

モリブデンワイヤーの百科事典

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA グループ株式会社

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

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

Page 1 of 92

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

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。

ハンス博士と 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

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

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

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

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

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

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

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

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

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

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

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

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
- 1.2 モリブデン線の歴史と発展
- 1.3 現代産業におけるモリブデン線の重要性
- 1.4 モリブデン線の研究と応用の現状

第2章: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 その他の合金モリブデン線
- 2.2 用途による分類
 - 2.2.1 電灯用モリブデン線
 - 2.2.2 ワイヤー切断用モリブデン線
 - 2.2.3 スプレー用モリブデンワイヤー
 - 2.2.4 真空コーティング用モリブデンワイヤー
 - 2.2.5 発熱体用モリブデン線
 - 2.2.6 高温炉部品用モリブデン線
 - 2.2.7 電子部品用モリブデン線
 - 2.2.8 医療および航空宇宙用のモリブデン線
- 2.3 表面状態による分類
 - 2.3.1 ブラックモリブデンワイヤー
 - 2.3.2 洗浄されたモリブデン線
- 2.4 処理方法による分類
 - 2.4.1 ホットドロモリブデンワイヤー
 - 2.4.2 冷間引抜モリブデン線
 - 2.4.3 精密モリブデン線
- 2.5 仕様による分類
 - 2.5.1 極細モリブデン線(直径<0.05mm)
 - 2.5.2 標準細モリブデン線 (0.05–0.3 mm)
 - 2.5.3 中粗モリブデン線(直径 0.3–1.0 mm)
 - 2.5.4 粗いモリブデン線(直径>1.0 mm)

第3章 モリブデン線の特性

- 3.1 モリブデン線の物性
 - 3.1.1 モリブデン線の融点と沸点
 - 3.1.2 モリブデン線の密度
 - 3.1.3 モリブデン線の熱膨張係数
 - 3.1.4 モリブデン線の導電率

著作権および法的責任に関する声明

- 3.1.5 モリブデン線の熱伝導率
- 3.1.6 モリブデン線のモース硬度
- 3.2 モリブデン線の化学的性質
 - 3.2.1 モリブデン線の化学的安定性
 - 3.2.2 モリブデン線の耐食性
 - 3.2.3 モリブデン線の酸化特性
 - 3.2.4 モリブデン線の原子価と化学反応
- 3.3 モリブデンワイヤーの機械的性質
 - 3.3.1 モリブデン線の引張強度
 - 3.3.2 モリブデンワイヤーの延性
 - 3.3.3 モリブデン線の靱性
 - 3.3.4 モリブデン線の疲労特性
- 3.4 モリブデンワイヤーの特殊特性
 - 3.4.1 モリブデン線の高温性能
 - 3.4.2 モリブデン線の耐摩耗性
 - 3.4.3 モリブデン線の高磁性特性
- 3.5 CTIA GROUP LTD モリブデンワイヤー MSDS

第4章 モリブデン線の調製・製造技術

- 4.1 原材料の準備
 - 4.1.1 モリブデン精鉱の選鉱と精製
 - 4.1.2 モリブデン粉末の製造
 - 4.1.3 合金元素の添加
- 4.2 粉末冶金プロセス
 - 4.2.1 モリブデン粉末のプレスと成形
 - 4.2.2 焼結プロセス
 - 4.2.3 ブランクの準備
- 4.3 伸線
 - 4.3.1 熱線描画技術
 - 4.3.2 冷間引抜技術
 - 4.3.3 マルチパス描画
 - 4.3.4 潤滑および冷却技術
- 4.4 表面処理
 - 4.4.1 苛性洗淨プロセス(洗淨されたモリブデンワイヤー)
 - 4.4.2 研磨プロセス
 - 4.4.3 コーティング処理
- 4.5 熱処理と焼鈍
 - 4.5.1 アニーリングプロセスパラメータ
 - 4.5.2 熱処理装置
- 4.6 特殊合金モリブデン線の作製
 - 4.6.1 ランタンモリブデンワイヤーのドーピングプロセス
 - 4.6.2 モリブデン-レニウム合金線の製造

著作権および法的責任に関する声明

4.7 プロセスの最適化と技術革新

4.7.1 自動生産技術

4.7.2 環境保護と省エネプロセス

第5章 モリブデンワイヤーの使用

5.1 電灯用モリブデン線

5.1.1 電球の製造におけるサポートワイヤーとリード線

5.1.2 ハロゲンランプおよび蛍光灯の電極材料

5.1.3 LED ランプベースと接続材料

5.2 ワイヤー切断用モリブデンワイヤー

5.2.1 ワイヤーEDM 工作機械用ワイヤーワイヤー

5.2.2 非鉄金属、鋼、超硬合金の切断

5.2.3 精密金型と複雑形状加工

5.3 スプレー用モリブデンワイヤー

5.3.1 自動車部品の耐摩耗性コーティング

5.3.2 機械部品の表面修理と強化

5.3.3 航空エンジン部品の溶射

5.4 真空コーティング用モリブデン線

5.4.1 薄膜成膜における蒸着原料

5.4.2 光学および装飾コーティング

5.4.3 半導体および太陽電池コーティング

5.5 発熱体用モリブデン線

5.5.1 高温電気炉用電熱線

5.5.2 真空炉および雰囲気炉の発熱体

5.5.3 熱処理装置への応用

5.6 高温炉部品用モリブデン線

5.6.1 高温炉の支持および固定部品

5.6.2 真空炉のリード線とシールド部品

5.6.3 結晶成長炉用構造材料

5.7 電子部品用モリブデン線

5.7.1 真空電子機器(チューブ、X線管)

5.7.2 熱電対とセンサーの製造

5.7.3 マイクロエレクトロニクスと集積回路の接続材料

5.8 医療および航空宇宙用のモリブデンワイヤー

5.8.1 医療機器の高温部品(X線ターゲットなど)

5.8.2 宇宙船の高温・耐食性構造部品

5.8.3 低侵襲手術器具とインプラント材料

第6章 モリブデン線製造設備

6.1 原材料処理装置

6.1.1 鉍物処理装置

6.1.2 モリブデン粉末製造装置

著作権および法的責任に関する声明

6.2 粉末冶金機器

6.2.1 プレス

6.2.2 焼結炉

6.3 伸線機器

6.3.1 伸線機

6.3.2 金型と潤滑システム

6.4 熱処理装置

6.4.1 焼鈍炉

6.4.2 真空炉

6.5 表面処理装置

6.5.1 苛性洗浄装置

6.5.2 研磨およびコーティング装置

6.6 試験および品質管理機器

6.6.1 渦流探傷装置

6.6.2 引張試験機

6.6.3 顕微鏡と分光器

6.7 自動化とインテリジェント機器

6.7.1 自動伸線生産ライン

6.7.2 オンライン監視システム

第7章 モリブデン線の規格

7.1 モリブデン線の国内規格

7.1.1 GB / T 4182-2003 《钼丝》

7.1.2 GB/T 3462-2007

7.1.3 その他の関連する国内規格

7.2 モリブデンワイヤーの国際規格

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

7.2.2 ISO 規格

7.2.3 その他の国際規格(JIS、DIN など)

7.3 モリブデンワイヤー業界標準

7.3.1 非鉄金属の標準化のための国家技術委員会(TC243)

7.3.2 内部基準

7.4 モリブデン線規格の比較と分析

7.4.1 国内規格と外国規格の違い

7.4.2 規格の適用性と制限

第8章 モリブデン線の検出方法

8.1 モリブデン線化学組成試験

8.1.1 スペクトル解析(ICP-MS、XRF)

8.1.2 化学滴定

8.2 モリブデン線の物性試験

8.2.1 引張強度試験

8.2.2 伸び試験

著作権および法的責任に関する声明

- 8.2.3 硬さ試験
- 8.3 モリブデン線表面品質検査
 - 8.3.1 顕微鏡観察
 - 8.3.2 渦流探傷
 - 8.3.3 表面粗さ試験
- 8.4 モリブデン線のサイズと公差試験
 - 8.4.1 レーザーキャリパー
 - 8.4.2 マイクロメータとマイクロ測定
- 8.5 モリブデンワイヤーの他のテスト
 - 8.5.1 高温耐性試験
 - 8.5.2 耐食性試験
 - 8.5.3 電気的性能試験
- 8.6 廃モリブデン線の同定方法
 - 8.6.1 燃焼試験
 - 8.6.2 磁気試験
 - 8.6.3 濃硝酸試験
 - 8.6.4 重量と弾力性のチェック

第9章 モリブデンワイヤー市場と開発動向

- 9.1 世界のモリブデンワイヤー市場の概要
 - 9.1.1 主要生産国
 - 9.1.2 市場の需要と供給
- 9.2 国内モリブデンワイヤー市場
 - 9.2.1 主要メーカー(例:Chinatungsten Manufacturing)
 - 9.2.2 市場シェアと競合情勢
- 9.3 モリブデン線の開発動向
 - 9.3.1 新材料・新プロセスの開発
 - 9.3.2 インテリジェント製造と品質トレーサビリティ技術
 - 9.3.3 新規モリブデン合金線材の開発
 - 9.3.4 分解性材料または代替材料の開発
 - 9.3.5 新エネルギー、5G、医療の方向性におけるモリブデン線の新たな応用展望

第10章 モリブデンワイヤーの環境と安全

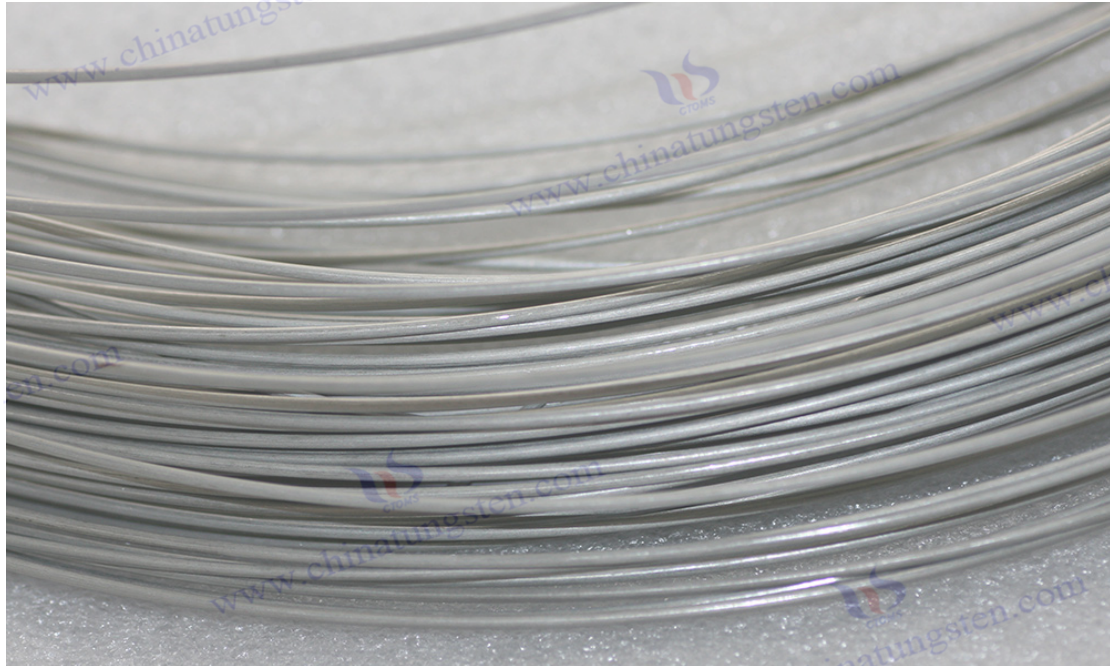
- 10.1 モリブデン線製造の環境への影響
 - 10.1.1 排ガスおよび廃水処理
 - 10.1.2 固形廃棄物管理
- 10.2 モリブデンワイヤー製造の安全仕様
 - 10.2.1 高温運転の安全性
 - 10.2.2 化学物質の安全な使用
- 10.3 廃モリブデン線材のリサイクルと再利用
 - 10.3.1 リサイクルプロセス

