン線の安定性と耐食性により、ハロゲンランプのコア材料となり、世界市場はヨーロッパと中国によって支配されています。

著作権および法的責任に関する声明

5.2.2 耐高温性と耐薬品性

ハロゲンランプの使用温度は白熱灯の使用温度よりもはるかに高く、フィラメントの温度は 3000°C に達する可能性があり、シーリング部分の温度は 600~800°C であり、モリブデンワイヤは優れた高温耐性と耐薬品性を備えている必要があります。

高温耐性:モリブデンワイヤは、1500~2000°C で機械的強度と構造安定性を維持する必要があります。酸化ランタンのドーピングにより、モリブデンランタンワイヤーの再結晶温度は 1800°C に上昇し、引張強度は 1500°C で 400MPa に達することができ、クリープ率は純粋なモリブデンワイヤーよりも低くなります。一方、純粋なモリブデン線は 1500°C で変形しやすいです。モリブデンランタンワイヤーの優れた性能により、長期間の高温運転におけるフィラメント支持体と電極の信頼性が保証されます。

耐薬品性:ハロゲンガスは高温で非常に腐食性が高く、モリブデン線はその侵食に耐える必要があります。モリブデンの化学的安定性により、揮発性ハロゲン化物を形成せずにハロゲン環境で安定した表面構造を形成することができます。洗浄されたモリブデンワイヤーは表面欠陥が少なく、腐食率はブラックモリブデンワイヤーよりも約 30%低くなっています。ドーパされたモリブデンワイヤーは、耐食性のある表層を形成することにより、耐食性をさらに向上させます。

プロセスの最適化:耐食性は、生産における表面の不動態化によって強化されます。電解研磨により、表面粗さを Ra 0.2μm まで低減し、腐食発生点を減少させます。シーリングプロセスでは、ガラス組成を制御して、モリブデンワイヤの熱膨張と一致するようにする必要があります。

寿命への影響:モリブデン線の高温耐性と耐食性は、ハロゲンランプの寿命を直接決定します。研究によると、モリブデンランタンワイヤーを使用したハロゲンランプの寿命は 4000 時間に達する可能性があり、これは純粋なモリブデンフィラメントランプの寿命よりも 50%長いことが示されています。表面品質とシールの気密性の最適化により、寿命をさらに 10%~20%延ばすことができます。

ハロゲンランプ用モリブデン線は、ランプ用モリブデン線の市場の 30%以上を占めており、2025 年から 2030 年にかけて自動車用照明の需要により、安定した成長を続けると見込まれています。

5.3 ガス放電ランプ

ガス放電ランプは、高い発光効率と長寿命のガス放電によって光を生成し、商業、工業、屋外の照明に広く使用されています。モリブデン線は、主にガス放電ランプの電極およびシーリング材として使用され、高電圧、アーク高温、複雑な化学環境に耐える必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

5.3.1 高輝度放電ランプ(HID)用モリブデン線。

高輝度ガス放電ランプには、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ、キセノンランプが含まれ、発光効率は 100~150 lm/W で、道路照明、スタジアム、産業プラントで広く使用されています。モリブデン線は、HID ランプの電極やシール材として使用され、極めて高い性能要求を満たす必要があります。

電極機能:HID ランプはアーク放電によって光を生成し、電極は高電圧と瞬間的な高電流に耐える必要があります。モリブデンワイヤーの高い融点と導電性により、高いアーク温度で溶融したり、大きな損失を被ったりすることはありません。直径 0.03~0.2mm のモリブデンランタンワイヤーまたはモリブデンレニウムワイヤーは、その優れたアーク耐食性と高温強度のために好ましい。

シーリング機能:モリブデンワイヤはセラミックまたはガラスでシールされ、電球内の高圧環境を維持します。その熱膨張係数はアルミナセラミックスと同程度で、トランジション材料による信頼性の高いシールを可能にします。シール部分は 500~700°C の周期的な温度変化に耐える必要があります、モリブデンワイヤーの気密性はランプの寿命に直接影響します。

性能要件:HID ランプ電極は、アーク放電によって引き起こされる表面腐食とスパッタリングに耐える必要があります。酸化ランタンのドーピングにより、モリブデンランタンワイヤーは純粋なモリブデンワイヤーよりも 20%低い耐アーク腐食性を持っています。モリブデンレニウムワイヤーの延性は、複雑な電極形状に適しており、アーク安定性を向上させます。

プロセス特性:HID ランプに使用されるモリブデンワイヤーは、ほとんどが洗浄されたモリブデンワイヤーであり、電解研磨により表面仕上げとアーク安定性が向上します。精密伸線と高温焼鈍は、ワイヤの一貫性を確保するために生産で使用されます。シーリングプロセスは不活性雰囲気で行われ、応力亀裂を避けるために温度勾配が制御されます。

アプリケーションシナリオ:メタルハライドランプは商業照明に使用され、高圧ナトリウムランプは道路照明に使用され、キセノンランプは自動車のヘッドライトやプロジェクション機器に使用されます。HID ランプはガス放電ランプ市場の 70%を占め、ランプに使用されるモリブデン線の量は 25%を占めています。

5.3.2 蛍光灯電極材料

蛍光灯は、蛍光体を励起して水銀蒸気放電を通じて光を生成し、50~100 lm/W の発光効率で、オフィス、学校、家庭の照明で広く使用されています。モリブデン線は、主に蛍光灯の電極材料として使用され、放電の開始と維持を担当しています。

著作権および法的責任に関する声明

電極機能:蛍光灯電極は、熱電子放出によって開始される低電圧放電を受けます。電極基板として、モリブデンワイヤは通常、仕事機能を減らし、発光効率を向上させるために発光材料でコーティングされています。直径 0.05~0.2mm の純粋なモリブデン線またはモリブデンランタン線が一般的な選択肢です。

性能要件:モリブデンワイヤは、水銀蒸気の化学的腐食とアークの熱衝撃に耐える必要があります。水銀蒸気中の純粋なモリブデンワイヤーの腐食速度は、蛍光灯のニーズを満たしています。モリブデンランタンワイヤーは、アーク腐食に対する耐性が強いいため、高出力蛍光灯に適しています。

プロセス特性:蛍光灯に使用されるモリブデン線は、ほとんどがモリブデン線を洗浄し、表面の酸化物を化学洗浄によって除去して、発光コーティングの接着を確保します。電極の成形には、放電の安定性を確保するために電極の間隔を制御するための精密なスタンピングまたは巻線が必要です。シーリングプロセスはホウケイ酸ガラスと一致させる必要があります。シーリング温度は 600~700°C に制御されます。

アプリケーションシナリオ:蛍光灯には、直管蛍光灯、コンパクト蛍光灯、リング蛍光灯が含まれます。CFL は蛍光灯市場の 50%を占め、家庭用照明に広く使用されています。LED ランプは徐々に蛍光灯に取って代わっていますが、発展途上国では依然として蛍光灯の需要があり、モリブデン線はランプのモリブデン線の 10%を占めています。

市場の状況:蛍光灯市場は環境規制により縮小しましたが、その低コストの利点により、アジアとアフリカにとどまることができました。中国は蛍光灯用モリブデン線の主要生産国であり、インドや東南アジアに輸出されています。

蛍光灯用のモリブデン線は技術的なしきい値が低いですが、電極のコーティングとシーリングの品質を厳密に管理して、起動性能と寿命を確保する必要があります。

5.4 特殊照明

特殊照明は、自動車のヘッドライト、プロジェクションライト、ステージ照明、UV ライト、赤外線ライト、医療用照明など、特定のスペクトル、環境、または用途向けに設計されています。モリブデンワイヤーは、高い信頼性、複雑な形状、および特殊な照明の極端な環境の要件を満たす必要があります。

5.4.1 ヘッドランプとフォグランプ

自動車のヘッドランプやフォグランプには、高輝度、長寿命、耐振動性が求められており、モリブデン線は主にハロゲンランプやキセノンランプの電極、支持線、シール材に使用されています。

機能:ハロゲンヘッドランプでは、モリブデンワイヤーが電極およびサポートワイヤーと

して機能し、12~24 V の電圧と 5~10 A の電流に耐え、タングステンフィラメントを支えます。キセノンランプでは、モリブデン線が電極として機能し、20~30 kV の開始電圧と高いアーク温度にさらされます。また、モリブデン線は、高圧環境を維持するためにガラスまたはセラミックで密封する必要があります。

性能要件:自動車用ランプは、振動と熱サイクルに耐える必要があります。モリブデンランタンワイヤーとモリブデンレニウムワイヤーは、高温での強度と延性に優れているため、自動車用ランプに適しています。アークの耐食性と表面仕上げは、アークの安定性にとって重要です。

プロセス特性:自動車のランプに使用されるモリブデン線は、ほとんどが洗浄されたモリブデン線であり、電解研磨により耐食性が向上しています。電極は、 $\pm 0.005\text{mm}$ の公差で正確に成形する必要があります。シーリングプロセスでは、気密性と一貫性を確保するために自動化された機器を使用する必要があります。

アプリケーションシナリオ:ハロゲンヘッドランプは自動車用照明市場の 60%を占め、キセノンランプは 20%を占め、主にハイエンドモデルに使用されています。フォグランプは、フォグを透過する必要があるため、ハロゲンランプをより頻繁に使用します。世界の自動車生産はモリブデン線の需要を牽引し、ランプに使用されるモリブデン線の 20%を占めています。

市場の状況:ヨーロッパと中国が主要市場であり、中国企業はコスト面での優位性を通じてローエンド市場を占めています。

5.4.2 プロジェクションランプ、舞台照明、写真用照明

プロジェクションランプや舞台照明、写真用ランプには、高輝度、精密なビーム、長寿命が求められており、モリブデン線は主に HID ランプやハロゲンランプの電極や支持材として使用されています。

機能:プロジェクションランプでは、モリブデン線が HID ランプ電極として機能し、10~20kV の起動電圧と高いアーク温度にさらされます。舞台照明や写真照明は、ハロゲンランプやキセノンランプが主流で、モリブデン線は支持線や電極としてタングステンフィラメントやガイドアークを支える電極として使用されています。直径 0.05~0.2mm のモリブデンランタンワイヤーまたはモリブデン-レニウムワイヤーが一般的な選択肢です。

性能要件:高いアーク安定性と耐熱衝撃性が必要です。モリブデンレニウムワイヤーは、その優れた延性により、複雑な電極形状に適しています。表面仕上げにより、アークスパッタが減少し、光出力効率が向上します。

プロセス特性:プロジェクションランプ用のモリブデンワイヤーは、耐食性を高めるため

著作権および法的責任に関する声明

に超極細の伸線と表面パッシベーション処理が必要です。ステージ照明用のモリブデン線は、耐クリープ性を向上させるために高温でアニールする必要があります。シーリングプロセスは高純度アルミナ製セラミックスと一致させる必要があります、温度は 800～1000°C に制御されます。

アプリケーションシナリオ: プロジェクションランプは教育用および商業用ディスプレイに使用され、ステージ照明は劇場やコンサートに使用され、写真用ライトは映画やテレビの撮影に使用されます。世界のプロ用照明市場規模は、ランプに使用されるモリブデンワイヤーの 10% を占めるモリブデンワイヤーの需要を牽引しています。

市場の状況: 外国企業が主なサプライヤーであり、中国企業はローエンド市場で競争力があります。

5.4.3 紫外線ランプ、赤外線ランプ、医療用照明

紫外線、赤外線、および医療用照明は、特定のスペクトルまたはアプリケーションに固有であり、モリブデンフィラメントは高い化学的安定性と複雑な環境要件を満たす必要があります。

紫外線ランプ: 滅菌、硬化、水処理に使用されるモリブデンワイヤーは、水銀蒸気放電に耐える電極として使用されます。モリブデンイットリウムワイヤーまたはモリブデンセリウムワイヤーは、水銀腐食に対する強い耐性のために好ましい。表面コーティングにより、耐用年数をさらに延ばすことができます。

赤外線ランプ: 加熱および工業用乾燥に使用され、モリブデン線を支持線または電極として使用し、2000～2500°C の高温に耐えます。モリブデンランタンワイヤーは、その優れた耐クリープ性により、赤外線ランプに適しています。表面仕上げにより、放射線の効率が向上します。

医療用照明: ハロゲンランプや HID ランプ、電極やサポートワイヤーとしてモリブデンワイヤーを使用する外科用および歯科用ランプなど、高い信頼性と正確な光出力が必要です。モリブデンレニウムワイヤーの延性により、複雑な電極設計に適しています。

プロセス特性: 紫外線ランプ用のモリブデンワイヤーは精密な伸線と表面パッシベーションが必要、赤外線ランプ用のモリブデンワイヤーは高温アニールが必要、医療用ランプ用のモリブデンワイヤーは厳密な欠陥検出が必要です。シーリングプロセスは特殊なガラスと一致させる必要があります、温度は 900～1100°C に制御されます。

アプリケーションシナリオ: UV ランプは病院や水処理で使用され、赤外線ランプは工業用暖房に使用され、医療用照明は手術室で使用されます。特殊照明市場は付加価値が高く、ランプに使用されるモリブデン線の量はモリブデン線の 10% を占めています。

著作権および法的責任に関する声明

市場の状況:外国企業が主なサプライヤーであり、中国企業は紫外線ランプ用のモリブデンワイヤーの分野で徐々に上昇しています。

5.5 その他の適用分野

照明に加えて、モリブデンワイヤーは真空電子機器、EDM、高温炉でも重要な用途があり、その汎用性を示しています。

5.5.1 真空電子機器(チューブ、X線管)

真空電子機器は、真空中の電子の動きを利用して信号の増幅やイメージングを実現し、モリブデン線は電極、ゲート、または支持材料として使用されます。

機能:電子管では、モリブデン線がカソードまたはゲートとして機能し、高温と電子衝撃に耐えます。X線管では、モリブデン線がターゲットサポートまたは電極として機能し、高電圧とアークにさらされます。直径 0.05~0.2mm のモリブデンランタンワイヤーまたはモリブデン-レニウムワイヤーが一般的な選択肢です。

性能要件:高い導電性、耐アーク腐食性、および高温安定性が必要です。モリブデンレニウムワイヤーは、その優れた延性により、複雑なゲート構造に適しています。表面仕上げにより、電子放出の不均一性を低減します。

プロセス特性:超極細伸線と電解研磨が必要であり、シーリングプロセスは特殊ガラスと一致します。不純物の汚染を避けるために、生産では真空度を厳密に制御する必要があります。

アプリケーションシナリオ:チューブは Hi-Fi やレーダーで使用され、X線チューブは医用画像や工業検査で使用されます。真空電子デバイスの市場規模は小さく、モリブデン線の量は市場全体の 5%を占めています。

5.5.2 放電加工(EDM)用モリブデン線。

EDM は EDM を介して材料をアブレーションし、モリブデンワイヤーは電極ワイヤーとして使用され、金型製作や精密機械加工で広く使用されています。

機能:モリブデンワイヤーは、直径 0.1~0.3 mm の放電電極として EDM の役割を果たし、高周波パルス電流を受けます。その高い融点と引張強度により、電極が溶けたり壊れたりすることはありません。

性能要件:高い導電性と耐アーク腐食性が必要です。純粋なモリブデン線は、その低コストのために主な選択肢です。表面仕上げにより、吐出安定性が向上します。

プロセス特性:ワイヤーの一貫性を確保するためには、精密な伸線とアニーリングが必要です。連続伸線機は、効率を向上させるために生産に使用されます。

著作権および法的責任に関する声明

アプリケーションシナリオ:EDM は、航空宇宙、自動車金型、医療機器の製造で使用されています。モリブデン線は EDM 電極線市場の 30% を占めており、中国が主な生産国です。

5.5.3 高温炉発熱体と熱電対

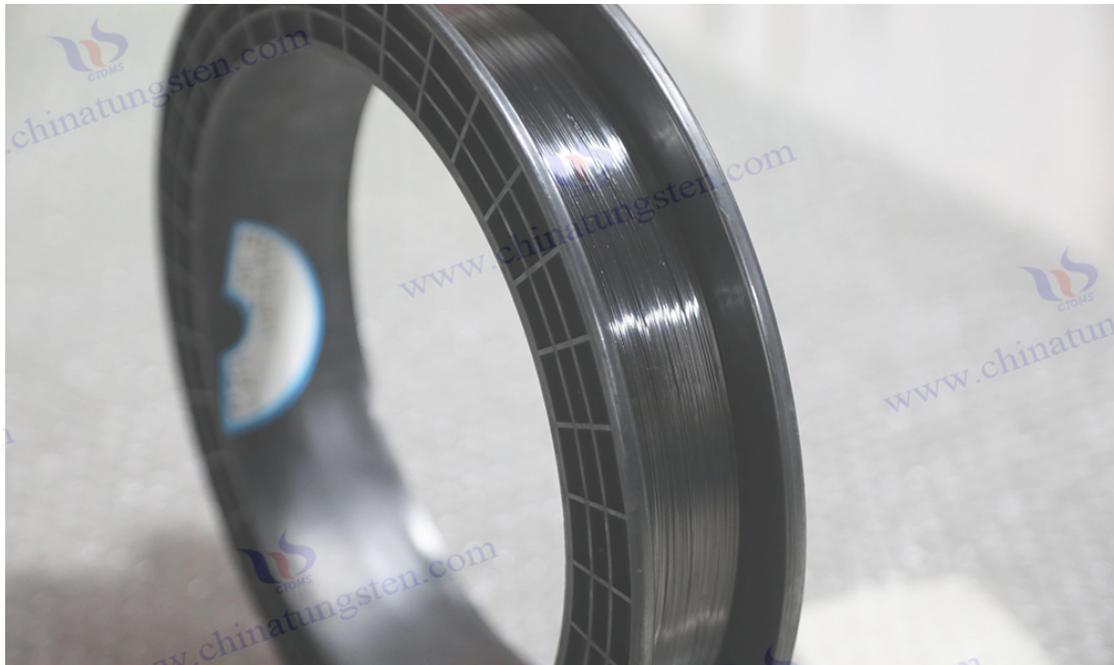
モリブデン線は、高温炉で極端な高温に耐えるための発熱体または熱電対シースとして使用されます。

機能:発熱体として、モリブデンワイヤーはジュール加熱によって高温を発生し、これには高い抵抗率と高い耐熱性が必要です。熱電対保護シースとして、モリブデンワイヤは熱電対を腐食から保護します。直径 0.5~2.0mm の純粋なモリブデンワイヤーまたはモリブデンランタンワイヤーが一般的な選択肢です。

性能要件:耐酸化性と耐クリープ性が必要です。1800°C でのモリブデンランタンワイヤーのクリープ率は、純粋なモリブデンワイヤーのクリープ率よりも低く、長期運転に適しています。

プロセス特性:粗い伸線と高温焼鈍が必要であり、表面を抗酸化層でコーティングできます。生産中に粒度を制御する必要があります。

アプリケーションシナリオ:高温炉は材料の焼結と熱処理に使用され、熱電対は温度測定に使用されます。モリブデンワイヤーは、この分野では市場全体の 5% を占めるために使用されています。



CTIA の照明用モリブデン線

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

第 6 章 照明用モリブデン線の製造設備

照明用モリブデン線の製造は、高度な特殊装置に依存して、原材料加工から完成品試験までの複数のリンクを含む、高精度でハイテクなプロセスです。この章では、照明用モリブデン線の製造に必要な、原材料処理装置、製錬および成形装置、伸線装置、表面処理装置、検査および品質管理装置など、さまざまなタイプの装置について詳しく説明します。各セクションでは、照明用モリブデンワイヤーの製造における機器の機能、技術パラメータ、プロセス特性、および役割の詳細な分析を提供し、世界をリードする機器サプライヤーと業界慣行と組み合わせて包括的な技術説明を提供し、高性能モリブデンワイヤー製造装置に対する照明業界の要求に応えます。

6.1 ランプ用モリブデン線原料加工装置

原材料加工は、照明用モリブデンワイヤーの製造の最初のステップであり、モリブデン粉末の粉砕、スクリーニング、ドーピングされた材料の混合、原材料の精製が含まれ、その後のプロセスの成功率とモリブデンワイヤーの品質に直接影響します。以下は、粉砕とスクリーニング、ドーピング混合と精製装置の 3 つの側面からの詳細な分析です。

6.1.1 モリブデン粉末粉砕およびスクリーニング装置

モリブデン粉末の粒子サイズと形態は、焼結ブランクの密度とモリブデンワイヤーの性能にとって重要であり、粉砕およびスクリーニング装置を使用して、均一な粒子サイズ(粒子サイズ 1~5 μm 、 \geq 純度 99.95%)の高純度モリブデン粉末を調製します。

粉砕装置:一般的に使用される装置には、遊星ボールミルとジェットミルが含まれます。遊星ボールミル(例:ドイツの Fritsch Pulverisette シリーズ)は、粗いモリブデン粉末(粒子サイズ 10-50 μm)を 2-6 時間の粉砕時間と 200-400rpm の速度で 1-5 μm に高速回転研削ボール(ジルコニアまたは超合金製)で粉砕します。ジェットミル(ドイツの NETZSCH ジェットミルなど)は、高速空気の流れ(圧力 0.5~1 MPa)を使用して衝突および粉砕するため、球状または球状に近いモリブデン粉末の製造に適した焼結性能が向上します。粉砕プロセスは、酸化を避けるために不活性雰囲気(アルゴンなど)または真空中で行われます。

スクリーニング装置:モリブデン粉末の粒度分布を制御するために、振動スクリーニング機と空気分級機が使用されます。振動ふるい機(例:ドイツの Retsch AS 200)は、多層スクリーン(細孔径 1~10 μm)を通じて異なる粒子サイズの粉末を分離し、スクリーニング効率は 95%以上に達することができます。空気分級機(ドイツの細川アルパインなど)は、2-3 μm の D50 と 2-3 の D90/D10 比を正確に制御し、空気分離による粒度の均一性を確保できます。機器は、金属汚染を避けるために、ステンレス鋼またはセラミックで裏打ちする必要があります。

プロセス特性:粉砕装置には、モリブデン粉末の酸化または凝集を防ぐために粉砕温度(<50 $^{\circ}\text{C}$)を制御するための冷却システム(水冷または液体窒素凍結)を装備する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

ます。スクリーニング装置には、粒子径分布をリアルタイムで監視するために、オンライン粒子サイズ分析装置(レーザー粒度分析装置など)を装備する必要があります。高度な粉碎およびスクリーニング装置により、粉末の収率を 98%以上に向上させることができます。

アプリケーションへの影響:均一なモリブデン粉末の粒子サイズと球形の形態により、焼結ブランクの密度(95%-98%)が向上し、多孔性と介在物が減少し、その後の伸線に高品質の原材料を提供できます。

6.1.2 ドープパン混合および均質化装置

ドープされた材料(酸化ランタン、レニウムなど)の均一な分布は、高性能モリブデンワイヤー(モリブデン、モリブデン-レニウムワイヤーなど)の調製の鍵であり、ドープされた元素の均一性を確保するために混合および均質化装置が使用されます。

混合装置:超音波分散機とプラネタリーミキサーは、湿式混合に一般的に使用されます。超音波分散機(米国のヒールシャーUP400St など)は、モリブデン粉末とドープ材料(酸化ランタンなど、粒子サイズ 50~200nm)を高周波振動(20~40kHz)により液体媒体(エタノールなど)に分散させ、混合時間は 1~2 時間、均一性偏差は<0.01%です。プラネタリーミキサー(例:ドイツの EIRICH RV02)は、多方向混合(50-100 rpm)による湿式または乾式混合を実現し、大規模生産に適しています。ドライミキシングは V タイプまたはダブルコーンミキサー(中国南通ミキシング機器工場の製品など)を採用しており、ミキシング時間は 4~8 時間で、レニウム粉末ドーピングに適しています。

均質化装置:噴霧乾燥機(ドイツの Büchi B-290 など)は、入口温度が 200~250°C、出口温度が 80~100°C の湿式混合後の粉末乾燥に使用され、均質な複合粉末を調製します。噴霧乾燥はドープされた粒子の凝集を避けることができ、粒子の間隔は 0.5-2 μ m に制御されます。

プロセス特性:粉塵汚染を防ぐために、混合装置はクリーンな環境(ISO 7クラス)で運転する必要があります。超音波分散機は高精度ドーピングの小ロットに適しており、噴霧乾燥機は大規模生産に適しています。ホモジナイズ装置には、蛍光 X 線(XRF)分析によるドーピングの均一性を検証するためのインラインサンプリングシステムを装備する必要があります。

アプリケーションへの影響:均一なドーピング分布により、高温(1500°C で 20%~30%)でのモリブデンワイヤーの引張強度と耐クリープ性を向上させることができます。

著作権および法的責任に関する声明

6.1.3 原料精製装置

原料精製装置は、モリブデン粉末中の不純物(鉄、ケイ素、酸素など)を除去し、純度が 99.95% 以上に達するようにするために使用されます。

水素還元炉:管状水素還元炉(中国の株洲超硬工場の設備など)は、三酸化モリブデン(MoO_3)を高純度のモリブデン粉末に還元するために使用されます。還元温度は 600~1000°C、水素純度 $\geq 99.999\%$ 、露点は $< -40^\circ\text{C}$ 、減速時間は 4~8 時間です。装置には、温度勾配($\pm 5^\circ\text{C}$)を制御し、酸素残留物を避けるために、多段加熱ゾーンを装備する必要があります。

化学洗浄装置:酸洗いタンク(耐食性 PTFE 製)は、モリブデン粉末の表面の酸化物とグリースを除去するために使用され、一般的に使用される洗浄剤は希硝酸(HNO_3 、濃度 5%-10%)または水酸化ナトリウム(NaOH 、濃度 2%-5%)、洗浄温度 40-60°C、時間 5-10 分です。洗浄後、脱イオン水ですすぎ、真空乾燥(100-150°C)してください。

プロセス特性:水素還元炉には、未反応の水素と酸化物ガスを処理するための排気ガス処理システム(吸収塔など)を装備する必要があります。これは環境保護の要件を満たしています。化学洗浄装置は、RoHS 指令への対応を確保するため、廃棄物処理システム(中和沈殿物)の搭載が義務付けられています。精製装置は、不純物含有量を 0.01%未満に減らすことができます。

アプリケーションへの影響:高純度モリブデン粉末は、焼結ブランクの介在物を減らし、モリブデンワイヤーの化学的安定性と電気的特性を向上させることができます。

6.2 モリブデン線製錬・成形装置、ランプ用

製錬および成形装置は、モリブデン粉末を高密度ブランクに変換するために使用され、真空焼結、ホットプレス、鍛造、圧延プロセスを含むその後の伸線の基礎を提供します。

6.2.1 真空焼結炉と大気保護炉

焼結炉は、真空焼結炉と大気保護炉に分けられる高密度モリブデンブランクの調製のための中核装置です。

真空焼結炉:ドイツの ALD 真空技術の VIGA シリーズなど、作業真空度は $< 10^\circ\text{Pa}$ 、温度は 1800~2200°C、保持時間は 4~8 時間です。炉にはモリブデンまたはタングステンの発熱体を使用されており、高温に耐性があり、ブランクを汚染しません。焼結後、ブランクの密度は 95%~98%に達することができ、粒径は 10~50 μm です。無酸素環境を確保するため、高精度な温度制御システム($\pm 5^\circ\text{C}$)と真空ポンプ(メカニカルポンプ+拡散ポンプ)を装備する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

大気保護炉:2300-2500°C の作動温度、1-2 m³/h の水素ガス流量、および<-40°C の露点を備えた上海、上海の Chenhua 電気炉の水素焼結炉など、ドーピングされたモリブデンワイヤー(モリブデンランタンワイヤーなど)の焼結に適しています。モリブデンシールドは、熱放射損失を減らすために炉で使用されます。雰囲気保護により、ドーピング元素の揮発を防ぎ、安定した性能を確保します。

プロセス特性:真空焼結は純粋なモリブデンブランクに適しており、雰囲気保護炉はドーピングされたモリブデンワイヤーに適しています。どちらも、水素や揮発性酸化物を処理するための排ガス処理システムを装備することが求められます。高度な焼結炉は、PLC 制御による自動運転を実現し、手動エラーを削減します。

アプリケーションへの影響:高密度ブランクは、伸線プロセス中の亀裂や断線のリスクを減らし、歩留まりを向上させます。

6.2.2 ホットプレスおよび多方向鍛造装置

ホットプレスおよび鍛造装置は、焼結ブランクをさらに圧縮し、多孔性を排除し、機械的特性を改善するために使用されます。

ヒートプレス:日本のソディックのヒートプレスなど、使用圧力は 50~100 MPa、温度は 1500~1800°C、真空度は<10⁻²Pa です。装置は油圧システムを採用しており、圧力制御精度は±0.1MPa で、高密度ブランク(>99%)の製造に適しています。ホットプレスには、高温に耐性があり、ブランクを汚染しないモリブデンまたはグラファイトの金型を装備する必要があります。