著作権および法的責任に関する声明

虫垂

A. 用語集

B. 参考文献



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

著作権および法的責任に関する声明

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

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

第1章 はじめに

1.1 モリブデン線の定義と概要

モリブデンワイヤー は、モリブデン金属またはその合金で作られた一種のフィラメントのような材料であり、粉末冶金、伸線、熱処理、およびその他のプロセスを経て、通常は直径が 0.03mm から数 mm です。モリブデン(化学記号 Mo、原子番号 42)は、高融点、優れた物理的、化学的、機械的特性を持つ遷移金属です。高強度、高温耐性、耐食性、優れた電気伝導率と熱伝導率など。これらの特性により、モリブデン線はさまざまな産業分野でかけがえのない役割を果たしています。モリブデン線は、純粋なモリブデン線(純度は通常 99.95%) $\geq$ モリブデン線とモリブデン合金線(ランタンモリブデン線、モリブデン-レニウム合金線など)に分けることができ、黒色のモリブデン線 (アルカリ洗浄なし、表面の酸化層は黒灰色)と 洗浄されたモリブデン線 に分けることができます(アルカリ洗浄または研磨後、表面は銀白色です)表面の状態に応じて。モリブデン線は、極細モリブデン線(直径 0.1mm)<粗モリブデン線(>直径 1.0mm)まで、さまざまな仕様で取り揃えており、さまざまな用途のニーズに対応しています。

モリブデンワイヤーの製造プロセスは複雑で、モリブデン精鉱の精製から伸線まで複数のプロセスを含み、その中心は、性能の安定性を確保するために粒子構造と表面品質を制御することです。モリブデン線は、電線放電加工、電気光源、真空コーティング、高温炉部品、電子部品製造、医療・航空宇宙用途など、幅広い用途で使用されています。モリブデン線は融点が高く(約 2623°C)、熱膨張係数が低いため、高温や過酷な環境でも優れており、導電性や化学的安定性が高いため、精密加工や電子産業で重要な位置を占めています。さらに、モリブデンワイヤーも環境に優しくリサイクル可能であり、廃モリブデンワイヤーはリサイクルプロセスを通じて再精製することができ、現代のグリーン製造の要件を満たしています。

1.2 モリブデン線の歴史と発展

モリブデンは希少金属として、18 世紀末にさかのぼる発見と応用の歴史があります。1778 年、スウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーレは、モリブデン元素を初めて単離し、その鉱石が鉛鉱石に似ていることから、「鉛に似ている」という意味のギリシャ語の「モリブドス」に由来する「モリブデン」と名付けました。1790 年、別のスウェーデンの化学者、ピーター・ヤコブ・イエラムは、モリブデン酸を還元して金属モリブデンを調製し、その後の応用の基礎を築きました。しかし、モリブデンの融点が高く、加工が難しいため、初期にはその用途は限られており、主に実験室での研究に使用されていました。

19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけて、冶金技術の成長と高温材料の需要に伴い、モリブデンが産業分野に参入し始めました。1900 年代初頭、モリブデンは鋼の強度と耐食性を大幅に向上させるための合金元素として発見され、モリブデン鋼は武器製造や機械産業で利用されるようになりました。モリブデン線の開発は、電気光源産業の台頭と密接に関連

しています。1910 年、ウィリアム・M・ウィリアム・D・クーリッジはアメリカのゼネラル・エレクトリック社でタングステンフィラメント電球を開発し、タングステンと同様の高温耐性と低コストであることから、モリブデン線が電球の支持線やリード材として使用されました。それ以来、モリブデンワイヤーの用途は、真空電子機器や高温ストーブなどの他の分野に徐々に拡大しています。

20 世紀半ば、EDM 技術の出現により、モリブデン線の開発がさらに促進されました。1950 年代、中国はワイヤーEDM でのモリブデンワイヤーの応用を模索し始め、その高い強度と耐アーク侵食性により、モリブデンワイヤーはワイヤー切断工作機械の理想的な電極材料になりました。21 世紀には、ナノテクノロジー、精密製造、航空宇宙産業の進歩に伴い、モリブデンワイヤーの準備プロセスは継続的に最適化され、超微細モリブデンワイヤーと合金モリブデンワイヤー(ランタンモリブデンワイヤーやモリブデンレニウム合金ワイヤーなど)の開発により、その性能が大幅に向上しました。例えば、Chinatungsten Online は、近年、中国のモリブデンワイヤー製造技術が国際的な先進レベルに達しており、超微細モリブデンワイヤー(直径<0.02mm)の描画技術とドーピングプロセスでブレイクスルーが見られ、マイクロエレクトロニクスや医療分野のニーズを満たすために報告しました。

1.3 現代産業におけるモリブデン線の重要性

モリブデンワイヤーは、そのユニークな特性の組み合わせにより、現代産業においてかけがえのない地位を占めています。まず第一に、モリブデン線は融点が高く、高温安定性に優れているため、高温環境に適した材料です。例えば、高温真空炉では、発熱体や支持部材としてモリブデン線が使われており、2000℃ を超える温度でも長時間安定して運転することができます。第二に、モリブデンワイヤーの優れた導電性と耐アーク侵食性により、超硬合金やチタン合金などの高硬度材料を効率的に切断できるワイヤーEDM に広く使用されており、精密金型や航空宇宙部品の加工に広く使用されています。Chinatungsten Online は、中国は、世界最大のモリブデンワイヤーの生産国として、ワイヤー切断用モリブデンワイヤーの世界市場シェアの 70%以上を占めていると指摘しました。

電灯の分野では、モリブデン線はガラスとの熱適合性が良好で、特にハロゲンランプや蛍光灯に耐熱性があることから、電球の支持線やリード線として使用されています。さらに、モリブデンワイヤーは、真空コーティングや溶射の分野でも重要な役割を果たしています。例えば、モリブデン線は、光学膜や半導体膜を堆積させるための蒸発源材料として使用することができます。溶射では、モリブデンワイヤースプレーコーティングにより、自動車用ピストンリングや航空エンジン部品の耐摩耗性を大幅に向上させることができます。モリブデン線は、電子部品の製造における熱電対、X 線管、マイクロエレクトロニクス線にも使用されており、その高純度と低不純物含有量により、デバイスの高い信頼性が保証されます。

医療および航空宇宙分野では、モリブデンワイヤーの応用を無視することはできません。モリブデンワイヤーの高い強度と生体適合性により、X 線ターゲットや低侵襲手術器具の製造に使用できます。モリブデン-レニウム合金ワイヤーは、その優れた耐食性と高温強

著作権および法的責任に関する声明

度により、宇宙船の高温構造部品に広く使用されています。また、太陽電池の電極材料や触媒担体など、新エネルギー分野でのモリブデン線の応用も増えており、グリーンエネルギーの開発に貢献しています。要約すると、モリブデンワイヤーの汎用性と高性能は、機械製造、電子機器、エネルギー、医療、航空宇宙などの戦略的産業で広く使用されている現代産業の柱となる材料となっています。

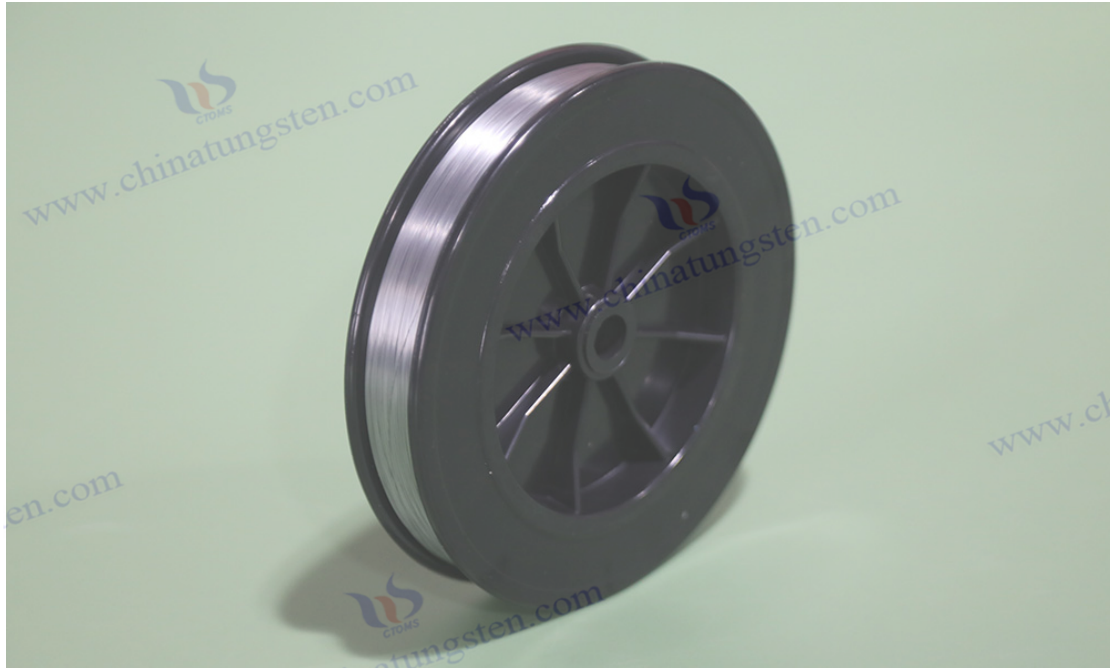
1.4 モリブデン線の研究と応用の現状

現在、モリブデンワイヤーの研究と応用は急速な発展の段階にあり、世界中のモリブデンワイヤーの材料科学、プロセス技術、応用分野の周りで多数の研究が行われています。材料科学では、モリブデンワイヤーの強度、靱性、および高温特性の改善に研究が焦点を当てています。例えば、希土類元素(ランタン、イットリウムなど)をドーピングしたモリブデン線は、再結晶温度と引張強度を大幅に向上させるため、より要求の厳しい高温環境に適しています。モリブデンレニウム合金ワイヤーの開発は、宇宙船のノズルや高温センサーなどの極端な環境でのモリブデンワイヤーの用途をさらに拡大します。研究によると、中国の科学研究機関は近年、ナノスケールのモリブデンワイヤーの調製技術にブレークスルーをもたらしており、超微細モリブデンワイヤーの引張強度は、粒径と表面欠陥を制御することにより 3000MPa 以上に達することができ、これは理論上の限界に近いです。