多方向鍛造装置:ドイツの SMS グループの多方向鍛造機など、鍛造温度は 1200-1600°C、変形速度は 0.1-0.5s⁻¹です。この機械は、粒子(50µm から 20-30µm まで)を微細化し、多軸協調鍛造によりピレットの靱性を向上させます。鍛造後、酸化物スケールを除去するためにブランクの表面を研磨する必要があります。

プロセス特性:ホットプレスは小径ブランク(直径 50mm<)、多方向鍛造は大径バー(直径 50~100mm)に適しています。装置には、ピレットの温度勾配(±10°C)を制御するための冷却システム(水冷式または空冷式)を装備する必要があります。自動制御システムにより、生産効率を 10%~15%向上させることができます。

アプリケーションへの影響:ホットプレスと鍛造は、ブランクの引張強度(室温で 20%増加)と加工性を大幅に向上させ、超微細伸線の基礎を提供します。

6.2.3 精密圧延機

著作権および法的責任に関する声明

精密圧延機は、鍛造ブランクを直径 5〜10mm のバーまたはプレートに加工するために使用され、その後の伸線に適しています。

機器の種類:ドイツのコックスの精密圧延機など、作業温度は 1000〜1400°C、圧延速度は 1〜5 m / s です。この機械はマルチパス圧延(時間あたり 10%〜15%の変形)で、寸法精度(公差±0.01mm)を確保するために超硬ロール(硬度 HRC 80-90)が装備されています。

プロセス特性:圧延機には、ピレットの高温延性を維持するために、加熱システム(誘導加熱または抵抗加熱)を装備する必要があります。表面研磨装置(ベルトポリッシャーなど)を使用して酸化物スケールを除去し、粗さは Ra1〜2µm に制御されます。自動圧延ラインは、連続生産を達成し、効率を 20%向上させることができます。

アプリケーションへの影響:精密圧延により、バーの寸法の一貫性と表面品質が向上し、絞りダイの摩耗が減少します。

6.3 照明用モリブデン線の伸線装置

伸線装置は、モリブデンロッドをフィラメントに伸ばすためのコア装置であり、マルチパス伸線、金型設計、潤滑システム、およびモリブデンワイヤの寸法精度と機械的特性を直接決定するアニーリングプロセスが含まれます。

6.3.1 マルチパス伸線機および連続伸線装置

伸線機は、バーを直径 0.01〜2mm のモリブデン線に伸ばすために使用され、マルチパス伸線機と連続伸線機に分けられます。

マルチパス延伸機:ドイツのニーホフ MMH シリーズなど、粗引き(直径 0.5-2mm)および細引き(0.05-0.5mm)に適しています。装置には、複数のセットの伸線ダイス(5〜20 パス)が装備されており、毎回直径が 10%〜20%減少し、延伸速度は 1〜5 m / min です。伸線機は、サーボモーターを使用して張力(±0.5 N)を制御し、ワイヤーの均一性を確保します。

連続延伸装置:イタリアのフリジェリオの連続延伸ラインなど、超微細延伸(直径 0.01〜0.05mm)に適しています。この機械は、0.1〜0.5m/min の速度と 0.001mm±公差でマルチパス描画、焼きなまし、巻線を統合しています。連続延伸により、生産効率を最大 30%向上させることができます。

著作権および法的責任に関する声明

プロセス特性:伸線機には、ワイヤーの破損を防ぐために、オンライン張力検出と断線警報システムを装備する必要があります。超極細伸線は、熱膨張の影響を減らすために、一定の温度環境(20~25°C)で行う必要があります。この機器は高度な自動化を備えているため、手動の介入を減らすことができます。

アプリケーションへの影響:連続伸線装置は、90%以上の歩留まりで大規模生産に適しており、ハロゲンランプや HID ランプ用のモリブデン線に適しています。

6.3.2 高精度の金型と潤滑システム

ダイと潤滑システムは、モリブデンワイヤーの表面品質と寸法精度に直接影響する描画プロセスの中心です。

高精度金型:タングステンカーバイド(WC)または多結晶ダイヤモンド(PCD)材料が使用され、日本の住友商事の PCD 金型などが使用されています。工具穴の公差 $\pm 0.001\text{mm}$ 、進入角は 8~12°で、減速機ゾーンの長さは絞り応力を減らすために最適化されています。超微細絞りダイの開口精度は $\pm 0.0005\text{mm}$ 、表面粗さは $Ra < 0.05\mu\text{m}$ です。

潤滑システム:自動噴霧装置(ドイツのシューマグシステムなど)を使用して、グラフィートエマルジョンまたは二硫化モリブデン(MoS_2)潤滑剤を 0.1~0.2 の摩擦係数で噴霧します。

極細伸線には油性潤滑剤(ポリエチレングリコールなど)を使用し、流量は 0.1~0.5L/min に制御されています。潤滑システムには、不純物による汚染を防ぐためにろ過装置を装備する必要があります。

プロセス特性:表面仕上げを確保するために、金型は定期的に(100~200 km ごとに引抜き後)研磨および交換する必要があります。潤滑システムは、クローズドループ制御で均一なカバレッジを確保し、表面の傷を減らします。有限要素解析(FEA)は、金型設計を最適化し、図面の安定性を向上させるために使用されます。

アプリケーションへの影響:高精度の工具および潤滑システムは、モリブデンワイヤーの表面欠陥率を 0.5%未満に低減でき、自動車のヘッドライトなどの高性能ランプに適しています。

6.3.3 焼鈍炉と温度制御システム

焼鈍炉は、延伸プロセス中の加工硬化を排除し、モリブデンワイヤーの延性と靱性を回復するために使用されます。

焼鈍炉:日本の光洋の連続焼鈍炉など、使用温度は 800~1300°C、水素流量は 0.5~1m³/h、

著作権および法的責任に関する声明

露点は $< -40^{\circ}\text{C}$ です。炉内にはモリブデンまたはタングステンの発熱体が使用されており、温度制御精度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ です。粗引きと細引きには中間焼鈍($800-1000^{\circ}\text{C}$ 、10-30秒保持)を使用し、最終焼鈍($900-1200^{\circ}\text{C}$ 、5-15秒保持)を使用して性能を最適化します。

温度制御システム:PIDコントローラーと熱電対(K型熱電対など、 \pm 精度 1°C)を使用して、炉内の温度をリアルタイムで監視します。冷却システム(水冷式または空冷式)は、穀物の過成長を避けるために冷却速度($10-50^{\circ}\text{C}/\text{s}$)を制御します。

プロセス特性:焼鈍炉には、水素の純度を確保するために、オンライン雰囲気監視システムを装備する必要があります。連続焼鈍炉は、ワイヤの連続通過を実現でき、効率を20%向上させます。ドーパされたモリブデンワイヤー(モリブデンランタンワイヤーなど)は、ドーパされた要素の安定性を確保するために、より高いアニーリング温度($1000-1300^{\circ}\text{C}$)を必要とします。

アプリケーションへの影響:精密なアニーリングプロセスは、モリブデンワイヤの破断点伸びを15%~20%に増加させ、ワイヤ破損のリスクを低減し、超微細モリブデンワイヤの製造に適しています。

6.4 照明用モリブデン線の表面処理装置

表面処理装置は、電解研磨、化学洗浄、表面コーティング堆積など、モリブデン線の表面仕上げ、耐食性、光学特性を向上させるために使用されます。

6.4.1 電解研磨および化学洗浄装置

電解研磨および化学洗浄装置は、モリブデンワイヤーの表面から酸化物、グリース、およびドロ残留物を除去して、洗浄されたモリブデンワイヤーを準備するために使用されます。

電解研磨装置:NaOH電解質(濃度5%-10%)、電流密度 $0.5-2\text{A}/\text{cm}^2$ 、研磨時間10-30秒を使用するドイツのKAMMERER電解研磨機など。この装置には、電解液の純度を確保するためのステンレス製電極と循環ろ過システムが装備されています。研磨後、モリブデンワイヤの表面粗さは $\text{Ra}0.1-0.5\mu\text{m}$ に達し、反射率は60%~70%に増加します。

化学洗浄装置:たとえば、中国の南通清掃装置工場の酸洗タンクは、 HNO_3 -HF混合物(比率3:1、濃度5%-10%)、洗浄温度 $40-60^{\circ}\text{C}$ 、時間1-3分を使用しています。この装置には、PTFEライニングと廃液処理システム(中和および沈殿)が装備されており、環境保護要件を満たしています。

プロセス特性:電解研磨はハイエンドのモリブデン線(HIDランプなど)に適しており、化学洗浄は大規模生産に適しています。どちらも、残留汚染を防ぐために、脱イオン水すぎ

著作権および法的責任に関する声明

および真空乾燥システム(100-150°C)を装備する必要があります。廃棄物処理システムは、RoHS 指令への準拠を保証します。

アプリケーションへの影響:表面処理装置は、モリブデン線のアーキ耐食性と導電性を向上させ、ランプの寿命を 10%~20%延長できます。

6.4.2 表面コーティング堆積装置

表面コーティング装置は、酸化防止または耐食性コーティング(アルミナ Al_2O_3 、モリブデンシリサイド $MoSi_2$ など)を堆積させ、過酷な環境でのモリブデンワイヤーの性能を向上させるために使用されます。

CVD 装置:米国のアプライドマテリアルズの CVD 炉など、使用温度は 800~1200°C、真空度は $<10^{-2}$ Pa です。アルミナ(厚さ 0.1-1 μ m)またはシリサイドモリブデンコーティング(0.5-2 μ m)を 0.1-0.5 μ m/min の堆積速度で堆積するために使用されます。ガス制御システム(CH_4 、 SiH_4 などの流量を精密に制御)を搭載しています。

PVD 装置:ドイツのライボルトのマグネトロンスパッタリング装置など、動作温度は 500~800°C で、高均一性のコーティング堆積に適しています。スパッタリング対象は高純度のモリブデンまたはアルミニウムで、成膜速度は 0.05-0.2 μ m/min です。PVD 装置は複雑な形状のモリブデン線に適しています。

プロセス特性:CVD は厚いコーティングに適しており、PVD は薄いコーティングと高い均一性に適しています。装置には、一貫したコーティング厚さを確保するために、オンライン厚さ監視システム(水晶発振器など)を装備する必要があります。コーティングの密着性は、引張試験(スポーリング応力 >50 MPa)によって検証されます。

適用影響:コーティング装置は、モリブデン線の酸化温度を 1500°C 以上に上昇させることができ、赤外線ランプや紫外線ランプに適しており、寿命を 20%~30%延ばすことができます。

6.4.3 表面品質試験装置

表面品質検査装置は、モリブデン線の粗さ、欠陥、コーティング品質を評価するために使用されます。

表面粗さ試験機:日本のミットヨ SJ-410 など、測定範囲は Ra 0.01-10 μ m、精度は ± 0.001 μ m です。洗浄されたモリブデン線(Ra 0.1-0.5 μ m)と黒色モリブデン線(Ra 0.5-2.0 μ m)の表面品質を検査するために使用されます。

レーザー顕微鏡:ドイツのツァイス LSM 800、倍率 100-1000 倍など、表面の傷、亀裂、酸化物残留物を検出します。この装置には、表面の地形を解析するための 3D イメージング

著作権および法的責任に関する声明

機能が搭載されています。

プロセス特性:試験装置は、表面品質データをリアルタイムでフィードバックするために、生産ラインのオンライン監視システムと統合する必要があります。自動検査により、検査効率が最大 50%向上します。

アプリケーションへの影響:表面品質検査により、故障率を 0.5%未満に低減し、照明器具のモリブデンワイヤーのアーク安定性と光学性能を確保できます。

6.5 照明用モリブデン線の試験および品質管理装置

検査および品質管理機器を使用して、モリブデンワイヤーの微細構造、機械的特性、化学組成、および環境適応性を評価し、製品が照明業界の基準を満たしていることを確認します。

6.5.1 顕微鏡(光学、電子)および表面分析装置

顕微鏡と表面分析装置は、モリブデンワイヤーの微細構造と表面特性を分析するために使用されます。

光学顕微鏡:日本のオリンパス BX53M、倍率 50-1000 倍など、粒度(10-50 μ m)と表面欠陥(亀裂、多孔性など)の観察用。この装置には、穀物分布を自動的にカウントする画像解析ソフトウェアが装備されています。

走査型電子顕微鏡(SEM):例えば、米国の FEI Quanta 650 は、エネルギー分光法(EDS)を搭載し、ドーパされた元素分布(例:酸化ランタン粒子間隔 0.5-2 μ m)および表面腐食トポグラフィの分析に使用されています。最大 1nm の分解能で、超極細モリブデン線検査に適しています。

表面分析装置:ドイツのブルカーの XPS(X 線光電子分光法)など、表面酸化物組成(MoO₂、MoO₃など)およびコーティング化学の分析に使用されています。検出深度は 1~10nm で、精度は 0.1eV \pm です。

プロセス特性:顕微鏡には、表面を滑らかにするために、サンプル調製装置(イオン研磨機など)を装備する必要があります。SEM と XPS は超高真空(<10⁻⁶Pa)で 10~30 分の検出時間で実行されます。

アプリケーションへの影響:顕微鏡分析により、モリブデンワイヤーの結晶粒構造とドーピング均一性を最適化し、高温性能と耐食性を向上させることができます。

6.5.2 引張試験機と硬さ試験機

引張試験機と硬さ試験機は、モリブデンワイヤーの機械的特性を評価するために使用されます。

著作権および法的責任に関する声明

引張試験機:アメリカのインストロン 5982 など、試験範囲は 0~100 kN で、精度は±0.5% です。モリブデンワイヤの引張強度(室温で 800-1000MPa、1500°C で 200-400MPa)と破断点伸び(10%-25%)を測定するために使用されます。このデバイスは、高温環境(最大2000°C)をシミュレートできます。

硬さ試験機:ドイツのツヴィックピッカーズ硬さ試験機など、試験範囲は HV 0.1-1000 で、精度は±0.5HV です。モリブデン線の表面硬度の評価に用いられます(純モリブデン線は HV200-250 程度、ドーブモリブデン線は HV250-300 程度)。

プロセス特性:引張試験には高温固定具と雰囲気保護装置(水素またはアルゴン)を装備する必要があります。硬さ試験にはくぼみの深さ(<0.01 mm)を制御する必要があります。自動試験システムにより、効率を最大 20%向上させることができます。

アプリケーションへの影響:機械的特性試験は、照明器具のモリブデンワイヤの機械的安定性と耐疲労性を確保し、ハロゲンランプと HID ランプの要件を満たします。

6.5.3 組成分析装置(ICP、XRF)