製造プロセスの面では、モリブデンワイヤーの準備技術は、従来の粉末冶金および伸線プロセスからインテリジェンスとグリーン化の方向に発展しました。自動伸線生産ラインとオンライン監視システムの適用により、生産効率と製品品質の安定性が向上します。同時に、低エネルギー焼結や廃水リサイクルなどの環境に優しいプロセスの導入により、モリブデンワイヤー製造の環境への影響が軽減されます。また、廃モリブデン線材のリサイクル技術も研究のホットスポットとなっており、化学溶解法や電解回収法により、モリブデン金属を効率的に抽出でき、回収率は 90%を超えています。

応用分野では、高付加価値産業におけるモリブデン電線の需要が拡大を続けています。ワイヤーEDM の分野での高精度モリブデンワイヤーの需要は、ミクロン加工の要件を満たすための超極細モリブデンワイヤーの開発を推進してきました。新エネルギー分野では、太陽電池や燃料電池の電極材料としてモリブデン線が使われており、年平均成長率は 10%を超えています。航空宇宙分野でのモリブデン-レニウム合金ワイヤーの需要も、特に高推力重量比エンジンや深宇宙探査機器で増加しています。医療分野では、モリブデン線の生体適合性と高強度を活かして、生体センサーや埋め込み型医療機器へのモリブデン線の応用が注目されています。

しかし、モリブデンワイヤー業界は、原材料価格の変動、高い生産コスト、国際市場での競争の激化などの課題にも直面しています。世界のモリブデン資源の主要国である中国は独自の優位性を持っていますが、欧米の企業(プランゼーや H.C. スタルクなど)との競争に対処するためには、ハイエンドのモリブデンワイヤーの独立した研究開発能力をさらに向上させる必要があります。将来的には、モリブデンワイヤーの研究の方向性は、新興産業のニーズを満たすためのナノ材料、インテリジェント生産、多機能複合材料の開発に焦点を当てます。



CTIA GROUP LTD クリーンモリブデンワイヤー

第2章 モリブデン線の分類

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性能の違いの基礎であり、加えられる要素のタイプそして内容に従って、モリブデン ワイヤーは純粋なモリブデン ワイヤーおよびいろいろ合金のモリブデン ワイヤーに分けることができます。化学組成の違いは、モリブデン線の機械的特性、高温性能、および応用分野に直接影響します。以下は、さまざまなタイプのモリブデンワイヤーの組成、特性、およびアプリケーションシナリオの詳細な紹介です。

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とは、高純度のモリブデン(≥純度は通常 99.95%)を原料としたモリブデンワイヤーを指し、他の元素を含まない、または微量しか含まれていません。純粋なモリブデン線は、融点が高く(約 2623℃)、電気伝導率と熱伝導率が高く、耐食性に優れているため、高温および真空環境での使用に特に適しています。その引張強度は一般に 800~1200 MPa、伸びは約 2~5%、粒状構造は均一であり、さまざまな仕様に引き込むのに適しています。純粋なモリブデン ワイヤーの工程は比較的簡単で、主に粉末冶金およびマルチパス伸線によって準備され、表面は黒色モリブデン ワイヤー(酸化物層付き)または洗浄されたモリブデン ワイヤー(アルカリ洗浄または研磨後)にすることができます。

純粋なモリブデン線は、電気光源、ワイヤー切断、電子部品製造に広く使用されています。例えば、電気光源の分野では、純粋なモリブデン線がガラスの熱膨張係数によく適合し、信頼性の高いシールを確保するため、電球の支持線およびリード線として使用されます。ワイヤーEDM では、純粋なモリブデンワイヤーは、その高い強度と耐アーク侵食性により、中小規模のワークピース加工に適した電極ワイヤーになっています。純粋なモリブデ

著作権および法的責任に関する声明

ンワイヤーは、その低コストと安定した性能により、世界のモリブデンワイヤー市場の約60%を占めています。ただし、純粋なモリブデンワイヤーは、再結晶温度が低く(約 1000～1200°C)、超高温環境で粒子が成長する傾向があり、強度が低下するため、極端な高温用途には適していません。

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(ランタンモリブデンワイヤー)は、モリブデンマトリックス(通常は 0.3～1.0 wt%)に少量の酸化ランタン(La_2O_3)をドーピングすることによって作られます。

酸化ランタンの添加により、モリブデン線の再結晶温度(最大 1500～1800°C)が大幅に上昇し、高温(最大 1500MPa 以上)での耐クリープ性と引張強度が向上しました。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細かい粒子構造、延性、靱性を備えており、高温で動的な負荷環境での使用に適しています。その表面は通常、高精度の要件を満たすために細かく研磨されたモリブデンワイヤーを洗浄します。

モリブデンランタンワイヤーは、主に高温ストーブや航空宇宙分野で使用されています。例えば、単結晶シリコン成長炉では、モリブデンランタンワイヤーが発熱体および支持部材として使用され、1700°C 以上で変形することなく長時間運転できます。航空宇宙分野では、モリブデンランタンワイヤーは、高温ノズルや熱電対保護スリーブの製造に使用されています。近年、中国はモリブデンランタンワイヤーのドーピングプロセスを最適化し、酸化ランタン粒子の分布とサイズを制御することにより、モリブデンワイヤーの耐酸化性と機械的特性をさらに改善しました。モリブデンランタンワイヤーの製造コストは純粋なモリブデンワイヤーよりも高くなりますが、その優れた高温性能により、ハイエンドアプリケーションで競争上の優位性が得られます。

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、レニウム(Re)元素をモリブデンマトリックスにドーピングした合金モリブデンワイヤーであり、レニウム含有量は通常 3～41 重量%です。レニウムの添加は、モリブデンワイヤーの延性、靱性、耐食性を大幅に向上させ、同時に脆性転移温度を低下させるため、モリブデンレニウムワイヤーは低温でも良好な被削性を備えています。その引張強度は 2000 MPa 以上に達することができ、再結晶温度は 1800-2000°C と高く、高温酸化抵抗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います。モリブデンレニウムワイヤーの製造プロセスは複雑であり、レニウムの揮発を防ぐために、真空または不活性雰囲気中で焼結および引き伸ばす必要があります。

モリブデンレニウムワイヤーは、主に航空宇宙、医療、高温センサーの分野で使用されています。たとえば、航空宇宙エンジンでは、モリブデンレニウムワイヤーを使用して、高温耐性のノズルやタービンブレードコーティングに使用されています。医療分野では、モリブデンレニウムワイヤーは、その生体適合性と高い強度により、X線ターゲットや低侵襲手術器具に使用されています。International Journal of Materials Science は、モリブデン-

レニウムワイヤーの開発が超合金材料の進歩を促進したと報告していますが、その高コスト(レニウムは希少な貴金属です)により、大規模産業での応用が制限されています。中国企業は、合金比率を最適化することにより、より費用対効果の高い合金を備えた低レニウムモリブデン線(5~10 wt%)を開発し、医療および航空宇宙市場で広く使用されています。

2.1.4 その他の合金モリブデン線

モリブデンランタン線とモリブデンレニウム線に加えて、他の合金モリブデン線には、イットリウムモリブデン線(イットリウムモリブデン線)、シリコン-アルミニウム-カリウム-モリブデン合金線(Si-Al-K モリブデン線)などがあります。イットリウム-モリブデン線に酸化イットリウム(Y_2O_3 , 0.2-0.8 wt%)をドーピングして、モリブデン線の引張強度と耐酸化性を向上させ、高温炉や電子機器に適しています。シリコン-アルミニウム-カリウム-モリブデン合金ワイヤーは、主に電気光源業界で使用され、シリコン、アルミニウム、カリウム元素(総含有量<1 wt%)を添加して耐たるみ性と耐高温性を高め、ハロゲンランプや蛍光灯のサポートフィラメントに一般的に見られます。また、モリブデン・タングステン合金線(Mo-W)やモリブデン・チタン合金線(Mo-Ti)は、耐食化学装置や高温構造部品など、特定の分野でも使用されています。

これらの合金モリブデンワイヤーは、ドーピング元素の比率と分布を正確に制御することにより、性能を最適化するための特定のアプリケーションニーズに合わせて開発されました。例えば、イットリウム-モリブデン線は、モリブデンランタン線よりも粒度が優れており、極細モリブデン線(直径<0.05mm)の製造に適しています。他の合金のモリブデンワイヤーの生産は、通常、元素の偏析を避けるために焼結温度と描画プロセスの厳密な制御を必要とするドーピング技術と組み合わせた粉末冶金を採用しています。

2.2 用途による分類

モリブデン線は、電気光源、精密加工、高温用途、コーティング、電子機器、医療、航空宇宙用途など、幅広い用途で使用されています。用途に応じて、モリブデンワイヤーの組成、仕様、および表面処理の要件は異なります。以下は、さまざまな目的でのモリブデンワイヤーの特性とアプリケーションシナリオについて詳しく紹介します。

2.2.1 電灯用モリブデン線

電灯用モリブデン線は、主にハロゲンランプ、蛍光灯、白熱灯などの電球の製造に使用され、純粋なモリブデン線またはシリコン-アルミニウム-カリウム-モリブデン合金線が一般的に使用されています。その主な特徴は、ガラスの熱膨張係数(約 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$)を一致させて、高温シーリングの信頼性を確保することです。同時に、モリブデンワイヤーの高い融点と耐酸化性により、電球の動作温度(500~1000 $^{\circ}C$)での安定性が保証されます。典型的な仕様は直径 0.1~0.5mm で、表面は不純物汚染を減らすために主に洗浄されたモリブデンワイヤーです。

著作権および法的責任に関する声明

ハロゲンランプでは、モリブデン線がタングステン線のサポートとリード線として使用されます。蛍光灯では、モリブデン線は、蛍光体コーティングを外部回路に接続する電極リードアウトとして機能します。電気光源用のモリブデン線は、電球の寿命に影響を与える微量不純物を避けるために、厳格な表面研磨および洗浄プロセスを経る必要があります。近年、LED ランプの人気のに伴い、その高い導電性と耐食性により、LED ベースと電極接続へのモリブデンワイヤの適用が徐々に増加しています。