組成分析装置は、モリブデン線の化学組成と不純物含有量を検出するために使用されます。

ICP-OES:モリブデン粉末およびモリブデンワイヤ中の不純物(Fe、Si、C など)の分析用に、検出限界が 0.01 ppm の米国の PerkinElmer Optima 8300 など。検出時間は 5~10 分で、精度±0.1%です。

XRF:例:ドイツの Bruker S8 Tiger、検出範囲 0.01%~100%、ドーピング元素(La、Re など)の含有量と分布の分析に使用されます。この装置には非破壊検査機能が装備されており、オンライン監視に適しています。

プロセス特性:ICP はサンプル(HNO₃-HF 溶液)に溶解する必要があり、XRF は非破壊検出であり、完成品の分析に適しています。どちらも、検出精度を確保するために定期的なキャリブレーションが必要です。

アプリケーションへの影響:組成分析は、モリブデンワイヤの化学的安定性と電気的性能を確保するために、不純物含有量を 0.01%未満に制御できます。

6.5.4 環境シミュレーション試験装置

環境シミュレーション試験装置は、高温、腐食性、およびアーク環境におけるモリブデンワイヤの性能を評価するために使用されます。

著作権および法的責任に関する声明

高温試験炉:ドイツのナーバテルムの高温炉など、温度範囲は 500〜2000°C で、精度は±5°C で、ランプやランタン(ハロゲンランプ 1500°C など)の作業環境をシミュレートするために使用されます。アルゴンまたはハロゲンガスを炉に導入して、耐酸化性と耐食性を試験することができます。

アーク試験装置:中国の上海電気光学研究所のアークシミュレータなど、電圧は 1〜30 kV、電流は 0.1〜100 A で、モリブデンワイヤのアーク安定性をテストするために使用されます。アークシフトを記録するハイスピードカメラ(<0.1mm)を搭載。

プロセス特性:環境シミュレーション装置には、温度、電流、腐食速度を記録するためのデータ収集システムを装備する必要があります。テストサイクルは 1〜100 時間で、ランプの寿命(1000〜20,000 時間)をシミュレートします。

アプリケーションへの影響:環境試験では、実際のアプリケーションでのモリブデンワイヤの信頼性と寿命を検証し、HID および UV ランプの要件が満たされていることを確認します。



CTIA の照明用モリブデン線

著作権および法的責任に関する声明

第7章 照明用モリブデン線の Domestic および Foreign Standards

照明業界の重要な材料として、照明用モリブデン線は、ランプやランタンの信頼性と寿命に直接影響を与えます。製品の一貫性と市場競争力を確保するために、モリブデンワイヤーの化学組成、寸法精度、機械的特性、および環境保護要件をカバーする一連の基準が国内外で策定されています。この章では、照明用モリブデンワイヤーの国内規格、国際規格、規格間の比較と変換、環境規制、業界および企業の仕様について詳しく説明します。また、特定の標準コンテンツとアプリケーションシナリオと組み合わせて、標準化された生産に対する照明業界のニーズを満たすための包括的な技術分析を提供します。

7.1 照明用モリブデン線の国内規格

世界最大のモリブデン電線生産国である中国は、モリブデン電線の製造と適用を規制するための多くの国家規格(GB/T)を策定しています。これらの規格は、照明用モリブデン線の原材料、加工、特性、および試験方法を詳細に指定しており、白熱灯、ハロゲンランプ、ガス放電ランプなどの用途に適しています。

7.1.1 GB/T 3462-2017

GB/T 3462-2017 は、モリブデンバーとモリブデンスラブの中国の国家規格であり、照明用モリブデンワイヤーの製造に適しており、その後の伸線プロセスの基礎を提供します。

適用範囲:この規格は、モリブデンバーとモリブデンスラブの化学組成、サイズ、表面品質、および機械的特性を規定しており、ブランクの焼結、鍛造、圧延に適しており、照明用のモリブデンワイヤーの製造に間接的に使用されます。

技術要件:

化学組成:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、総不純物(Fe、Ni、Si など) $< 0.05\%$ 。ドーピングされたモリブデン(例:モリブデン-ランタン)は、明確なドーピング元素含有量(例: La_2O_3 0.3%-1.0%)を必要とします。

寸法精度:モリブデンバー直径 5-100mm、公差 $\pm 0.05\text{mm}$;スラブの厚さは 2-50 mm で、公差 $\pm 0.1\text{mm}$ です。

表面品質:亀裂なし、酸化物スケール、粗さ $Ra \leq 3.2\mu\text{m}$ 。

機械的特性:引張強度(室温) $\geq 600\text{MPa}$ 、破断点伸び $\geq 10\%$ 。

検出方法:化学組成を ICP-OES(誘導結合プラズマ分光法)で分析し、マイクロメーターまたはレーザー距離計で寸法を検出し、目視および顕微鏡検査で表面品質を確認します。

アプリケーションへの影響:ランプ用のモリブデンワイヤーブランクは、高密度(理論密度 $\geq 95\%$)と均一な微細構造を必要とし、GB/T 3462-2017 はブランクの品質を確保し、伸線プロセスでの破壊のリスクを低減します。

7.1.2 GB/T 4191-2015

GB/T 4191-2015 は、モリブデンワイヤーの性能と仕様に直接対処し、照明用のモリブデ

著作権および法的責任に関する声明

ンワイヤーの製造と受け入れに適しています。

適用範囲:この規格は、白熱灯、ハロゲンランプ、ガス放電ランプなどの純粋なモリブデン線とドーパされたモリブデン線(モリブデンランタン線、モリブデンレニウム線など)を対象としています。

技術要件:

化学組成:純粋なモリブデンワイヤーのモリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ であり、ドーパされたモリブデンワイヤーは、ドーパされた元素の割合(Re 1%-5%など)でマークする必要があります。

サイズ範囲:直径 0.01-2 mm、公差 ± 0.002 mm(超微細)~ ± 0.01 mm(粗い)。

表面品質:洗浄されたモリブデンワイヤーの $Ra \leq 0.5\mu\text{m}$ の粗さ、 $Ra \leq 2.0\mu\text{m}$ の黒色モリブデンワイヤー、亀裂、傷、酸化物残留物はありません。

機械的特性:室温での引張強度 800-1200 MPa、高温(1500°C)引張強度 ≥ 200 MPa、破断点伸び 10%-20%。

試験方法:寸法精度はレーザーキャリパーで測定され、機械的特性は引張試験機で測定され、表面品質は光学顕微鏡と粗さ計によって検出されます。

アプリケーションへの影響:この規格は、高温環境におけるモリブデンワイヤーの機械的安定性と電気的特性を保証し、ハロゲンランプと HID ランプの高い要件に適しています。

7.1.3 GB/T 4182-2000

GB/T 4182-2000 は照明のためのモリブデンワイヤーの原料そして完成品の純度を保障するためにモリブデンおよびモリブデンの合金の化学組成の分析方法を規定します。

適用範囲:この規格は、モリブデン粉末、モリブデンバー、モリブデンワイヤーの化学組成試験に適用でき、主な元素(Mo)と不純物(Fe、Ni、Si、C、O など)が含まれます。

分析方法:

ICP-OES:不純物元素の検出、0.01ppm の感度、Fe、Ni、Si、その他の微量元素の分析に適しています。

ガス分析装置:O、N、H 含有量、精度 $\pm 0.001\%$ を検出し、酸素含有量が $0.005\% <$ ことを確認します。

重量法と滴定法:モリブデン含有量を $\pm 0.01\%$ の誤差で測定します。

プロセス特性:分析はクリーンな環境(ISO クラス 7)で実施し、サンプル調製は酸可溶性(HNO_3 -HF 混合物)で行いました。この規格では、一貫したテストを確保するために、機器を定期的に校正する必要があります。

アプリケーションへの影響:高精度の化学分析により、モリブデンワイヤーの化学的安定性を確保し、高温での不純物による粒界腐食を防ぎます。この規格は、中国の非鉄金属試験

著作権および法的責任に関する声明

機関で広く使用されています。

7.1.4 その他の関連する国内規格

上記の規格に加えて、中国は照明用モリブデン線に関連する他の規格も策定しています。

GB/T 3461-2017「モリブデン粉末」:モリブデン粉末の粒子サイズ(1~5 μ m)、純度(\geq 99.95%)、および形態(球形またはほぼ球形)を指定し、ランプのモリブデンワイヤー原料に適しています。

GB/T 17792-1999「モリブデンおよびモリブデン合金加工製品の検査方法」:超音波探傷やX線検査など、サイズ、表面品質、機械的特性をカバーする試験方法。

YS/T 357-2006 "Doped Molybdenum Strip":ドーピングされたモリブデン(モリブデン、ランタン、モリブデン - レニウムなど)ブランクの場合、ドーピングされた元素の含有量と分布の均一性が指定されています。

アプリケーションへの影響:これらの規格は、GB / T 3462 および GB / T 4191 の要件を補完して、原材料から完成品までのモリブデンワイヤーの品質管理を確保するための完全な標準化システムを形成します。中国企業は、複数の規格の組み合わせに従うことで、製品の競争力を高めることができます。

7.2 照明用モリブデン線の国際規格

国際規格は、照明用モリブデン線の世界的な取引と適用に関する統一仕様を提供し、米国 (ASTM)、国際標準化機構 (ISO)、日本 (JIS)、およびその他の標準システムをカバーしています。

7.2.1 モリブデンおよびモリブデン合金ロッド、バー、およびワイヤーの ASTM B387 標準仕様

ASTM B387 は、米国材料試験協会によって開発されたモリブデンおよびモリブデン合金の規格であり、国際市場で広く使用されています。

適用範囲:この規格は、照明、電子機器、および高温用途向けのモリブデンおよびモリブデン合金(純粋なモリブデン、モリブデンランタン、モリブデン-レニウム)のロッド、ストリップ、およびワイヤーを対象としています。

技術要件:

化学組成:モリブデン含有量 \geq 99.95%、不純物(Fe $<$ 0.01%、Si $<$ 0.005%など)は厳密に管理されています。モリブデンのドーピングについては、ドーピング率(例:La₂O₃ 0.3%-1.0%)を明記してください。

寸法精度:線径 0.01~3mm、公差 \pm 0.002mm(極細線)~ \pm 0.015mm(太線)。

機械的特性:室温での引張強度 700-1100 MPa、高温(1500 $^{\circ}$ C)引張強度 \geq 150 MPa、破断点伸び 10%-25%。

表面品質:クリーニングされたモリブデンワイヤーの場合は Ra \leq 0.4 μ m、黒色モリブデン

著作権および法的責任に関する声明

ワイヤーの場合は $Ra \leq 2.5\mu\text{m}$ 、亀裂や酸化物はありません。

検出方法:化学組成は ICP-MS を採用し、サイズはレーザーキャリパーでテストされ、機械的特性は引張試験機でテストされ、表面品質は SEM でテストされます。

アプリケーションへの影響: ASTM B387 は、ハロゲンおよび HID ランプのモリブデンワイヤーの信頼性を確保するために、ヨーロッパおよびアメリカの照明器具メーカーによって広く採用されています。規格に対する高い要求は、中国企業の技術向上を促進しています。

7.2.2 ISO 22447 モリブデンおよびモリブデン合金製品

ISO 22447 は、国際標準化機構によって開発されたモリブデン製品の規格であり、世界市場に適用可能です。

適用範囲:この規格は、モリブデン線、ロッド、プレート、その他の製品を対象としており、照明、航空宇宙、電子産業に適しています。

技術要件:

化学組成:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、総不純物含有量 $< 0.05\%$ 。ドーパされたモリブデン(例:モリブデン-レニウム)は、明確な元素比率と均一性を必要とします。

サイズ範囲:線径 0.02-2 mm、公差 ± 0.003 mm。

機械的特性:室温での引張強度 750-1200 MPa、高温(1500°C)引張強度 ≥ 200 MPa。

表面品質:表面に亀裂や多孔性がなく、粗さ $Ra \leq 0.5\mu\text{m}$ (洗浄されたモリブデンワイヤー)。

検出方法:化学組成は XRF または ICP-OES であり、サイズはレーザーキャリパーで通過し、表面品質は光学顕微鏡で通過します。

アプリケーションへの影響:ISO 22447 は国際的に適用可能であり、輸出志向の企業に適しているため、製品が世界の照明器具市場の要件を満たすことを保証します。

7.2.3 JIS H 4461

JIS H 4461 は、モリブデン線およびモリブデン棒の性能と製造要件に関する日本の工業規格です。

適用範囲:この規格は、照明および電子機器用の純粋なモリブデンワイヤーおよびドーパされたモリブデンワイヤーに適用されます。

技術要件:

化学組成:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、不純物(Fe、Ni など) $< 0.01\%$ 。

寸法精度:線径 0.01-2mm、公差 ± 0.002 mm(超極細)。

機械的特性:室温での引張強度 800-1100 MPa、破断点伸び 10%-20%。

表面品質: $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$ (クリーニングされたモリブデンワイヤー)、 $2.0 \mu\text{m}$ (ブラックモリブデン)。

著作権および法的責任に関する声明

検出方法:化学組成は ICP-OES を採用し、サイズはレーザーキャリパーを通過し、機械的特性は引張試験機を通過します。

アプリケーションへの影響:JIS H 4461 は、日本の照明会社、特にプロジェクションランプや自動車のヘッドライト用のモリブデン線に広く使用されています。日本市場では、寸法精度や表面品質に対する厳しい要求があり、高精度伸線技術の発展が進んでいます。

7.2.4 その他の ISO 規格

他の国際規格にも、照明用モリブデンワイヤーの製造と適用に関するガイダンスがあります。

DIN EN 10204(ドイツ):ヨーロッパ市場に輸出される製品に適用されるモリブデンワイヤーの品質認証と検査文書の要件を指定します。

IEC 60357:ハロゲンおよびガス放電ランプ用のモリブデンワイヤーの性能要件(アーク耐食性やシーリング信頼性など)に関する国際電気標準会議規格。

ASTM E3171:モリブデンおよびモリブデン合金の化学分析法、ASTM B387 の要件を補完します。

アプリケーションへの影響:これらの規格は、モリブデンワイヤーの国際取引の技術的基盤を提供し、グローバルサプライチェーンの標準化を促進します。ヨーロッパと日本の企業は、複数の規格の組み合わせに従って、自動車照明などのハイエンド市場で製品の競争力を確保しています。

7.3 照明用モリブデン線の異なる規格間の比較と変換

国内外の規格の違いは、照明用モリブデン線の国際貿易と適用に影響を与える可能性があります。技術パラメータの比較と変換を通じて相互認識を達成する必要があります。

7.3.1 国内外の規格の技術パラメータの比較(純度、サイズ、性能)

以下は、主な基準のパラメータの比較です。

純度:

GB/T 4191-2015:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、不純物 $< 0.05\%$ 。

ASTM B387:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、Fe $< 0.01\%$ 、Si $< 0.005\%$ 。

ISO 22447:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、不純物 $< 0.05\%$ 。

JIS H 4461:モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ 、Fe、Ni $< 0.01\%$ 。

分析:国内外の規格の純度要件は一貫しており、ASTM B387 は特定の不純物(Fe、Si など)に対してより厳しく、ハイエンドランプ(HID ランプなど)に適しています。

寸法精度:

GB/T 4191-2015:直径 0.01-2 mm、公差 ± 0.002 mm(超微細)。

ASTM B387:直径 0.01-3 mm、公差 ± 0.002 mm(超微細)から ± 0.015 mm(粗い)。

ISO 22447:直径 0.02-2 mm、公差 ± 0.003 mm。

JIS H 4461:直径 0.01-2mm、公差 ± 0.002 mm。

著作権および法的責任に関する声明

分析:JIS H 4461 および GB/T 4191 は、超極細フィラメントの許容要件が高く、プロジェクションランプおよび UV ランプに適しています。ASTM B387 は、幅広い用途に対応するために、より広い範囲の直径をカバーしています。

機械的特性:

GB/T 4191-2015:室温 800-1200 MPa、高温(1500°C)≥200 MPa での引張強度。

ASTM B387:室温で 700-1100 MPa、高温で≥ MPa。

ISO 22447:室温で 750-1200 MPa、高温で≥ MPa。

JIS H 4461:室温で 800-1100MPa。

分析:GB/T 4191 および ISO 22447 は、より高い高温性能を必要とし、ハロゲンおよび HID ランプに適しています。ASTM B387 は、より広い性能範囲を持ち、さまざまなアプリケーションシナリオに適しています。

7.3.2 標準的な変換方法(例:公差、機械的特性の単位)

公差変換:国内外の規格はミリメートル(mm)単位であり、公差は直接比較されます。ASTM B387(±0.015 mm)の粗いワイヤ公差は、高精度の伸線装置を使用して GB/T 4191 の ±0.01mm の要件を満たすことができます。

機械的特性の単位の変換:引張強度は MPa で表され、破断点伸びはパーセント(%)で表され、これは国内外の規格と一致しています。高温試験温度(1500°C)は、試験条件が一貫していることを確認するために、均一に校正する必要があります。

化学組成変換:不純物含有量は、質量パーセント(%)または ppm、1%=10,000ppm で表されます。GB/T 4182 と ASTM E3171 は互換性があり、ICP-OES の結果を直接比較できます。プロセス特性:変換では、試験装置の精度(レーザーキャリパーの精度±0.001 mm)と校正標準を考慮する必要があります。標準間のわずかな違いは、アニーリング温度調整などのプロセス最適化によって補うことができます。

7.3.3 国際標準と国内標準との相互承認の分析

相互認識:GB/T 4191-2015 は、純度、サイズ、機械的特性の点で ASTM B387 および ISO 22447 と高い互換性があり、相互認識は 90%以上です。JIS H 4461 は、表面品質に対する要求が厳しくなるため、追加の研磨工程が必要です。

違い:ASTM B387 は、特定の不純物(Fe など)に対してより厳しい要件があり、高純度の原材料が必要です。GB/T 4191 は、超極細線公差に対するより高い要件を持ち、精密な伸線装置を必要とします。ISO 22447 の汎用性により、世界市場により受け入れられます。

アプリケーションへの影響:中国企業は、GB/T 規格と ASTM/ISO 規格の両方を満たすことで、輸出市場(ヨーロッパ、米国など)を拡大できます。相互認識分析は、生産プロセスの最適化と認証コストの削減に役立ちます。オーストリアのプランゼーと米国の H.C. スタルクは、製品が普遍的に適用可能であることを保証するために、マルチスタンダード認証に合格しています。

7.4 照明用モリブデン線の環境保護と RoHS 規制

環境規制により、照明用モリブデン線の製造と適用には、重金属制御、排気ガス、グリーン製造など、厳しい要件が課せられています。

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

7.4.1 モリブデン線材に関する RoHS 指令(EU 2011/65 / EU)の要件

RoHS 指令(Restriction of Hazardous Substances)は、電気・電子製品に含まれる有害物質を制限し、照明用モリブデン線やランプ・ランタンに適用されます。

要件:モリブデンワイヤーは、鉛(Pb)、水銀(Hg)、カドミウム(Cd)などの6つの有害物質を、含有量が<0.1%(1000ppm)、カドミウム<0.01%(100ppm)に制限する必要があります。モリブデン線不純物(Fe、Ni など)は、RoHS 要件への準拠を確認するために ICP-OES で試験する必要があります。

プロセスへの影響:原材料の汚染を避けるために、高純度のモリブデン粉末($\geq 99.95\%$)を生産に使用する必要があります。化学洗浄($\text{HNO}_3\text{-HF}$)や電解研磨(NaOH)には、重金属の排出を防ぐための廃棄物処理システムが必要です。

アプリケーションへの影響:RoHS 準拠のモリブデンワイヤーは EU 市場に参入でき、ハロゲンランプや HID ランプに広く使用されています。フィリップスなどのヨーロッパの照明器具メーカーは、サプライヤーに RoHS 準拠証明書の提出を求めています。

7.4.2 中国版 RoHS(電子情報製品からの汚染防止措置)

中国版 RoHS(GB / T 26572-2011)は、EU RoHS と同様に、電子製品中の有害物質を制限するための中国の規格です。

要件:6種類の有害物質を制限し、含有量要件は EU RoHS と一致しています。モリブデンワイヤーは、環境保護の使用期間(通常は 10~50 年)を示す有害物質試験レポートを提供する必要があります。

プロセスへの影響:製造業者は、有害物質管理システムを確立し、XRF または ICP-MS を使用して原材料と最終製品を検出する必要があります。廃ガスと廃液は、GB 25466-2010(排出基準)に従って、吸収塔と中和および沈殿物で処理する必要があります。

アプリケーションへの影響:中国の RoHS は、国内照明市場のグリーントランスフォーメーションを促進しており、モリブデンワイヤーサプライヤーは、家庭用および商業用照明のニーズを満たすためにコンプライアンス証明書を提供する必要があります。

7.4.3 モリブデン線(重金属、排気ガス)の製造における環境コンプライアンス

重金属制御:モリブデン線の製造における洗浄液($\text{HNO}_3\text{-HF}$)と電解質(NaOH)には、沈殿およびろ過が必要な微量の重金属(Cr や Ni など)が含まれている可能性があり、排出濃度は GB 8978-1996(下水排出基準)に沿って<0.1 mg / L です。

排気ガスの排出:水素の還元および焼結プロセスは、テールガス吸収塔(灰汁吸収)で処理する必要がある少量の酸化物ガス(MoO_3 など)を生成し、排出濃度は<0.05 mg / m^3 で、GB 16297-1996(大気汚染物質排出基準)に適合しています。

プロセス特性:企業は環境保護装置(廃液中和システム、テールガス処理塔など)を装備する必要があります。これにより生産コストが約 5%~10%増加します。自動監視システムは、排出パラメータをリアルタイムで検出し、コンプライアンスを確保します。

著作権および法的責任に関する声明

アプリケーションへの影響:環境コンプライアンスは、ヨーロッパおよびアメリカの市場に参入するための必要条件であり、中国企業(Jinduicheng Molybdenum など)は、環境認証を通じて国際競争力を強化しています。

7.4.4 グリーン製造と持続可能な開発の要件

グリーン製造:エネルギー消費を 15%削減する省エネ焼結炉などの低エネルギー機器と廃棄物リサイクル技術(最大 30%のリサイクル率)を採用して、資源消費を削減します。噴霧乾燥および連続伸線装置により、生産効率を 10%~20%向上させることができます。

持続可能性:ドロ잉断線や焼結廃棄物のリサイクルなど、モリブデン線生産のサーキュラーエコノミーへの転換を促進し、原材料コストを削減します。ISO 14001 などのグリーン製造認証は、競争上の優位性になります。

アプリケーションへの影響:グリーン製造は、世界中の顧客の持続可能性要件を満たし、自動車照明などのハイエンド市場における中国企業のシェアの成長を促進します。

7.5 照明用モリブデン線の業界標準と企業仕様

国内規格と国際規格に加えて、業界団体と内部企業の仕様は、照明用モリブデンワイヤーの要件をさらに洗練しています。

7.5.1 中国非鉄金属工業会規格

中国非鉄金属工業会(YS/T 規格)は、国家規格を補完する多くのモリブデンおよびモリブデン合金規格を策定しました。

YS/T 357-2006「ドーピングモリブデンストリップ」:ドーピングされたモリブデン(モリブデン、ランタン、モリブデン-レニウムなど)の化学組成、サイズ、および特性、およびドーピングされた元素の均一性偏差<0.01%を規定しています。

YS/T 659-2007「モリブデンワイヤー試験方法」:ランプモリブデンワイヤーに適したドーピングモリブデンワイヤーの XRF 分析と高温機械的試験方法を指定します。

アプリケーションへの影響:YS/T 規格は、ドーピングされたモリブデンワイヤーの性能にさらに注意を払っており、ハロゲンランプや HID ランプに適しています。中国企業(厦門紅路など)は、YS/T 基準を通じてドーピングプロセスを最適化し、製品の付加価値を高めています。

7.5.2 照明業界の内部仕様

照明業界の内部仕様は、モリブデンワイヤーの特定の用途向けに、照明器具メーカーと業界団体によって開発されています。

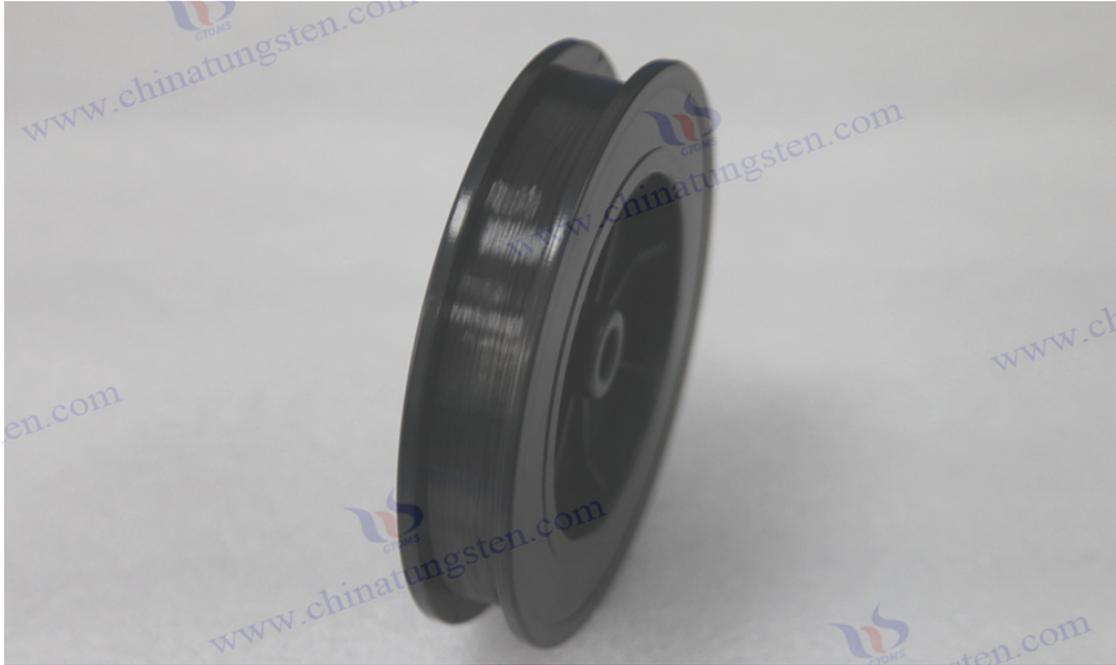
China Lighting Society 仕様:ハロゲンランプのモリブデン線の耐食性(腐食速度<0.005 mg/cm²・h)とアーク安定性(オフセット<0.1 mm)が必要です。

CIE(International Institute of Illumination)の仕様では、HID ランプのモリブデン線の高温引張強度(1500°C≥200MPa)と表面粗さ(Ra≤0.4μm)が規定されています。

アプリケーションへの影響:業界の規範により、自動車のヘッドランプ用のモリブデンラ

著作権および法的責任に関する声明

ンタンワイヤーなど、より厳しい耐振動要件を満たす必要がある特定の照明器具でのモリブデンワイヤーのカスタム生産が推進されています。



CTIA の照明用モリブデン線

第 8 章 照明用モリブデン線の検出技術

照明用モリブデン線の性能は、照明装置の信頼性、寿命、効率に直接影響し、その検出技術は、化学組成、物理的特性、表面品質、高温性能、電気的特性、非破壊検査などの多くの側面をカバーしています。この章では、照明用モリブデン線のさまざまな検出技術について詳しく説明し、検出方法、機器の機能、精度、およびアプリケーションシナリオを分析し、国内外の高度な技術慣行に基づいて包括的な技術解説を提供します。

8.1 照明用モリブデン線の化学組成試験

化学組成試験は、モリブデンワイヤーの純度($\geq 99.95\%$)と不純物(Fe、Ni、Si など)の含有量を決定し、その化学的安定性と電気的特性を確保し、ランプの高温環境の要件を満たすために使用されます。

8.1.1 蛍光 X 線分析(XRF)

蛍光 X 線分析は、完成したモリブデンワイヤーと原材料の成分検出のための迅速で非破壊的な方法です。

原理:X 線はサンプルの表面上の原子を励起して特徴的な蛍光を発生し、元素含有量はスペクトル分析によって決定されます。

デバイス機能:デバイスの検出範囲は 0.01%~100%、感度は 0.01ppm、分析時間は 1~5 分です。

技術的パラメータ:

[著作権および法的責任に関する声明](#)

検出元素:モリブデン(Mo)、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、シリコン(Si)などドーピングされた元素(La、Re など)の含有量偏差は<0.01%です。

サンプル要件:モリブデンワイヤーの表面はきれい、酸化物がなく、サンプルの直径は0.01~2mm である必要があります。

精度:±0.01%(高濃度元素)、±0.001%(微量元素)。

プロセス特性:XRF は非破壊検査であり、オンライン品質管理に適しています。装置は定期的に校正する必要があり、精度を確保するために標準サンプルが使用されます。試験環境は、ほこりの干渉を避けるために、清潔(ISO クラス 7)である必要があります。

アプリケーションへの影響:XRF は、ハロゲンランプや HID ランプのモリブデンワイヤーのドーピング均一性を検出するために広く使用されており、98%の検出効率で耐食性と高温安定性を確保しています。

8.1.2 誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES)