2.2.2 ワイヤ切断用モリブデンワイヤー

ワイヤーEDM 用モリブデンワイヤーは、ワイヤーEDM 工作機械のコア電極材料であり、主に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を使用し、通常は直径 0.1~0.3mm です。モリブデン線は引張強度が高く(800-1500MPa)、耐アーク侵食性に優れているため、高周波放電に耐えることができ、超硬合金、チタン合金、ステンレス鋼などの高硬度材料の切断に適しています。ワイヤーEDM 用のモリブデンワイヤーは、加工精度を確保するために、均一な直径公差と滑らかな表面を持つ必要があります。

報告によると、中国は世界最大のワイヤーカットモリブデンワイヤーの生産国であり、市場シェアの 70%以上を占めており、金型製造、航空宇宙部品、精密機械加工で広く使用されています。例えば、モリブデン線は、航空エンジン用タービンブレードのマイクロドリル加工で 0.01mm の精度を達成することができます。モリブデンランタンワイヤーは、強度と耐摩耗性が高いため、高速ワイヤー切断用の純粋なモリブデンワイヤーに徐々に取って代わっています。

2.2.3 スプレー用モリブデンワイヤー

溶射用モリブデン線は、溶射工程で使用され、熔融したモリブデン線をプラズマ溶射または火炎溶射により基板の表面に溶射し、耐摩耗性と耐腐食性のコーティングを形成します。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に使用され、直径は一般的に 1.0~3.2 mm で、表面は主に熔融しやすい黒色のモリブデンワイヤーです。モリブデンコーティングは、HV 800-1000 までの硬度で入手可能で、基板の耐摩耗性と寿命を大幅に向上させ、自動車のピストンリング、航空エンジン部品、工業用金型に広く使用されています。

スプレー用のモリブデンワイヤーは、コーティング品質を確保するために、高純度で均一な化学組成を持つ必要があります。モリブデン線の表面酸化層を溶射すると、溶射効率を向上させることができますが、コーティング欠陥を避けるために酸化度を制御する必要があります。近年、モリブデンランタンワイヤーは、融点が高く耐酸化性が高いため、高温溶射用途での需要が高まっています。

2.2.4 真空コーティング用モリブデン線

真空コーティング用のモリブデン線は、光学膜、装飾膜、機能膜を成膜するための物理蒸着(PVD)プロセスの蒸発源材料として使用されます。直径 0.1~0.5mm 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に使用されており、フィルムの品質を確保するためには高純度($\geq 99.99\%$)と低不純物含有量が必要です。モリブデン線を真空環境で $1500 \sim 2000^{\circ}\text{C}$ に加熱し、蒸発後、基板上に均一な膜を形成します。

用途には、光学レンズコーティング、太陽電池電極、半導体デバイスなどがあります。[Chinatungsten Online](http://www.chinatungsten.com) は、真空コーティング用のモリブデンワイヤーは、表面の欠陥と多孔性を減らすために、数回アニールして研磨する必要があると指摘しました。モリブデンランタンワイヤーは、再結晶温度が高いため、高出力コーティング装置に利点があります。

2.2.5 発熱体用モリブデン線

発熱体用のモリブデンワイヤーは、主に高温電気炉と真空炉で使用され、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に使用され、直径は $0.5 \sim 2.0\text{mm}$ です。その高い融点と低い蒸気圧は、単結晶成長炉、熱処理炉、焼結炉に適した 2000°C 以上の安定した動作を保証します。モリブデン線の導電性(約 $18\% \text{IACS}$)と低い熱膨張係数により、高温動的環境に最適です。

現在、発熱体中のモリブデンランタンワイヤーの割合は、その耐クリープ性がストーブの寿命を延ばすことができるため、年々増加しています。モリブデン線は、高温での酸化を防ぐために、不活性雰囲気または真空雰囲気を使用する必要があります。

2.2.6 高温炉部品用モリブデン線

高温炉部品用のモリブデンワイヤーは、直径 $0.3 \sim 1.5\text{mm}$ の炉支持体、リード線、シールド部品、一般的に使用される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の製造に使用されます。その高強度と高温耐性により、単結晶シリコン、サファイア、セラミック焼結炉に適しています。例えば、結晶成長炉のシードクランプラインとして使用されるモリブデン線は、直径や表面仕上げの精密な制御が必要です。

国際的なジャーナルは、その優れた耐食性と靱性のために、高温炉部品へのモリブデンレニウムワイヤーの適用が増加したと報告しています。生産では、高温破壊を避けるために、モリブデンワイヤーの粒径を厳密に制御する必要があります。

2.2.7 電子部品用モリブデン線

電子部品用のモリブデンワイヤーは、真空電子機器、熱電対、マイクロエレクトロニクス接続に使用され、直径 $0.05 \sim 0.5\text{mm}$ 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に使用されます。その高い導電性と低不純物含有量により、デバイスの信頼性が保証されます。たとえば、X線管では、モリブデン線がカソードリードとして機能します。熱電対では、高温測定にモリブデン線が使用されます。

電子部品用モリブデン線は、表面の不純物を除去するために超クリーンな洗浄プロセスを

著作権および法的責任に関する声明

経ています。チップ実装やセンサー製造用マイクロエレクトロニクスの分野では、極細モリブデン線($\phi < 0.05\text{mm}$)の需要が高まっています。

2.2.8 医療および航空宇宙用のモリブデン線

医療および航空宇宙用のモリブデンワイヤーは、その高い強度、生体適合性、耐食性のために、主にモリブデンレニウムワイヤーまたはモリブデンランタンワイヤーを使用します。径範囲は $0.1 \sim 1.0\text{mm}$ で、高純度で精密な加工が必要です。医療分野では、モリブデンワイヤーは X 線ターゲット、ガイドワイヤー、低侵襲手術器具に使用されています。航空宇宙分野では、モリブデンレニウムワイヤーは高温ノズル、スラスタ部品、衛星構造部品に使用されています。航空宇宙分野でのモリブデンレニウムワイヤーの用途は、 3000°C や強力な腐食性ガスなどの極端な環境での安定性により、急速に成長しています。医療用モリブデンワイヤーは、厳格な生体適合性試験を受けています。

2.3 表面状態による分類

モリブデンワイヤーの表面状態は、その性能と用途に重要な影響を及ぼし、表面処理方法に従ってブラックモリブデンワイヤーと洗浄されたモリブデンワイヤーに分けられます。

2.3.1 ブラックモリブデンワイヤー

ブラックモリブデンワイヤーは、苛性ソーダ洗浄や研磨されていないモリブデンワイヤーで、表面は黒灰色の酸化モリブデン(MoO_3)フィルムの層で覆われています。酸化物層の厚さは通常 $0.1 \sim 1\mu\text{m}$ であり、モリブデンワイヤーの潤滑性を高め、溶射および一部のワイヤー EDM アプリケーションに適しています。黒色モリブデン線は製造コストが低くなりますが、表面の不純物が多く、精密用途の性能に影響を与える可能性があります。

黒色モリブデンワイヤーは、溶射で酸化物層が容易に熔融するため、溶射効率を向上させます。ワイヤー切断では、酸化物層が電極の損失を低減します。黒色モリブデン線は、性能の変動を避けるために、酸化物層の均一性を厳密に制御する必要があります。

2.3.2 洗浄されたモリブデン線

クリーニングモリブデン線は、アルカリ洗浄や電解研磨により表面の酸化層を除去したモリブデン線で、銀白色で表面仕上げが高いのが特徴です。洗浄されたモリブデンワイヤーは純度が高く、電気光源、真空コーティング、電子部品など、表面品質要件が高いアプリケーションに適しています。苛性洗浄プロセスでは、通常、水酸化ナトリウム溶液を使用し、酸化層が除去された後に洗浄および乾燥して二次酸化を防ぎます。

洗浄されたモリブデンワイヤーは製造に費用がかかりますが、その優れた表面品質と不純物含有量の少なさにより、ハイエンドのアプリケーションで優位に立っています。例えば、半導体コーティングでは、モリブデン線を洗浄することで、膜中の不純物欠陥を低減します。

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

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

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

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

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

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

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

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

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

2.4 加工方法による分類

モリブデンワイヤーの加工方法は、その微細構造と特性に影響を与え、延伸プロセスとその後の処理に応じて、熱間引拔モリブデンワイヤー、冷間引拔モリブデンワイヤー、精密モリブデンワイヤーに分けられます。

2.4.1 熱間引拔モリブデン線

熱間引拔モリブデン線は、高温(800-1200°C)でのマルチパス伸線でできており、粗粒構造と引張強度は 700-1000MPa で、粗いモリブデン線(直径>1.0mm)の製造に適しています。熱間伸線プロセスは、延伸抵抗を減らし、金型の摩耗を減らすことができますが、表面品質は悪く、それらのほとんどは黒色のモリブデン線です。

熱間引拔モリブデンワイヤーは、低コストで大口径加工に適しているため、高温炉部品やスプレー用途で一般的に使用されています。Chinatungsten オンラインは、加熱温度は、特大の穀物を避けるために、ホットドロ잉プロセスで正確に制御する必要があると報告しました。

2.4.2 冷間引拔モリブデン線

冷間引拔モリブデン線は、室温または低温(<300°C)で引き抜かれ、粒子が微細化され、引張強度は 1200~1800MPa に達することができ、直径 0.05~1.0mm のモリブデン線に適しています。表面の傷を減らすために高性能潤滑剤と精密工具の使用を必要とする冷間引拔プロセスは、ワイヤーEDM や電子部品で一般的に使用されています。

冷間引拔モリブデン線の表面仕上げと寸法精度は、熱間引拔モリブデン線よりも高く、高精度加工に適しています。国際的なジャーナルは、冷間引拔プロセスがアニールの複数のパスを通じてモリブデンワイヤーの靱性を最適化できることを指摘しています。

2.4.3 精密モリブデン線

精密モリブデンワイヤーは、複数の冷間引拔および焼鈍プロセスを経て製造され、直径公差と表面粗さが適切に制御されているため、マイクロエレクトロニクス、医療、真空コーティングに適しています。精密モリブデン線の引張強度は 2000MPa 以上に達する可能性があり、高精度の伸線機とオンライン試験装置が必要です。

公開情報によると、中国企業は精密モリブデン線の描画技術でブレークスルーを遂げ、超極細精密モリブデン線(直径<0.02mm)はチップ製造やバイオセンサーに使用されています。

2.5 仕様による分類

モリブデン ワイヤーの指定は主に直径によって区別され、異なった直径のモリブデン ワイヤーの性能、工程および適用分野に大きな違いがあります。モリブデン線は、直径により超極細モリブデン線(直径<0.05mm)、標準細モリブデン線(0.05~0.3mm)、中質粗モリブデン線(0.3~1.0mm)、粗モリブデン線(直径 1.0mm)>分けられます。これらの仕様は、精密

機械加工、高温アプリケーション、およびヘビーデューティ環境におけるモリブデンワイヤの多様なニーズを反映しています。

2.5.1 極細モリブデン線(直径<0.05mm)