ICP-OES は、微量不純物の検出に適した高感度の成分分析法です。

原理:サンプルが溶解した後、プラズマによって励起され、特定の波長スペクトルが放出されて元素含有量が分析されます。

装置機能:デバイスの検出限界は 0.001ppm で、分析時間は 5~10 分です。

技術的パラメータ:

検出素子:Fe、Ni、Si、C、O など、検出範囲 0.001~1000ppm。

サンプル調製:モリブデンワイヤーは、60~80°C の温度で HNO₃-HF 混合物(比率 3:1)に溶解する必要があります。

精度:±0.1%(主元素)、±0.001%(微量元素)。

プロセス特性 ICP-OES はサンプルによって破壊される必要があり、これは実験室での分析に適しています。この装置には、バックグラウンド干渉を避けるために高純度アルゴンガス(≥99.999%)が装備されています。廃液は、下水排出基準を満たすために中和および処理する必要があります。

アプリケーションへの影響:ICP-OES は、モリブデン線中の酸素含有量(<0.005%)を検出し、白熱灯とハロゲンランプの化学的安定性を確保し、不純物含有量を 0.01%未満に制御するために使用されます。

8.1.3 原子吸光分光法(AAS)

AAS は、微量の特定の元素を検出するために使用され、モリブデン線中の重金属不純物に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

原理:噴霧後、サンプルは特定の波長の光を吸収し、吸収強度を分析して元素含有量を決定します。

デバイスの機能:デバイスの検出限界は 0.01ppm で、分析時間は 3~5 分/要素です。

技術的パラメータ:

検出元素:Fe、Ni、Cr、Pb など、検出範囲 0.01~100ppm。

サンプル調製:モリブデンワイヤーを HNO₃-HCl 混合物(比率 1:3)に 50~70°C で溶解。

精度:±0.05%(微量元素)。

プロセス特性:AAS は単一元素分析であり、ターゲット検出に適しています(例:RoHS に準拠するための Pb<0.01%)。機器には中空カソードランプを装備し、定期的に変換する必要があります。廃液処理は、環境保護要件を満たす必要があります。

アプリケーションへの影響:AAS は、モリブデンワイヤの RoHS 準拠を検証し、自動車用ヘッドライト用のモリブデンワイヤの EU 市場の要件を満たすために使用されます。

8.2 照明用モリブデン線の物性試験

物性試験では、モリブデン線のサイズ、密度、および機械的特性を評価して、モリブデン線が照明器具の機械的および構造的要件を満たしていることを確認します。

8.2.1 寸法および公差測定(レーザーマイクロメトリー、顕微鏡検査)

サイズと公差は、モリブデンワイヤの電気的特性とシーリング信頼性に直接影響します。

レーザーマイクロメータ:

デバイス機能:測定範囲 0.005-2 mm、精度±0.0001mm。

原理:レーザービームはモリブデンワイヤーをスキャンし、直径と真円度を計算します。

技術的パラメータ:公差制御±0.002mm(超極細線)、測定速度 1-10 m/min、インライン検査に適しています。

プロセス特性:熱膨張エラーを回避するために、機器には一定の温度環境(20~25°C)が必要です。インラインマイクロメータは伸線機と統合して、直径の一貫性をリアルタイムで監視できます。

光学顕微鏡:

デバイス機能:倍率 50~1000 倍、精度±0.001mm。

原理:モリブデン線径と表面トポグラフィーを高解像度イメージングで測定します。

技術的パラメータ:オフライン検査、測定範囲 0.01-2 mm、公差検証±0.002 mm に適しています。

プロセス特性:サンプルの切断と研磨、検出時間は 5~10 分です。画像解析ソフトウェア

著作権および法的責任に関する声明

がサイズ分布を自動計算します。

アプリケーションへの影響:レーザーマイクロメータは、超極細モリブデンワイヤ(直径 0.01-0.05 mm)の生産管理に使用され、顕微鏡は研究開発および故障解析に使用され、GB/T 4191-2015 および ASTM B387 規格に適合しています。

8.2.2 密度テストと品質分析

密度試験では、モリブデンワイヤの密度を評価し、多孔性と介在物含有量を間接的に反映します。

装置機能:アルキメデスの原理に基づき、精度 $\pm 0.001\text{g/cm}^3$ 。

技術的パラメータ:

モリブデンの理論密度は 10.22g/cm^3 、測定密度は $\geq 9.8\text{g/cm}^3$ (密度 $\geq 96\%$)です。

サンプル要件:モリブデン線の長さ 10-50 mm、きれいな表面。

プロセス特性:この試験では、浸漬溶液として高純度エタノール(密度 0.789g/cm^3)が必要であり、温度は 20°C に制御されます。機器は定期的に校正する必要があり、標準サンプルが使用されます。

アプリケーションへの影響:高密度モリブデンワイヤは、高温での気孔の揮発を減らし、ハロゲンランプと HID ランプの寿命を延ばします。

8.2.3 引張強度、延性、硬さの試験

機械的特性試験は、室温および高温でのモリブデンワイヤの機械的安定性を評価します。

引張試験:

デバイス機能:テスト範囲 0~100 kN、精度 $\pm 0.5\%$ 。

技術的パラメータ:室温での引張強度 800-1200 MPa、破断点伸び 10%-25%;高温(1500°C)引張強度 200-400MPa。

プロセス特性:高温試験には水素保護炉(露点 $< -40^\circ\text{C}$)を装備する必要があり、治具の材料はモリブデンまたはタングステンです。テスト速度 0.1-1 mm / min。

硬さ試験:

デバイス機能:テスト範囲 HV 0.1-1000、精度 $\pm 0.5\text{HV}$ 。

技術的パラメータ:純粋なモリブデン線 HV 200-250、ドーブされたモリブデン線 HV 250-300、くぼみの深さ $< 0.01\text{mm}$ 。

プロセス特性:サンプルの表面を研磨する必要があり、試験力は 0.1~0.5 N、保持時間は 10 秒です。

アプリケーションへの影響:引張試験と硬度試験により、フィラメントサポートと電極内のモリブデンフィラメントの機械的信頼性が保証され、自動車のヘッドランプとプロジェ

著作権および法的責任に関する声明

クッションランプの要件を満たします。

8.3 照明用モリブデン線の表面品質検査

表面品質は、モリブデンワイヤのアーク安定性、耐食性、および光学特性に影響を与えるため、顕微鏡と欠陥検出技術で評価する必要があります。

8.3.1 光学顕微鏡と表面粗さ試験

光学顕微鏡と粗さ計は、モリブデン線の表面トポグラフィーと仕上げを評価するために使用されます。

光学顕微鏡:

デバイス機能:倍率 50-1000 倍、精度 $\pm 0.001\mu\text{m}$ 。

技術的パラメータ: $0.1\mu\text{m}$ の画像解像度で傷、亀裂、酸化物を検出します。

プロセス特性: サンプルの研磨が必要であり、画像解析ソフトウェアが装備されており、

欠陥の数は自動的にカウントされます。検出時間は 5~10 分です。

表面粗さ試験機:

デバイス機能:測定範囲 Ra 0.01-10 μm 、精度 $\pm 0.001\mu\text{m}$ 。

技術的パラメータ:洗浄されたモリブデン線 Ra 0.1-0.5 μm 、黒色モリブデン線 Ra 0.5-2.0 μm 。

プロセス特性:接触プローブ測定、プローブ半径 2 μm 、移動速度 0.5mm/s。インライン検査は、研磨装置と統合することができます。

アプリケーションへの影響:高仕上げモリブデン線(Ra<0.4 μm)は、HID ランプや UV ランプに適したアーク安定性を向上させ、表面欠陥率を 0.5%<制御します。

8.3.2 走査型電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分光法(EDS)

SEM と EDS は、高分解能の表面トポグラフィーと組成分析に使用されます。

無し:

デバイスの機能:解像度 1 nm、倍率 100-100,000 倍。

技術的パラメータ:表面亀裂、多孔性、腐食トポグラフィーの検出、超極細モリブデン線(直径 0.01-0.05mm)に適しています。

プロセス特性:真空環境($<10 \cdot 10 \cdot \text{Pa}$)が必要であり、試料表面に導電性コーティング(カーボン膜など)が必要です。表面のトポグラフィーを解析する 3D イメージング機能。

EDS の:

技術的パラメータ:ドーピングされた元素(La、Re など)分布の検出、精度 $\pm 0.1\%$ 、検出深度 1~2 μm 。

プロセス特性:SEM と統合してドーピングの均一性(粒子間隔 0.5-2 μm)を分析します。検出

著作権および法的責任に関する声明

時間 10～20 分。

アプリケーションへの影響:SEM-EDS は、故障解析(ハロゲンランプ電極腐食など)、ドーピングプロセスの最適化、およびモリブデンランタンワイヤーの性能向上に使用されます。

8.3.3 表面欠陥検出技術

表面欠陥検出技術は、微細な亀裂や介在物を特定するために使用されます。

レーザー走査型顕微鏡:

デバイスの機能:解像度 0.1 μm 、3D イメージング深度 10-100 μm 。

技術的パラメータ:引っかき傷、亀裂、酸化物の検出、欠陥サイズ>0.5 μm 。

プロセス特性:非接触検出、オンライン品質管理に適しています。検出速度は 1～5m/分です。

自動ビジョンシステム:

デバイスの特長:解像度 0.01 μm の高解像度 CCD カメラを搭載。

技術的パラメータ:検出面の欠陥率は<0.5%で、大規模生産に適しています。

プロセスの特徴:伸線機能との統合、欠陥位置のリアルタイムフィードバック、効率が 50% 向上。

アプリケーションへの影響:欠陥検出技術により、故障率が低下し、プロジェクションランプと自動車用ヘッドライトの厳しい要件を満たし、歩留まりは 98%に達します。

8.4 照明用モリブデン線の高温性能試験

高温性能試験では、照明器具の作業環境(1500～3000°C)でのモリブデンワイヤーの安定性を評価し、耐酸化性、熱サイクル、および機械的特性をカバーします。

8.4.1 高温耐酸化性と熱安定性試験

酸化防止剤試験は、高温でのモリブデンワイヤーの化学的安定性を評価します。

機器機能:温度範囲 500-2000°C、精度 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

技術的パラメータ:

試験条件:アルゴンまたは水素保護(露点<-40°C)、温度 1500-1800°C、保温 1-100 時間。

インデックス:酸化体的重増加<0.01 mg/cm²、表面に MoO₃の揮発はありません。

プロセス特性:揮発性酸化物を処理するための排ガス処理システム(アルカリ吸収)を装備する必要があります。サンプルの表面を研磨(Ra<0.5 μm)して、酸化開始点を減らす必要があります。

アプリケーションへの影響:酸化防止性能により、白熱灯やハロゲンランプのモリブデン

[著作権および法的責任に関する声明](#)

線の化学的安定性が確保され、寿命が 10%~20%延長されます。

8.4.2 熱サイクルと耐クリープ性試験

熱サイクルおよび耐クリープ試験では、温度変化や高温下でのモリブデンワイヤの安定性を長期間にわたって評価します。

熱サイクルテスト:

装置機能:温度範囲-40°C~800°C、サイクルレート 10-20°C/分。

技術的パラメータ:100-1000 サイクル、亀裂とシーリング不良の検出。

プロセス特性:ランプとランタンのスイッチングプロセスをシミュレートし、シーリング部品(モリブデンワイヤガラス)の熱膨張マッチングをテストします。

クリープ抵抗試験:

機器の機能:温度 1500-1800°C、応力 50-200MPa。

技術的パラメータ:クリープ率 $<10^{-6}\text{s}^{-1}$ (モリブデンランタンワイヤ)、テスト時間 100~1000 時間。

プロセス特性:水素保護が必要であり、固定具の材料はモリブデンまたはタングステンです。クリープ速度は、変位センサによって $\pm 0.001\text{mm}$ の精度で測定されます。

アプリケーションへの影響:熱サイクル試験は、自動車のヘッドランプのモリブデンワイヤの信頼性を確保し、クリープ抵抗試験は、ドーピングされたモリブデンワイヤ(モリブデンランタンワイヤなど)を最適化して、HID ランプの寿命を延ばします。

8.4.3 高温機械的特性試験

高温機械的試験では、照明器具の動作温度でのモリブデンワイヤの機械的特性を評価します。

機器機能:温度範囲 500-2000°C、精度 $\pm 0.5\%$ 。

技術的パラメータ:

試験条件:1500°C、水素保護、引張速度 0.1-1mm / min。

インデックス:引張強度 200-400 MPa、破断点伸び 5%-15%。

プロセス特性:高温固定具(モリブデンまたはタングステン材料)と雰囲気制御システム(アルゴンまたは水素、純度 $\geq 99.999\%$)を装備する必要があります。試験データはひずみゲージで記録されます(精度 $\pm 0.01\%$)。

アプリケーションへの影響:高温機械的特性試験は、ハロゲンランプおよび赤外線ランプのモリブデンワイヤの機械的安定性を確保し、ASTM B387 および GB / T 4191-2015 の要件を満たしています。

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

8.5 照明用モリブデン線の電気的性能試験

電気的性能試験では、モリブデンワイヤの導電率とアーク安定性を評価し、照明器具の発光効率と寿命に影響を与えます。

8.5.1 抵抗率と導電率のテスト

抵抗率試験では、モリブデン線の電気伝導率を評価します。

デバイス機能:4プローブテスター、測定範囲 10^{-8} - $10^6\Omega \cdot m$ 、精度 $\pm 0.01\%$ 。

技術的パラメータ:

抵抗率:純粋なモリブデン線 $5.5 \times 10^{-8}\Omega \cdot m(20^\circ C)$ 、わずかに高い($6-7 \times 10^{-8}\Omega \cdot m$)ドープされたモリブデン線。

試験条件:サンプル長 50-100 mm、電流 1-10 mA。

プロセス特性:一定の温度環境($20^\circ C$)が必要であり、接触プローブは接触抵抗を避けるために金またはタングステンで作られています。試験結果はオームの法則によって計算されます。

アプリケーションへの影響:低抵抗のモリブデンワイヤーは、ジュールの熱損失を減らし、白熱灯とハロゲンランプのエネルギー効率を改善します。

8.5.2 温度係数とアーク安定性解析

温度係数とアーク安定性は、高温アーク環境でのモリブデンワイヤの性能に影響を与えます。

温度係数試験:

機器機能:温度範囲 $20-1500^\circ C$ 、精度 $\pm 0.1\%$ 。

技術的パラメータ:モリブデン線の抵抗の温度係数 $4.5 \times 10^{-3}/^\circ C(20-1000^\circ C)$ 。

プロセス特性:試験には水素保護が必要であり、サンプルはセラミック固定具に固定されます。温度の関数としての抵抗は、4プローブ法によって測定されます。

アーク安定性試験:

デバイス機能:電圧 1~30 kV、電流 0.1~100 A。

技術的パラメータ:アークオフセット $<0.1mm$ 、電極腐食率 $<0.01mg/cm^2 \cdot h$ 。

プロセス特性:アーク軌道を記録するためのハイスピードカメラ(1000fps)を搭載。このテストは、HID ランプ($6000^\circ C$ アークセンター)の作業環境をシミュレートします。

アプリケーションへの影響:アーク安定性試験は、モリブデンワイヤ($Ra < 0.4\mu m$)の表面品質を最適化し、HID およびキセノンランプの発光効率を向上させます。

8.5.3 高温電気性能試験

高温電気試験では、照明器具の動作温度でのモリブデンワイヤの導電率を評価します。

[著作権および法的責任に関する声明](#)

装置機能:半導体分析装置、温度範囲 500-1500°C、精度±0.01%。

技術的パラメータ:

抵抗率:約 $2.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$ (1500°C) の m で。

試験条件:水素保護、電流 0.1-1A。

プロセス特性:高温固定具(モリブデンまたはタングステン材料)と雰囲気制御システムが必要です。テストデータは、抵抗変化をリアルタイムで記録することにより分析されます。アプリケーションへの影響:高温電気試験により、ハロゲンランプおよびプロジェクションランプのモリブデンワイヤの伝導安定性が保証され、JIS H 4461 の要件を満たします。

8.6 照明用モリブデン線の非破壊検査

非破壊検査(NDT)は、モリブデンワイヤの使用性能に影響を与えることなく、モリブデンワイヤの内部欠陥と構造的完全性を評価するために使用されます。

8.6.1 超音波探傷技術

超音波探傷は、モリブデンワイヤ内部の多孔性と介在物を検出します。

デバイス機能:周波数 5~20 MHz、精度±0.01mm。

技術的パラメータ:

検出範囲:直径 0.05-2mm、欠陥サイズ>0.01mm。

感度:気孔と封入体を検出し、反射信号強度>10%です。

プロセス特性:水カプラント、プローブ直径 2~5mm が必要です。検出速度は 1~5m/min で、インライン検査に適しています。

アプリケーションへの影響:超音波探傷は、モリブデンワイヤの内部品質を向上させ、HID ランプ電極の故障リスクを低減し、欠陥検出率は 95%に達します。

8.6.2 X 線探傷と CT スキャン

X 線探傷と CT スキャンは、モリブデン線の内部と表面の微小な欠陥を検出するために使用されます。

X 線探傷:

デバイス機能:電圧 50-225 kV、分解能 1 μ m。

技術的パラメータ:亀裂検出、気孔率、欠陥サイズ>0.005mm。

プロセス特性:サンプルを回転させる必要があり、イメージング時間は 5~10 分です。オフライン検査に適しています。

CT スキャン:

デバイス機能:分解能 0.5 μ m、3D 再構成精度±0.001mm。

技術的パラメータ: 内部介在物と粒界欠陥の検出、超極細モリブデン線に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

プロセス特性:高真空環境が必要であり、スキャン時間は 10〜30 分です。欠陥分布を解析するための 3D 再構成。

アプリケーションへの影響:X 線および CT スキャンは、ハイエンドのモリブデンワイヤー(プロジェクションランプなど)に使用され、内部欠陥がないことを確認し、信頼性を向上させます。

8.6.3 磁性粒子試験と渦電流試験

磁性粒子および渦電流試験は、表面および表面近傍の欠陥を迅速にスクリーニングするために使用されます。

磁粉探傷検査:

デバイス機能:磁場強度 0.1-1 T、感度 0.01mm。

技術的パラメータ: 表面の亀裂や引っかき傷の検出、直径>0.1mm のモリブデンワイヤーに適しています。

プロセス特性:磁性粉末懸濁液(蛍光または非蛍光)が必要であり、検出時間は 1〜3 分です。強磁性介在物のみ。

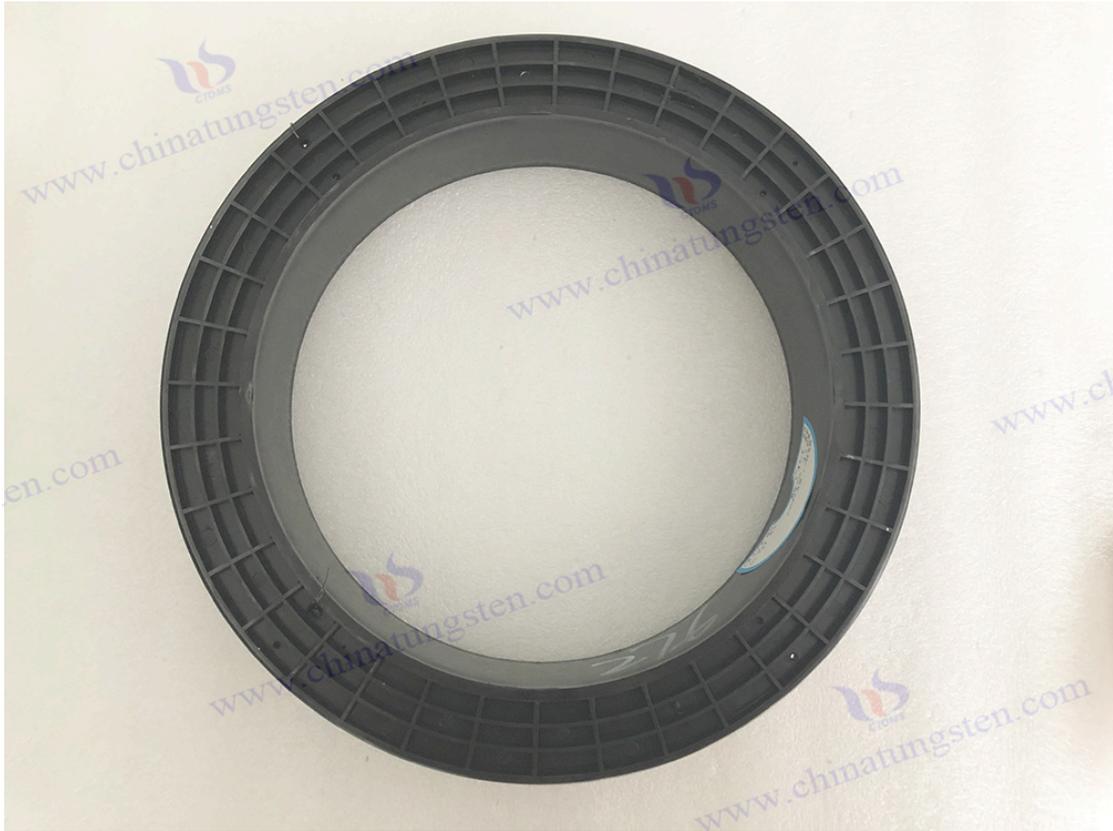
渦流探傷:

デバイス機能:周波数 10 kHz-10 MHz、感度 0.01mm。

技術的パラメータ:表面および表面近くの亀裂の検出、インライン検査に適した、速度 1-10 m / min。

プロセス特性:コイルは、非導電性コーティングまたは酸化物層の干渉を検出するために校正する必要があります。自動化システムにより、効率が 50%向上します。

アプリケーションへの影響:渦電流試験は大量生産に使用され、磁性粒子試験は故障解析に使用され、自動車のヘッドライトのモリブデンワイヤーの表面品質を保証します。



CTIA の照明用モリブデン線

第9章 照明用モリブデン線の今後の開発動向

照明業界の重要な材料として、照明用モリブデンワイヤーは、新材料技術、生産プロセスのアップグレード、代替材料の競争、市場の需要の急速な変化に直面しています。この章では、新しいドーピング技術、インテリジェントでグリーンな生産プロセス、代替材料の研究開発、市場とアプリケーションの拡大における照明用モリブデンワイヤーの将来の開発動向について説明し、世界的な技術進歩と業界動向に基づく将来を見据えた分析を提供します。

9.1 新材料・ドーピング技術

新素材とドーピング技術の進歩により、照明用モリブデン線の性能が向上し、高温安定性、耐食性、電気的特性など、より要求の厳しい照明用途のニーズに対応します。

9.1.1 新しいドーピング元素(希土類、貴金属など)の探査。

ドーピング技術は、希土類または貴金属元素を導入することにより、モリブデンワイヤーの高温強度、耐クリープ性、および耐食性を大幅に向上させます。

技術動向:研究は、セリウム(Ce)、イットリウム(Y)、レニウム(Re)、白金(Pt)などの新規ド

著作権および法的責任に関する声明

ープ元素に焦点を当てています。希土類元素(例: CeO_2 、0.2%~1.0%をドーピング)は、粒子を微細化し(粒径 $20\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$)、引張強度を増加させます(1500°C で 20%増加)。貴金属(例: Re 、ドーピング 1%-5%)は、アーク耐食性を高め、腐食速度を 30%低減し、高輝度放電ランプ(HID)に適しています。

プロセス特性:湿式ドーピングと噴霧乾燥技術を組み合わせて、ドーピングされた元素の均一な分布を確保します(偏差 $<0.01\%$)。高温焼結($2000\text{-}2300^\circ\text{C}$)では、元素の揮発を避けるために、大気(水素、露点 $<-40^\circ\text{C}$)を正確に制御する必要があります。

課題と展望:新しいドーピング元素のコストは高く(例: Re はモリブデンの 10 倍)、性能とコストのバランスをとるためにドーピング量を最適化する必要があります。今後 5~10 年で、希土類ドーピングモリブデンワイヤーは、ハイエンドの自動車用ヘッドランプとプロジェクションランプの市場シェアの 20%を占めると予想されています。

アプリケーションへの影響:新しいドーピングされたモリブデンワイヤーは、ランプの寿命を延ばし(30%-50%)、高輝度で長寿命の照明のニーズを満たします。

9.1.2 ナノスケールモリブデン線の研究開発と応用

ナノスケールのモリブデン線(直径 $<0.01\text{mm}$)は、ナノ構造によって最適化され、機械的および電気的特性を改善します。

技術動向:ナノ描画技術と化学気相成長法(CVD)による直径 5~10nm のモリブデンフィラメントの調製。ナノ構造は、引張強度(室温で最大 1500MPa)と破断点伸び(15%)を向上させることができます。表面ナノ加工(例: Al_2O_3 コーティングの成膜、厚さ 50-100nm)は、耐酸化性を高め、酸化重量増加 $<0.005\text{mg}/\text{cm}^2$ に向上します。

プロセス特性:超高精度伸線装置(公差 $\pm 0.0005\text{mm}$)とナノスケールの金型(開口精度 $\pm 0.001\mu\text{m}$)が必要です。アニールプロセス($900\text{-}1100^\circ\text{C}$ 、水素保護)により、粒径($<100\text{nm}$)が最適化されます。

課題と展望:ナノ伸線装置のコストが高く、歩留まりが低い(約 70%)。今後 10 年間で、精密製造技術の進歩により、ナノスケールのモリブデン線は、医療用照明などの小型ランプに使用されると予想されており、市場シェアは 10%と推定されています。

アプリケーションへの影響:ナノスケールのモリブデンワイヤーは、アークの安定性と光学性能を向上させるための高精度照明(レーザー投影など)に適しています。

9.1.3 複合材料およびモリブデン基合金

モリブデンマトリックス複合材料および合金は、他の高温材料と組み合わせることで、モリブデンワイヤーの用途範囲を拡大します。

著作権および法的責任に関する声明

技術動向:モリブデン-タングステン(Mo-W)、モリブデンセラミック(Mo-ZrO₂など)、モリブデン-カーボンナノチューブ(CNT)複合材料の開発。Mo-W 合金(10%-30%W 含有量)は、融点(2800°C まで)と耐クリープ性(クリープ率<10°C)を増加させます。Mo-ZrO₂複合材料は耐酸化性を高め、赤外線ランプに適しています。

プロセス特性:粉末冶金とプラズマ焼結(温度 2000-2200°C、圧力 50MPa)を組み合わせることで複合ブランクを調製します。複合材料は、機械的特性の均一性を確保するために、正確に制御された位相分布(偏差<0.1μm)を必要とします。

課題と展望:複合材料は加工が難しく、コストは 20%~30%増加します。今後 5~10 年で、Mo-W 合金は純粋なモリブデンワイヤーの一部を置き換えると予想され、ランプモリブデンワイヤー市場の 15%を占めています。

アプリケーションへの影響:複合材料は、極端な環境(紫外線ランプ、高温炉など)でのモリブデンワイヤの信頼性を向上させ、特殊照明のニーズを満たすことができます。

9.2 インテリジェントでグリーンな生産プロセス

インテリジェントでグリーンな生産プロセスは、照明用モリブデンワイヤーの生産効率、品質の一貫性、環境の持続可能性を向上させます。

9.2.1 インテリジェント製造とインダストリー4.0 テクノロジー

スマートマニュファクチャリングは、自動化、データ分析、モノのインターネット(IoT)を通じてモリブデンワイヤの生産を最適化します。

テクノロジートレンド:オンライン監視システム、人工知能(AI)、ビッグデータ分析などのインダストリー4.0 テクノロジーの採用。オンラインレーザーキャリパー(精度±0.001mm)は、モリブデン線の直径をリアルタイムで監視し、AI アルゴリズムが線材断線のリスクを予測します(精度>95%)。IIoT は、絞り、アニーリング、検査装置を統合して、プロセス全体を自動化します。

プロセスの特徴: インテリジェントな伸線機は、サーボモーターを介して張力(±0.5N)を制御し、ワイヤーの破損率を 10%減少させます。デジタルツイン技術は、焼結および伸線プロセスをシミュレートし、プロセスパラメータ(温度、速度)を最適化し、歩留まりを 98%に向上させます。

課題と展望:スマートデバイスの初期投資は高い(総コストの約 30%を占める)が、人件費を 20%削減できる。今後 5 年間で、中国のモリブデンワイヤー企業ではインテリジェントな製造が普及すると予想され、生産効率は 15%~20%向上します。

アプリケーションへの影響:インテリジェントな生産により、モリブデンワイヤの寸法一

著作権および法的責任に関する声明

貫性と性能安定性が確保され、ハイエンドランプ(HID ランプなど)の高精度要件を満たします。

9.2.2 グリーン生産プロセスと廃棄物リサイクル

グリーンプロダクションは、廃棄物のリサイクルと環境に優しいプロセスを通じて環境への影響を軽減します。

技術動向:ブラシ付き折れたワイヤーや焼結廃棄物の回収(30%~40%の回収)のためのクローズドループリサイクルシステムの開発。化学洗浄廃液は中和・沈殿し、重金属の排出<0.1mg/Lで、下水排出基準を満たしています。排ガス処理システム(苛性吸収)により、酸化物の排出量<0.05mg/m³に抑制します。