極細モリブデン線とは、直径が 0.05mm 未満で、通常は 0.01~0.05mm の範囲のモリブデン線を指し、モリブデン線の仕様の中で最も精度が高く、製造が難しいタイプです。極細モリブデン線の引張強度は、ナノメートルの粒径と冷間引拔法と複数回の焼鈍による結晶粒微細化により、通常の金属線よりもはるかに高い 2000~3500MPa と非常に高くなっています。表面粗さが非常に低く、直径公差が $\pm 0.001\text{mm}$ であるため、高精度のアプリケーションに対する信頼性が確保されています。極細モリブデン線の電気伝導率(約 20%IACS)と熱伝導率(約 $130\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)は、粗いモリブデン線に比べてやや劣りますが、その高い強度と優れた延性(最大 8~12%の伸び)は、小型化・高精度の分野で独自の優位性を発揮しています。

生産プロセス

極細モリブデン線の製造プロセスは非常に複雑で、高精度の冷間引拔技術と多段アニールプロセスが必要です。まず、高純度のモリブデンブランク(純度 $\geq 99.95\%$)から始めて、粉末冶金でファインブランクを調製し、次にダイヤモンドダイを使用して低温($<300^\circ\text{C}$)でマルチパス絞りをを行い、寸法精度を確保します。延伸工程では、表面の傷を減らすために高機能潤滑剤(グラファイトエマルジョンなど)を使用し、延伸パスのたびに中間焼鈍($500\sim 800^\circ\text{C}$ 、不活性雰囲気)を行い、応力を緩和し、延性を回復します。さらに、微量の不純物や表面欠陥を除去するための超極細モリブデンワイヤーの製造には、表面研磨と超音波洗浄などの超清浄洗浄プロセスが必要です。

アプリケーション・シナリオ

超極細モリブデンワイヤーは、主にマイクロエレクトロニクス、医療機器、精密ワイヤー切断の分野で使用されています。マイクロエレクトロニクス業界では、チップパッケージの接続ワイヤやミニチュアセンサのワイヤに超極細モリブデンワイヤーが使用されており、その高強度で非磁性(透磁率 ≈ 1)により、電磁環境下でのデバイスの安定性を確保しています。例えば、直径 0.02mm のモリブデン線は、ナノメートル精度の半導体チップのワイヤボンディングに用いることができます。医療分野では、超極細モリブデン線は低侵襲手術用ガイドワイヤーや X 線ターゲットの製造に使用されており、その生体適合性と高強度により、生体内移植や高精度なイメージングデバイスに適しています。International Journal of Refractory Metals and Hard Materials によると、超極細モリブデンランタンワイヤーは、再結晶温度が高い(約 1800°C)ため、高温ミニチュアセンサーで優れた性能を発揮します。ワイヤー放電加工では、極細モリブデンワイヤーを使用して、ミクロンサイズの金型や複雑な形状を $\pm 0.5\mu\text{m}$ の切断精度で加工します。

著作権および法的責任に関する声明

2.5.2 標準細モリブデン線 (0.05–0.3 mm)

標準的な細いモリブデン ワイヤーに直径の範囲が 0.05–0.3 mm あり、モリブデン ワイヤー塗布の最も一般的な指定でありワイヤー切断、電気光源および電子部品の製造で広く利用されています。標準的な細いモリブデンワイヤーは、高強度と適度な被削性を兼ね備えており、大規模な工業生産に適しています。純粋なモリブデン ワイヤーおよびモリブデン ランタン ワイヤーはこの指定の主要なタイプであり、モリブデン ランタン ワイヤーはより高い再結晶の温度 (1500–1800°C) による高温適用で有利です。

生産プロセス

標準的な細いモリブデンワイヤーは、モリブデンブランクから始めて、複数回のパス(通常は 10–15 パス)で直径を徐々に縮小する冷間引抜プロセスを使用して製造されます。伸線機には超硬またはダイヤモンドダイが装備されており、潤滑剤は摩擦を減らすための油性または水性のソリューションです。加工硬化をなくするために中間焼鈍(600–900°C、アルゴン保護)を行い、強度と靱性のバランスをとるために焼鈍の時間や温度を精密に制御する必要があります。表面処理としては、洗浄したモリブデン線をアルカリ洗浄(水酸化ナトリウム溶液、80–100°C)して酸化膜を除去し、黒色モリブデン線は薄い酸化膜を保持して潤滑性を高めています。

アプリケーション・シナリオ

標準的な細いモリブデン ワイヤーはワイヤーEDM のための主力材料であり、型の作成、大気および宇宙航空部品および精密機械化で広く利用されています。例えば、直径 0.18mm のモリブデン線は、高速電線放電加工機で $\pm 3\mu\text{m}$ の加工精度を達成し、超硬合金やチタン合金の切断に適しています。電灯の分野では、ハロゲンランプや蛍光灯の支持線やリード線として、標準的な細いモリブデン線(0.1–0.2mm 径)が使われており、熱膨張係数が $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と低いため、ガラスとの密封性を確保しています。電子部品では、熱電対リード線と真空電子機器間のカソード接続に標準の細いモリブデン線が使用されており、高導電率(約 20% IACS)と低不純物の要件を満たしています。

2.5.3 中粒モリブデン線(直径 0.3–1.0mm)

中粗モリブデン線は、直径 0.3–1.0 mm の範囲で入手可能で、高強度と中程度の加工困難性を兼ね備えており、引張強度は 800–1500 MPa、伸びは 3–8%です。このグレードのモリブデンワイヤーは、高温炉部品、発熱体、真空コーティングなど、高い剛性と耐久性が求められる用途に適しています。中・粗モリブデン線の熱伝導率(約 135W/(m · K))と高温安定性(2000°C 耐え可能)により高温環境に優れており、モリブデンランタン線とモリブデ

著作権および法的責任に関する声明

ンレニウム線は本仕様で広く使用されています。

生産プロセス

中粗モリブデンワイヤーの製造は、熱間引抜プロセスと冷間引抜プロセスを組み合わせたものです。初期ブランクを熱間引抜(800～1200℃)により径を 1.5～2.0mm に縮小し、さらに冷間引抜により目標サイズに加工します。熱間引抜プロセスは金型の摩耗を減らし、大量生産に適しています。冷間引抜プロセスにより、寸法精度と表面品質が向上します。アニーリングプロセス(700～1000℃、不活性雰囲気)を使用して、結晶粒構造を最適化し、靱性を高めます。表面処理には、洗浄されたモリブデンワイヤーの高い仕上げを確保するための苛性洗浄または電解研磨が含まれます。

アプリケーション・シナリオ

中粗モリブデンワイヤーは、高温炉部品や発熱体に広く使用されています。単結晶シリコン成長炉では、直径 0.5mm のモリブデンランタンワイヤーをシードクランプラインおよび支持部材として使用し、1700℃ で長時間運転できます。真空成膜では、中粗モリブデン線(直径 0.4～0.8mm)が蒸発源となり、光学膜や半導体膜を蒸着する役割を担っており、その高純度(≥99.99%)により膜品質を確保しています。電子機器の分野では、X 線管のカソードリード線や熱電対保護スリーブに中モリブデン線と粗モリブデン線が使用されており、高温および真空環境の要件を満たしています。

2.5.4 粗いモリブデン線(直径> 1.0 mm)

定義と特性粗いモリブデン ワイヤの直径は 1.0 mm より大きく、通常は 1.0 ～ 3.2 mm の範囲であり、モリブデン ワイヤの中で最も剛性が高く、処理が最も困難です。粗いモリブデンワイヤーは、主に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であり、溶射や高温炉支持部材などのヘビーデューティーで高温の用途に適しています。その高い温度安定性(最大 2000℃)と適度な熱伝導率(約 130W/(m·K))により、産業用途で広く使用されています。

生産プロセス

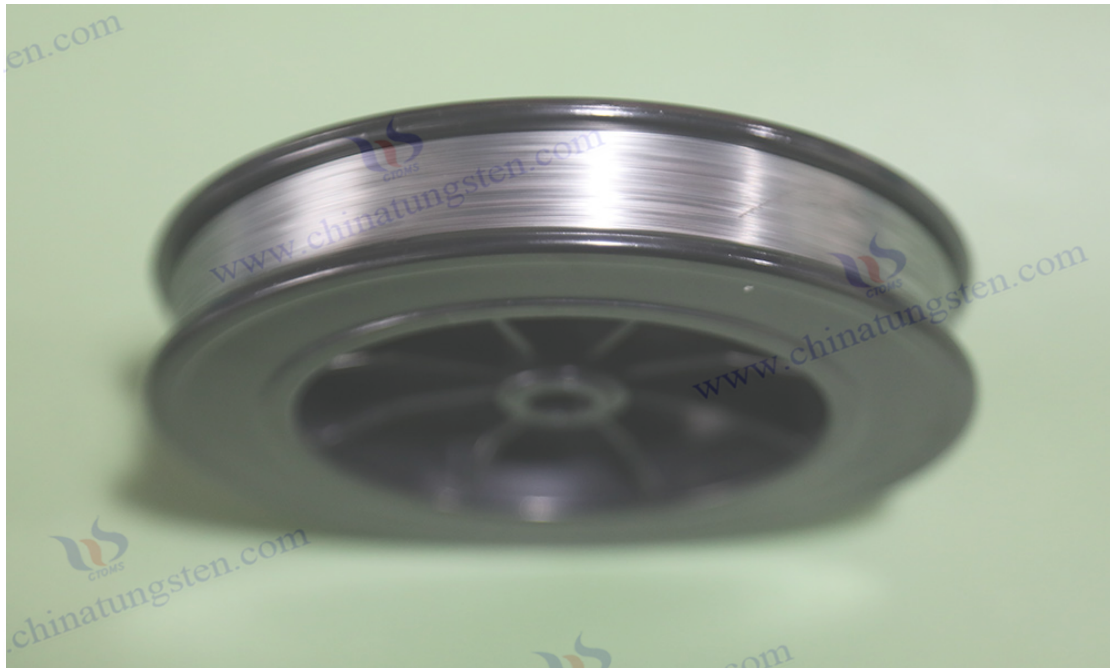
粗いモリブデンワイヤーは、主に熱間伸線プロセスによって製造され、モリブデンブランク(直径 5～10 mm)から始まり、高温(1000～1200℃)で大径ダイを介して最大 20～30%のシングルパス直径の縮小で引き抜かれます。熱間伸線プロセスは、加工の難しさを軽減し、金型のコストを削減しますが、表面品質は悪く、それらのほとんどは黒いモリブデンワイヤーです。一部の粗いモリブデン ワイヤは、特定のアプリケーションのニーズを満たすために洗浄されたモリブデン ワイヤを作成するために、冷間引抜および研磨する必要があります。アニーリングプロセス(800～1100℃、アルゴン保護)は、残留応力を排除し、機

著作権および法的責任に関する声明

械的特性を最適化するために使用されます。

アプリケーション・シナリオ

粗いモリブデンワイヤーは、主に溶射や高温炉部品に使用されます。溶射では、直径 1.6〜3.2mm の粗いモリブデン線をプラズマ溶射して耐摩耗性コーティングを形成し、自動車のピストンリング、航空エンジンブレード、工業用金型の表面を強化します。高温炉では、1800°C で安定して運転できるサファイア成長炉の固定具など、支持部材やリード線として粗いモリブデン線(直径 1.0〜2.0mm)が使用されています。



CTIA GROUP LTD クリーンモリブデンワイヤー

第3章 モリブデン線の特徴

3.1 モリブデン線の物性

モリブデンワイヤーの物理的特性は、融点、密度、熱膨張係数、電気伝導率、熱伝導率、硬度などの主要なパラメータをカバーし、高温、精密機械加工、電子機器における幅広いアプリケーションの基礎となっています。これらの特性は、モリブデンの体心立方体(BCC)結晶構造とドーピング元素の調節によって決定され、極限環境でモリブデンワイヤーに優れた性能を与えます。以下は、モリブデンワイヤーの物理的特性について、その微視的メカニズム、測定方法、アプリケーションへの影響など、詳細な分析です。

3.1.1 モリブデン線の融点と沸点

融点が2623°C(2896K)のモリブデンワイヤーは、タングステン(3422°C)、レニウム(3186°C)、オスミウム(3033°C)に次いで、すべての金属の中で最も高い金属にランクされています。この高い融点は、モリブデン原子間の強い金属結合と、体心立方構造の安定性によるもの

著作権および法的責任に関する声明

であり、これにより、モリブデンワイヤは、単結晶シリコン成長炉で 1700~2000°C などの非常に高温の環境で溶融することなく、その構造的完全性を維持できます。4639°C(4912K)という高い沸点は、非常に低い蒸気圧(2000°C で約 10^{-7} Pa)に対応し、真空コーティングや高温炉用途でのモリブデンワイヤーの材料損失を最小限に抑えます。純粋なモリブデン ワイヤーは、ドーパされたモリブデン ランタン ワイヤーとモリブデン レニウム ワイヤーが再結晶温度 (それぞれ 1800 °C と 2000°C まで) を上げることで、高温性能をさらに向上させながら、2000°C で機械的強度を維持できます。融点は通常、高温示差走査熱量測定(DSC)または光学式高温計を使用して、 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の精度で測定されます。 沸点測定では、真空環境で熱重量分析装置(TGA)を使用して質量損失を監視する必要があります。実用化では、モリブデンワイヤーの高融点により、モリブデンワイヤーが変形することなく 1800°C の循環加熱に耐えることができるサファイア結晶成長炉などの高温炉の発熱体に理想的な材料になります。しかし、モリブデンフィラメントは高温で酸素と反応して揮発性酸化物(MoO_3)を形成する傾向があるため、その性能を保護するためには、真空($<10^{\circ}\text{C}$)または不活性雰囲気(アルゴン、ヘリウムなど)で動作させる必要があります。レニウムの添加により、モリブデンレニウムワイヤーは融点を 2650°C にわずかに増加させると同時に、航空宇宙の高温コンポーネントに適した高温蒸発速度を低下させることができます。

3.1.2 モリブデン線の密度

密度が 10.28 g/cm^3 (20°C)のモリブデン線は、鉄(7.87 g/cm^3)とタングステン(19.25 g/cm^3)の間にあり、軽量で高強度です。密度は温度とともにわずかに減少し、1000°C で 10.15 g/cm^3 になり、変化は約 1.3%にとどまり、モリブデンワイヤの優れた熱安定性を反映しています。この低密度により、モリブデンワイヤは、衛星構造部品などの航空宇宙および電子機器において重量上の利点が得られ、十分な剛性を提供しながら全体の質量を減少させます。

密度測定は、アルキメデス排水法または X 線密度計によって $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ の精度で行われます。モリブデン線の密度は、その伸線プロセスに重要な影響を及ぼします:密度が低いと、伸線プロセス中のダイス摩耗が減少し、超極細モリブデン線(直径 $<0.05\text{mm}$)の製造が容易になります。電灯の分野では、モリブデン線の密度により、電球支持線として使用する際に十分な剛性を確保し、過度の重量による構造設計の複雑化を回避します。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の密度は、ドーピング元素の影響によりわずかに変動します($10.3\sim 10.5 \text{ g/cm}^3$)が、軽量特性を維持し、高温および動的負荷環境に適しています。

3.1.3 モリブデン線の熱膨張係数

モリブデン線の熱膨張係数は $4.8\sim 5.2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20~1000°C)で、ガラス($4\sim 6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)やセラミック($3\sim 7\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)と高い適合性を持っています。電気光源や真空装置のシール材として最適です。たとえば、ハロゲンランプや X 線管では、モリブデン線がリード線として機能

著作権および法的責任に関する声明

し、ガラスシールへの信頼性の高い接続を形成し、熱サイクル中の亀裂を防ぎます。熱膨張係数は、膨張計またはレーザー干渉計を使用して、 $\pm 0.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の精度で測定されます。

熱膨張係数が低いため、高温サイクルでのモリブデンワイヤの高い寸法安定性が保証され、熱応力による変形が低減されます。高温炉用途では、モリブデンワイヤの熱膨張係数が低いため、急激な温度上昇(最大 $50^{\circ}\text{C}/\text{分}$)に大きく変形することなく耐えることができます。モリブデンランタンワイヤは、高精度の高温部品に適した酸化ランタン粒子のピン留め効果により、熱膨張係数を $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ に最適化できます。モリブデンレニウムワイヤは、熱膨張係数がわずかに高い($5.0 \sim 5.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)ですが、その優れた靱性がこの違いを補うため、ダイナミックな航空宇宙環境での使用に適しています。

3.1.4 モリブデン線の導電率

モリブデン線の導電率は $18 \sim 20\% \text{IACS}$ (アニール銅の国際規格、 $100\% \text{IACS}$ は純銅の導電率)で、抵抗率は $5.2 \sim 5.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}(20^{\circ}\text{C})$ に相当します。銅($100\% \text{IACS}$)や銀($105\% \text{IACS}$)と比べると導電率は低いものの、モリブデン線は高温での導電率に優れており、抵抗率は 1000°C で約 $20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ までしか増加せず、銅(約 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)よりも低くなっています。導電率は、4 プローブ法を使用して $\pm 0.1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ の精度で測定されました。モリブデン線の高温伝導安定性は、ワイヤカットワイヤ EDM(WEDM)や高温電気炉に優れており、大きな熱損傷なしに高周波パルス電流($10 \sim 100 \text{kHz}$)に耐えることができます。

モリブデンランタンワイヤは、熱電対リード線やマイクロエレクトロニクスワイヤなどの高精度電子部品の結晶粒微細化 IACS により、導電率を最大 22% 向上させることができます。洗浄されたモリブデン線は、表面の酸化皮膜が除去され、黒色モリブデン線よりも接触抵抗が小さい(約 10% 削減)ため、電気光源や真空装置に有利です。インライン切断では、モリブデンワイヤの導電性により、最大 $10 \sim 15 \text{ mm}^2/\text{分}$ の切断速度で効率的なアーク放電が保証されます。モリブデンレニウムワイヤの導電率は、純粋なモリブデンワイヤ(約 $16 \sim 18\% \text{IACS}$)よりもわずかに低いですが、その高温安定性により、航空宇宙電気コネクタに広く使用されています。

3.1.5 モリブデン線の熱伝導率

モリブデン線の熱伝導率は $138 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})(20^{\circ}\text{C})$ で、金属の中では銅($401 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)、銀($429 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)に次ぐ最高水準です。 1000°C では熱伝導率が約 $100 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ に低下しますが、それでも効果的に熱を伝導できるため、高温炉や真空コーティング装置に適してい

著作権および法的責任に関する声明

ます。熱伝導率は、レーザーフラッシュ法を使用して $\pm 5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ の精度で測定されます。モリブデンフィラメントの高い熱伝導率は、高電力アプリケーションでの迅速な熱放散を可能にし、モリブデンフィラメントがフィラメントの熱を外部に伝導してランプの寿命を延ばす電灯などの局所的な過熱による性能低下を低減します(最大 2000 時間以上)。

ワイヤー切断では、モリブデンワイヤーの高い熱伝導率により、高アーク温度($>6000^{\circ}\text{C}$)でのワイヤーの損傷が減少し、耐用年数(最大 100 時間以上)が延長されます。モリブデンランタンワイヤーの熱伝導率は純粋なモリブデンワイヤーの熱伝導率に近いですが、モリブデンレニウムワイヤーは、レニウム含有量を最大 $150 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ まで最適化することにより、ノズルなどの航空宇宙高温コンポーネントで優れた性能を発揮します。表面状態は熱伝導率にほとんど影響しませんが、洗浄されたモリブデン線の熱伝導効率は、表面仕上げが高いため、黒色モリブデン線よりもわずかに優れています(約 5%増加)。

3.1.6 モリブデン線のモース硬度

モリブデン ワイヤーに鋼鉄(5–6.5)に近いモース硬度の 5.5–6.0、200–250 のビッカース硬度(HV)、および 300–350 HV までの冷間引抜されたモリブデン ワイヤーがあります。硬度は、ビッカース硬さ試験機を使用して、5–10 kg の荷重と $\pm 5 \text{ HV}$ の精度で測定されました。モリブデン線の硬度により、伸線や加工時の摩耗に強く、脆性を回避するのに十分な靱性が維持されます。モリブデンランタンワイヤーは、酸化ランタンをドーピングして硬度を最大 350–400 HV まで、モリブデンレニウムワイヤーを最大 400 HV まで増加させるため、高耐摩耗性のアプリケーションに適しています。

ワイヤー放電加工では、モリブデンワイヤーの硬度により、アーク侵食による摩耗が減少し、摩耗率は 0.01 mm/h 未満です。溶射では、適切な硬度により、モリブデンワイヤーが溶融する前に構造的に損傷を受けないことが保証され、最大 HV800–1000 のコーティング硬度が得られます。硬度は粒径と密接に関係しており、超極細モリブデン線($<0.05 \text{ mm}$ 径)はナノスケールの粒径(10-50nm)で高硬度化を実現し、マイクロエレクトロニクスや医療分野のニーズに応えています。

3.2 モリブデン線の化学的性質

モリブデンワイヤーの化学的性質は、化学的安定性、耐食性、酸化特性、化学反応挙動など、腐食性環境や高温条件下での安定性を決定します。これらの特性は、モリブデンの電子構造と表面特性に由来し、化学、医療、および高温環境で独自の利点をもたらします。

3.2.1 モリブデン線の化学的安定性

モリブデンワイヤーは、室温で優れた化学的安定性を示し、非酸化性酸(塩酸、硫酸、リン酸など)、塩基(水酸化ナトリウム溶液など)、有機溶媒(エタノール、アセトンなど)に対して不活性です。 10°C で塩酸 10%または水酸化ナトリウム 5%の溶液中で、モリブデンワイヤーの腐食速度は 0.001 mm/年 未満で、質量損失はほとんどありません。この安定性によ