プロセス特性:低揮発性潤滑剤(水性潤滑剤など)を使用して、延伸プロセスでの VOC 排出量を削減します(50%)。モリブデン粉末から水素還元(温度 800-1000°C)により廃棄物を再生し、コストを 10%削減します。

課題と展望:機器のリサイクルには高い初期投資が必要であり、リサイクル効率は廃棄物の純度によって制限されます。今後 10 年間で、グリーン生産は RoHS および ISO 14001 の要件に沿った業界標準になります。

アプリケーションへの影響:グリーンテクノロジーは、企業の環境イメージを向上させ、ヨーロッパおよびアメリカ市場(自動車照明など)のコンプライアンスニーズを満たします。

9.2.3 エネルギー最適化と低炭素製造

低炭素製造は、エネルギー消費を最適化することにより、生産コストと炭素排出量を削減します。

技術動向:エネルギー効率の高い焼結炉(エネルギー消費量を 15%削減)と高効率伸線機(モーター効率>90%)。抵抗加熱を誘導加熱に置き換え、加熱効率を 20%向上させます。プロセスパラメータの最適化(アニーリング温度の 50°C 低下など)により、エネルギー消費量が 10%削減されます。

プロセス特性:エネルギー管理システム(EMS)は、エネルギー消費をリアルタイムで監視し、生産スケジュールリングを最適化します。廃熱回収システムは、焼結炉の廃熱を使用してブランクを予熱し、エネルギーを 5%~10%節約します。

課題と展望:省エネ機器はアップグレードに費用がかかり、投資を回収するには 5~7 年かかります。今後 10 年間で、低炭素製造は、世界的なカーボンニュートラル目標に沿って、

著作権および法的責任に関する声明

モリブデンワイヤー生産からの炭素排出量の 20%削減を促進します。

アプリケーションへの影響:低炭素製造は、生産コストを削減し(約 5%)、市場競争力を強化し、グリーン照明市場の需要を満たします。

9.3 照明用モリブデン線の代替材料

照明技術の進歩により、代替材料がモリブデン線を部分的に置き換える可能性があります、そのユニークな特性にはまだ利点があります。

9.3.1 タングステンベースの材料と新しい合金

タングステンベースの材料は、融点と強度が高いため、モリブデンワイヤーの潜在的な代替品と見なされています。

技術動向:タングステン-レニウム(W-Re、3%-10%Re)合金により、引張強度(1500°C で 500MPa)と耐アーク腐食性を向上させます。タングステンマトリックス複合材料(W-ZrO₂ など)は、耐酸化性を高め、酸化重量を 0.005 mg/cm²<増加させます。

プロセス特性:タングステンベースの材料は、より高い焼結温度(2500-2800°C)と精密伸線装置(公差±0.001mm)を必要とします。表面コーティング(Si₃N₄など)は、化学的安定性を向上させます。

課題と展望:タングステンベースの材料のコストはモリブデンの 2~3 倍であり、加工が困難です。今後 5~10 年で、W-Re 合金はハイエンド HID ランプの市場シェアの 10%を占める可能性があります、コストの利点により、モリブデンワイヤーは依然として主流です。

アプリケーションへの影響:タングステンベースの材料は超高温アプリケーション(キセノンランプなど)に適していますが、モリブデンワイヤーはハロゲンランプや白熱灯の方が経済的です。

9.3.2 セラミックスとカーボン系材料

セラミックスやカーボン系材料は、その高温安定性と軽量性が注目されています。

技術動向:ジルコニア(ZrO₂)および窒化ケイ素(Si₃N₄)セラミックは、優れた耐酸化性(2000°C で安定)と電気絶縁性を備えているため、照明器具の支持構造に適しています。カーボンナノチューブ(CNT)とグラフェンは、高い導電性(10⁵S/m)と強度(>1 GPa)から電極に使用されています。

プロセス特性:セラミックはプラズマ焼結(1800-2000°C)する必要があるため、炭素ベースの材料は CVD(800-1200°C)によって脱堆積されます。セラミック加工には高精度な金型が必要であり、カーボン系材料にはガラス封止との熱膨張ミスマッチの問題を解決する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

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

著作権および法的責任に関する声明

課題と展望:セラミックスやカーボンベースの材料は高価(モリブデンの3~5倍高価)で、生産規模が限られています。今後10~15年で、特殊照明(紫外線ランプなど)の市場シェアの5%を占める可能性があります。

アプリケーションへの影響:セラミックおよびカーボンベースの材料は、高精度のミニチュア照明器具に適していますが、従来の照明におけるモリブデンワイヤーの優位性は、短期的に置き換えることは困難です。

9.3.3 新興の高温導電性材料

新しい導電性材料は、照明用のモリブデンワイヤーにより多くの可能性を提供します。

技術動向:金属基複合材料(TiC-Niなど)や高温超伝導体(YBCOなど)は、優れた電気伝導率(抵抗率 $<10^{-8}\Omega \cdot m$)と高温耐性($>2000^{\circ}C$)を備えています。MoS₂(酸化膜)をはじめとする二次元材料は、その高い電気伝導性と耐食性から注目されています。

プロセス特性:新しい材料には高度な成膜技術(PVD、ALDなど)が必要であり、厚さは10~100nmに制御されます。不純物による汚染を避けるために、生産は超清浄な環境(ISOクラス5)である必要があります。

課題と展望:新興の材料技術はまだ成熟しておらず、コストはモリブデンの5~10倍です。

今後15~20年で、レーザー照明と航空宇宙の分野でブレークスルーが達成される可能性があり、市場の<5%を占めています。

アプリケーションへの影響:新しい材料は最先端のアプリケーションに適していますが、成熟したプロセスとコストの利点により、モリブデンワイヤーが依然として支配的です。

9.4 市場とアプリケーションの拡大

照明用モリブデン線の応用分野と市場の需要は、照明技術と世界市場の変化とともに拡大します。

9.4.1 LEDおよびレーザー照明の潜在的なアプリケーション

LEDとレーザー照明により、従来のモリブデンワイヤーの必要性は減りますが、特定の領域ではまだ可能性があります。

技術動向:モリブデン線は、LEDランプの導電リード線および放熱基板として、高い電気伝導率($>10^4S/m$)と熱伝導率($>130W/m \cdot K$)が要求されます。レーザー照明では、モリブデ

著作権および法的責任に関する声明

ン線は蛍光体または電極を支えるために使用され、高エネルギー密度($>10^6\text{W}/\text{cm}^2$)にさらされます。

プロセス特性:放熱性と耐食性を向上させるためには、超微細絞り(直径 $<0.02\text{mm}$)と表面コーティング(Al_2O_3 、厚さ 50nm)が必要です。シーリングプロセスは、サファイア基板に一致させる必要があります(熱膨張偏差係数 $<10^\circ\text{C}$)。

課題と展望:LED およびレーザー照明市場は急速に成長しています(年間成長率 10%)が、モリブデンワイヤーの使用は市場全体の 5%を占めています。今後 10 年間で、ハイエンド LED(自動車照明など)やレーザープロジェクションにおけるモリブデン線の需要は 15%増加すると予想されています。

アプリケーションへの影響:LED およびレーザー照明にモリブデンワイヤを適用すると、市場の寿命が延び、従来の照明市場の縮小を補うことができます。

9.4.2 航空宇宙および高温産業の拡大

航空宇宙産業や高温産業では、モリブデン線の新たな用途が提供されています。

技術動向:モリブデン線は、高温電極($>2000^\circ\text{C}$)やセンサー材料として、引張強度 1500MPa (室温)として航空宇宙産業で必要とされています。高温産業(プラズマ溶射、熱処理炉など)では、発熱体としてモリブデン線を使用し、耐クリープ性(クリープ率 $<10^{-7}\text{s}^{-1}$)が必要です。

プロセス特性:モリブデン-レニウム合金(5%Re)と表面コーティング(例: MoSi_2 、厚さ $1\text{-}2\mu\text{m}$)を開発する必要があります。生産には、高真空焼結($<10^{-3}\text{Pa}$)と精密成形プロセスが必要です。

課題と展望:航空宇宙市場には非常に高い信頼性要件があり、モリブデンワイヤ(AS9100 など)の認証が必要です。今後 10 年間で、この分野の需要はモリブデンワイヤー市場の 10%を占めると予想されています。

アプリケーションへの影響:航空宇宙および高温産業は、照明市場の縮小を補うために、モリブデンワイヤーの高付加価値アプリケーションを拡大しています。

9.4.3 世界市場の需要と新興市場分析

世界市場の需要の変化と新しい市場の台頭は、モリブデンワイヤに成長の機会を提供します。

技術動向:従来型照明(ハロゲン、HID など)の市場は、発展途上国(インド、東南アジアなど)で年率 5%~7%の成長を続けています。ハイエンド照明(自動車のヘッドランプ、プロジェクションランプなど)の需要により、ドーパされたモリブデンワイヤー(モリブデン、ランタン、モリブデン-レニウム)が 10%増加しました。世界のモリブデンワイヤー市場は、

著作権および法的責任に関する声明

2025年から2030年まで年平均3%の成長率を維持すると予想されています。

市場の特徴:中国は世界のモリブデンワイヤー生産の70%を占めており、ヨーロッパ、北米、アジアに輸出されています。新興市場(アフリカ、ラテンアメリカなど)は、インフラ建設の需要の増加により、世界市場の15%を占めると予想されています。

課題と展望:ヨーロッパとアメリカの市場は、厳格な環境保護要件(RoHS、REACH)を持ち、グリーン生産プロセスを必要としています。今後10年間で、新興市場における低コスト照明の需要により、モリブデンワイヤーの売上は20%増加すると予想されています。

アプリケーションへの影響:新興市場の成長とハイエンドアプリケーションの拡大により、世界の照明市場におけるモリブデンワイヤーの継続的な競争力が確保されます。



CTIAの照明用モリブデン線

虫垂

A. 用語集

モリブデン ワイヤー: モリブデンを主成分とした細い金属線で、高温照明器具に広く使用されています。

純粋な モリブデンワイヤー: ドーピング元素を添加せずに純度 $\geq 99.95\%$ のモリブデンワイヤー。

モリブデン ランタンワイヤー: モリブデンワイヤーに酸化ランタンをドーピングして、高温強度と耐クリープ性を高めています。

モリブデン レニウムワイヤー: 延性と耐酸化性を向上させるためにレニウム元素をドーピングしたモリブデンワイヤー。

ブラック モリブデンワイヤー: 表面に黒色酸化物層があるモリブデンワイヤーで、未研磨です。

洗浄されたモリブデンワイヤー: 研磨または洗浄されたモリブデンワイヤーで、表面が明るい。

粉末 冶金: 粉末プレス、焼結、その他のプロセスを通じて金属材料を調製する技術。

伸線 加工: 金属ブランクをダイスに通してフィラメントを形成する加工方法。

高温 強度: 高温での材料の引張強度と変形抵抗。

耐酸化 性: 高温での酸化腐食に抵抗する材料の能力。

ハロゲン サイクル: ハロゲンガスとハロゲンランプ内のフィラメントとの化学反応により、フィラメントの寿命を延ばすプロセス。

X-ray Fluorescence(蛍光 X 線): X 線を使用してサンプルを励起し、元素分析を行う検出技術。

Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES): プラズマ励起による元素定量技術。

走査 型電子顕微鏡(SEM): 材料の表面トポグラフィーを観察するために使用される高解像度顕微鏡。

Resistivity 【抵抗率】: 電流に抵抗する材料の能力の尺度で、オームメートルで測定されます。

Coefficient of Thermal Expansion 【熱膨張係数】: 材料が温度とともに増加するにつれて体積が膨張する度合い。

RoHS: 有害物質の制限。

グリーンマニュファクチャリング: 省エネ、環境保護、低炭素を目標とした生産方法。

B. 参考文献

[1] モリブデンおよびモリブデン合金材料のハンドブック、冶金産業プレス、2018 年。

[2] 「モリブデンワイヤーの製造プロセスと技術」、Chinese Journal of Nonferrous Metals、2022 年。

[3] ASTM B386-03、モリブデンおよびモリブデン合金プレート、シート、ストリップ、およびホイルの標準仕様。

[4] GB / T 3462-2017、モリブデンバーおよびプレート。

[5] 粉末冶金技術の進歩、材料科学および工学、2023 年。

[6] 「モリブデン伸線プロセスの最適化」、金属加工、2021 年。

著作権および法的責任に関する声明

- [7] 「ドーピングされたモリブデンワイヤーの性能向上メカニズム」、International Materials Review、2020 年。
- [8] 「モリブデン線における表面処理技術の応用」、Surface Engineering、2022 年。
- [9] RoHS 指令 2011/65 / EU、欧州連合、2011 年。
- [10] 世界のモリブデン市場分析レポート、市場調査の未来、2024 年。
- [11] Materials and Technology of Lighting Devices, Journal of Lighting Engineering, 2023 年。
- [12] 「ハロゲンランプとガス放電ランプ技術」、International Institute of Illumination Technical Report、2022 年。
- [13] 自動車用照明材料に関する研究、自動車工学、2021 年。
- [14] 「特殊照明技術の進歩」、光学および光電子技術、2023 年。
- [15] 真空電子デバイス用材料、電子産業出版社、2020 年。
- [16] EDM Technology、Journal of Mechanical Engineering、2022 年。
- [17] 「高温炉の材料と応用」、材料科学と工学、2021 年。
- [18] 先端材料と製造技術、Science Press、2023 年。
- [19] インテリジェント製造とインダストリー4.0、China Machine Press、2022 年。
- [20] 「グリーン製造技術の進歩」、環境科学技術、2023 年。
- [21] 照明材料と技術、Journal of Lighting Engineering、2024 年。
- [22] ISO 22447、モリブデンおよびモリブデン合金製品、国際標準化機構、2019 年。
- [23] RoHS 指令 2011/65 / EU、欧州連合、2011 年。
- [24] Journal of Aerospace Materials Technology、Journal of Aeronautical Materials、2023 年。
- [25] 材料試験技術、Science Press、2022 年。
- [26] GB/T 4182-2000 「モリブデンおよびモリブデン合金の化学分析方法」、中華人民共和國標準化管理局、2000 年。
- [27] 「非破壊検査技術」、中国機械工学会、2023 年。
- [28] 「高温材料の性能試験」、材料科学と工学、2021 年。
- [29] 「電気的性能試験技術」、Electronic Industry Press、2020 年。