著作権および法的責任に関する声明

り、化学反応器、電気化学センサー、医療機器での使用に適しています。例えば、電気化学センサーでは、モリブデンワイヤーは pH 2～12 の溶液中で劣化することなく長期間動作させるための電極として機能します。

その化学的安定性は浸漬試験と電気化学的腐食試験により確認され、ポテンショスタットで測定した腐食電位(E_{corr})は約-0.2V(標準的な水素電極と比較して)でした。高温(>400°C)では、モリブデンワイヤーの化学的安定性が低下し、酸素、窒素、ハロゲンと反応しやすく、性能を維持するためには真空または不活性雰囲気(アルゴン、窒素など)で操作する必要があります。モリブデンランタンワイヤーは、表面の不動態化によって保護層を形成し、その化学的安定性は純粋なモリブデンワイヤーよりもわずかに優れています。

3.2.2 モリブデン線の耐食性

モリブデン線は、非酸化性酸(塩酸 10%、リン酸 20%)、中性塩溶液(塩化ナトリウム 3.5% など)に対する耐食性に優れており、腐食速度は 0.01mm/年未満で、316L ステンレス鋼(約 0.05mm/年)よりも優れています。海水環境では、モリブデンワイヤーの孔食抵抗は通常の鋼よりも優れており、海洋工学や化学機器に適しています。レニウム(5～41 wt%)を添加することにより、モリブデンレニウム線材がさらに強化され、硫酸または希硝酸を含む環境での腐食速度は 0.005 mm/年未満であり、高温化学反応器に適しています。

モリブデン ワイヤーは強い酸化性の酸(のような濃硝酸、熱い硫酸)に敏感で、腐食速度は 60°C で集中した硝酸で 0.1 mm/h に達することができます。耐食性は塩水噴霧試験と電気化学インピーダンス分光法(EIS)によって試験され、モリブデンランタンワイヤのインピーダンス値は純粋なモリブデンワイヤのインピーダンス値(約 $10^{\circ}\Omega \cdot$)よりも高かった。 cm^2)、表面の不動態化層がより密集していることを示しています。モリブデンシリサイドやジルコニアなどの表面コーティングは、腐食速度をさらに低減し、耐用年数を延ばすことができます。

3.2.3 モリブデン線の酸化特性

モリブデンフィラメントは、高温酸化雰囲気中で酸化して揮発性三酸化モリブデン(MoO_3)を生成しやすく、初期酸化温度は約 400°C で、酸化速度は 600°C を超えると大幅に増加します。800°C の空気中では、モリブデン線の表面に黄色の酸化物層が急速に形成され、質量損失率は $0.1 \text{ mg} / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$ に達する可能性があります。酸化挙動は、熱重量分析装置(TGA)を使用して、さまざまな温度と雰囲気中で $\pm 0.01 \text{ mg}$ の精度で測定されました。モリブデンワイヤーは、真空($<10^{-6} \text{ Pa}$)または不活性雰囲気(アルゴン、ヘリウム、酸素含有量 $<10 \text{ ppm}$ など)での酸化を防ぎ、2000°C で数千時間動作しても大きな質量損失はありません。

モリブデンランタンワイヤーは、酸化ランタン粒子のピン留め効果により初期酸化温度を

600～700℃に上昇させ、モリブデンレニウムワイヤーは800℃に達することができます。

厚さ 5～10μm の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、酸化速度を 0.01 mg /cm²·h(空气中 1000℃)に低減し、高温寿命を大幅に延ばすことができます。高温炉の用途では、酸化を防ぐために、真空ポンプまたは不活性ガス保護システムを備えたモリブデンワイヤーが必要です。

3.2.4 モリブデン線の原子価と化学反応

モリブデンは、+2、+3、+4、+6 の原子価を持つ多価金属で、化学反応の多様性を示します。室温では、モリブデンワイヤーは酸素、窒素、水、または一般的な有機溶媒と反応せず、表面に薄いパッシベーション層(厚さ約 1～2 nm)が形成されて、さらなる反応を阻害します。高温(>700℃)では、モリブデン線は酸素と反応して MoO₃(MoO₃)、窒素と反応して窒化モリブデン(Mo₂N)、塩素と反応して塩化モリブデン(MoCl₅)を形成します。これらの反応生成物の揮発性は材料の損失につながる可能性があるため、大気制御(アルゴン保護など)によって回避する必要があります。

高アルカリ性の高温溶液(例えば、熔融水酸化ナトリウム、>500℃)中では、モリブデン線が約 0.05mm/h の溶解速度で溶解してモリブデン(Na₂MoO₄など)を生成します。その化学反応の挙動を X 線光電子分光法(XPS)と赤外分光法(FTIR)で解析し、表面化合物の組成を確認しました。レニウムの化学的不活性により、モリブデンレニウムワイヤーはハロゲンや高温酸に対してより耐性があり、腐食速度は 1000℃ の塩素環境で 0.01mm/h 未満であり、極端な化学環境に適しています。

3.3 モリブデン線の機械的性質

引張強度、延性、韌性、疲労特性など、モリブデンワイヤーの機械的特性は、加工と応用における性能に直接影響します。これらの特性は、ドーピング、伸線プロセス、熱処理を通じて最適化され、さまざまなアプリケーションのニーズを満たすことができます。

3.3.1 モリブデン線の引張強度

モリブデン線の引張強度は、組成や加工工程によって異なります。純粋なモリブデン線の引張強度は 800～1200 MPa で、冷間引拔プロセスで 1500～1800 MPa まで増やすことができます。酸化ランタンドーピング(0.3～1.0wt%)によりモリブデンランタン線材の引張強度は 1500～2000MPa まで向上し、モリブデンレニウム線材(レニウム含有量 5～41wt%)は 2000～3000MPa まで、超極細モリブデン線材(直径<0.05mm)はナノ結晶粒により 3500MPa まで微細化することができます。引張強度は、0.5mm/min の負荷速度と±1MPa の精度を持つ万能引張試験機を使用して測定されます。

著作権および法的責任に関する声明

温度上昇とともに引張強度が低下し、1000°C では純モリブデン線の強度が約 500MPa に低下し、モリブデンランタン線とモリブデンレニウム線材はそれぞれ 1000MPa と 1500MPa に残ります。ワイヤー放電加工では、高い引張強度(張力 10~20N)により、モリブデンワイヤーが断線せず、切断精度が $\pm 3\mu\text{m}$ に達します。超極細モリブデン線の高強度により、マイクロエレクトロニクス接続線や医療用ガイド線に優れており、変形することなく複雑な応力に耐えることができます。

3.3.2 モリブデン線の延性

モリブデン線の延性は伸びで表され、純粋なモリブデン線の伸びは 2~5%で、冷間引拔後に 8~10%に増やすことができます。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、10~15%の伸びで粒子の微細化とドーピングによって強化され、複雑な形状の加工に適しています。延性は、破壊前の伸び率を $\pm 0.1\%$ の精度で記録した引張試験を使用して測定されました。高温($>500^\circ\text{C}$)では、モリブデンワイヤーの延性が大幅に向上し、伸びは 15~20%で、熱処理に便利です。

延性の高いモリブデンワイヤーは、例えば、電気光源では、モリブデンワイヤーをサポートワイヤーとして複雑な形状に曲げる必要があるなど、複数の曲げや伸びに耐えることができます。高温炉では、リード線であるモリブデン線は、熱膨張による変形に適応する必要があります。モリブデンレニウムワイヤーは、低温延性に優れており、 -50°C でも脆性なく加工できるため、航空宇宙の低温環境に適しています。

3.3.3 モリブデン線の靱性

モリブデン ワイヤーの靱性は衝撃エネルギーを吸収する能力を反映し、純粋なモリブデン ワイヤーの破壊靱性 (K_{IC}) は $10\text{--}15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 、ボディ中心の立方体構造は低温で脆性変態を起こしやすいためです。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、ドーピングと結晶粒微細化により破壊靱性を $20\text{--}30 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ に増加させ、脆性のリスクを大幅に低減します。靱性は、3 点曲げ試験またはシャルレ衝撃試験を使用して、 $\pm 1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ の精度で測定されました。

高弾性モリブデンワイヤーは、ワイヤー切断時の高周波振動(10~100Hz)や高温炉($50^\circ\text{C}/\text{分}$)での熱サイクルなどの動的負荷環境に適しています。超極細モリブデンワイヤーは、多段アニーリングにより靱性を最適化し、低侵襲手術用ガイドワイヤーの柔軟性要件を満たします。モリブデンレニウムワイヤーの靱性は、低温(-50°C)および高温(2000°C)で純粋なモリブデンワイヤーよりも優れており、航空宇宙の動的コンポーネントに適しています。

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

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

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

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

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

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

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

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

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

3.3.4 モリブデン線の疲労特性

モリブデンワイヤーの疲労特性は、繰り返し応力下での耐久性を指し、純粋なモリブデンワイヤーの疲労限界は 400〜600MPa(10°サイクル)です。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、結晶粒の微細化とドーピングにより 800〜1000MPa の疲労限界まで強化されています。疲労性能は、周波数 50Hz、精度±10MPa の回転曲げ疲労試験により測定しました。ワイヤー切断では、モリブデンワイヤーに高周波テンションサイクル(10〜20N)を施し、クリーニングされたモリブデンワイヤーは、表面仕上げが高い(Ra<0.2μm)ため、黒色モリブデンワイヤーよりも約 20 疲労寿命が長くなります。

疲労特性は、高温部品やワイヤ放電加工にとって重要です。高温炉のモリブデンランタンワイヤーの熱サイクル寿命は 5000 倍以上に達することができ、航空宇宙ノズルのモリブデンレニウムワイヤーの疲労寿命は 10°C に達することができます。絞りダイの最適化(表面粗さ Ra<0.05μm)とアニールプロセス(700〜900°C、アルゴン保護)により、疲労特性がさらに向上し、表面の微小亀裂が減少します。

3.4 モリブデン線の特殊性

モリブデン ワイヤーの特別な特性は高温性能、耐久性および非磁性を含んで、高温、摩擦学、および電磁的に敏感な環境のニーズを満たすために特定の分野で独自に有利になります。

3.4.1 モリブデン線の高温性能

モリブデン ワイヤーの高温性能は 2000°C で構造の完全性を保障する純粋なモリブデンワイヤー最も顕著な特徴であり、引張強さは約 500 MPa です。モリブデンランタンワイヤーの再結晶温度は最大 1800°C、モリブデンワイヤーとレニウムワイヤーの再結晶温度は最大 2000°C で、ドーピングによる結晶粒成長を抑制し、耐クリープ性を 50%以上向上させます。高温性能試験は、高温引張試験とクリープ試験を採用し、温度制御精度は±5°C です。単結晶シリコン成長炉では、モリブデンランタン線を発熱体として 1700°C で数千時間運転でき、変形率は 0.1%未満です。

モリブデンレニウム線は、2500°C で宇宙エンジンのノズル内で優れた耐熱衝撃性を示し、1000 回の熱サイクル(昇温速度 100°C/s)にクラックなく耐えます。高温性能は大気の影響を受けるため、酸化を防ぐために真空(<10⁻⁸ Pa)または不活性ガス(酸素含有量<10ppm)で運転する必要があります。厚さ 5〜10μm のジルコニアなどの表面コーティングは、高温寿命を 5000 時間以上に延長します。

3.4.2 モリブデン線の耐摩耗性

モリブデン ワイヤの耐久性は硬度および表面質に関連しており、200–400 HV のビッカース硬度のモリブデン ワイヤは 0.01 mm/h の下の摩耗率のワイヤEDM のアーク腐食に抵抗します。モリブデンランタンワイヤとモリブデンレニウムワイヤは、穀物の微細化により硬度を 350–400HV に増加させ、耐摩耗性を 30%向上させます。耐摩耗性は、超硬ペアと 10N の荷重を備えた摩擦摩耗試験機を使用して試験されます。溶射では、モリブデン線に硬度 HV800–1000、摩擦係数 0.3 未満のコーティングを形成することで、自動車のピストンリングなどの基材の耐摩耗性が大幅に向上します。

洗浄されたモリブデンワイヤは、その高い表面仕上げ($Ra < 0.1\mu m$)と耐摩耗性により、高周波振動環境に適しています。超微細モリブデンフィラメントは、ナノ結晶粒子(10–50 nm)でさらに強化され、マイクロエレクトロニクスや医療用ガイドワイヤのニーズを満たすことができます。絞りプロセス(ダイヤモンドダイスなど)と表面研磨の最適化により、摩耗率を 0.005 mm/h に低減します。

3.4.3 モリブデン線の非磁性特性

モリブデン線は、比透磁率が 1(真空と同じ)に近い非磁性材料で、磁場で磁化せず、核磁気共鳴(MRI)装置や航空宇宙航法システムなどの電磁的に敏感な環境に適しています。非磁性体は、磁化が $< 10^{-6}$ emu/g の振動サンプル磁力計(VSM)を使用して測定されます。モリブデンワイヤの非磁性性は、その本体中心の立方体構造と不純物含有量の少なさに由来し、ドーパされた元素(ランタンやレニウムなど)はこの特性を変えません。

MRI 装置では、磁界干渉を回避し、撮像精度(分解能 $< 1mm$)を確保するための線材としてモリブデン線が使用されています。航空宇宙分野では、衛星センサーの接続用配線にモリブデン線が使用されており、性能を変えることなく強い磁界($> 1T$)に耐えます。また、非磁性性の性質により、モリブデンワイヤは、磁場がイオン軌道に干渉する質量分析計などの精密機器にも有利です。

3.5 CTIA GROUP LTD モリブデンワイヤ MSDS

製品安全データシート(MSDS)は、化学組成、危険性の特定、保護措置、物理的および化学的特性などをカバーし、運用上の安全性と環境コンプライアンスを確保するための、チャイナタングステンモリブデンワイヤの安全な使用、保管、および廃棄に関する詳細なガイダンスを提供します。

一. 商品名

名前:モリブデンワイヤ

CAS 番号:7439-98-7(モリブデン)、7440-15-5(レニウム)、1317-33-5(酸化ランタン)

2.組成および組成情報

著作権および法的責任に関する声明

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

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

純モリブデン線:モリブデン $\geq 99.95\%$ 、不純物(C $< 0.01\%$ 、O $< 0.005\%$ 、N $< 0.003\%$ 、Fe $< 0.005\%$)

モリブデンランタン線:モリブデン $\geq 99.0\%$ 、酸化ランタン(LO_3) $0.3 \sim 1.0\%$

モリブデンレニウムワイヤー:モリブデン $59 \sim 95\%$ 、レニウム $5 \sim 41\%$

物理的形態:銀白色または黒灰色の金属フィラメント、直径 $0.03 \sim 3.2 \text{ mm}$

臭い:無臭

3. ハザードの特定

室温で:モリブデンワイヤーは安定した金属で、無毒で、放射性がなく、重大な健康被害がなく、皮膚接触時に刺激性がありません。

高温($> 400^\circ\text{C}$):揮発性の酸化モリブデン(MoO_3)粉塵が放出され、吸入すると呼吸器への刺激(咳、喉の炎症など)を引き起こす可能性があります。

機械加工:ワイヤーを切断、研削、または引き抜くと、金属粉塵が発生し、吸入すると肺の炎症を引き起こす可能性があります、長期の曝露により軽度の肺線維症が引き起こされる可能性があります。

火災の危険性:モリブデン線自体は可燃性ではありませんが、高温の酸化性雰囲気では可燃性酸化物(MoO_3)が形成されるため、火災の危険性があります。

環境への危険性:モリブデンワイヤー自体は環境に重大な害を及ぼさず、廃棄物のモリブデンワイヤーは、ランダムな廃棄を避けるために適切にリサイクルする必要があります。

4. 応急処置

吸入:新鮮な空気を提供するために、換気の良い場所に人を移動させ、すぐに医師の診察を受け、呼吸が困難な場合は酸素サポートを提供します。

皮膚への接触:石鹼と多量の水で接触した場合は少なくとも 15 分間すすぎ、赤み、腫れ、刺激が発生した場合は皮膚科医に相談してください。

アイコンタクト:多量の水または生理食塩水で少なくとも 15 分間目を洗い流し、上まぶたと下まぶたを開いて十分に洗うことを確認し、不快感が続く場合はすぐに医師の診察を受けてください。

摂取量:誤ってモリブデンワイヤーを摂取する可能性は非常に低く、万が一発生した場合は、すぐに医師の診察を受け、嘔吐を誘発せず、患者を目覚めさせ、MSDS 情報を提供してください。

5. 防火対策

消火媒体:乾燥粉末、乾燥砂、または二酸化炭素消火器を使用し、水または泡消火剤の使用は禁止されています。

特別な危険:酸化モリブデンの煙は高温で発生するため、消防士は陽圧呼吸装置と全身防護服を着用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

火災予防策:火源を制御し、煙の広がりを防ぎ、換気を維持し、有毒ガスを吸い込まないようにします。

6. 漏れの応急処置

散らばったモリブデンワイヤーを収集し、帯電防止ツールを使用してほこりの飛散を防ぎます。

掃除機(HEPA フィルター付き)を使用するか、金属粉塵を濡らして掃除し、吸入を防ぎます。

回収された廃モリブデンワイヤーは密閉容器に保管され、地域の規制に従って専門のリサイクル機関に引き渡されて廃棄されます。

漏れ領域は隔離し、訓練を受けていない人員による接触を避けるために保護具を着用する必要があります。

7. 取り扱いと保管

取り扱い上の注意:加工中は、保護手袋(ニトリルまたはレザー)、保護メガネ、防塵マスク(N95 以上)を着用し、局所排気装置(風量>500m³/h)を使用してください。

保管条件:乾燥した(湿度<60%)、換気された(温度 20~25°C)倉庫に保管し、表面の酸化を防ぐために高温(>400°C)および湿気の多い環境を避けてください。

互換性のない物質:強力な酸化剤(濃硝酸、過酸化水素など)、高温酸素、溶融アルカリとの接触を避けてください。

梱包要件:物理的な損傷や酸化を防ぐために、防湿ビニール袋または金属缶を使用してパッケージを密封します。

8. 露出制御と個人の保護

エンジニアリング制御:局所排気システム(風速 0.5m/s)>集塵装置を装備し、職場の空気中のモリブデン粉塵濃度を 5mg/m³未満に抑えます。

個人用保護具:保護メガネ(EN 166 に準拠)、防塵マスク(NIOSH N95 に準拠)、保護手袋、長袖カバーオール。

暴露限界:モリブデン粉塵 OSHA PEL は 5mg/m³(呼吸性微粒子)、ACGIH TLV は 10mg/m³(総粉塵)、および中国 GBZ2.1 規格は 6mg/m³です。

モニタリング方法:職場の粉塵濃度を±0.1mg/m³の精度で定期的に検出します。

9. 物理化学的性質

外観:銀白色(洗浄されたモリブデンワイヤー)またはブラックグレー(黒色のモリブデンワイヤー)金属フィラメント

融点:2623°C(純モリブデン線)、2650°C(モリブデンレニウム線)

沸点:4639°C

密度:10.28 g/cm³(20°C)

著作権および法的責任に関する声明

溶解性:水、希酸、アルカリに不溶、高温濃硝酸または熔融水酸化ナトリウムに可溶
蒸気圧:10°Pa(2000°C)。

引火点:なし(不燃性)

安定性:室温で安定している MoO₃は、高温(>400°C)の酸化性雰囲気中で形成されやすいです

熱膨張係数:4.8〜5.2×10°°C(20〜1000°C)。

熱伝導率:138W/(m・K)(20°C)

抵抗率:5.2–5.7μΩ・cm(20°C)

10. 安定性と反応性

安定性:室温で化学的に安定しており、水、空気、一般的な溶剤と反応しません。

反応性:高温(>400°C)は、酸素、窒素、ハロゲンと反応して、MoO₃、Mo₂N、または MoCl₅を生成します。

高温酸化性雰囲気、強力な酸化剤、熔融アルカリなどの条件を避けてください。

危険な分解生成物:酸化モリブデン(MoO₃)粉塵、高温で非常に揮発性。

11. 毒物学的情報

急性毒性:低毒性、LD50(ラット、経口)>2000 mg/kg、LC50(ラット、吸入)>5 mg/L(4 時間)。

皮膚の炎症:重大な刺激はありませんが、長時間さらされるとわずかな発赤や腫れを引き起こす可能性があります。

目の刺激:ほこりは機械的な刺激を引き起こす可能性があり、化学的に腐食することはありません。

慢性毒性:高濃度のモリブデン粉塵(>10 mg /m³)の長期吸入は、肺の炎症または軽度の線維症を引き起こす可能性があり、全身毒性は観察されていません。

発がん性:IARC、NTP、OSHA によって発がん性として分類されていません。

生殖毒性:生殖毒性または発生毒性のデータはありません。

12. 生態情報

環境への影響:モリブデンワイヤー自体は水、土壌、大気に大きな害を及ぼすことはなく、環境の蓄積を避けるために廃モリブデンワイヤーをリサイクルする必要があります。

生物蓄積性:重要な生物蓄積性はなく、モリブデンは微量元素であり、植物や動物は微量のモリブデンを代謝することができます。

生態毒性:水生生物(魚など)に対する急性毒性なし、LC50(96 時間)>100 mg / L。

耐久性と分解性:モリブデンワイヤーはリサイクルが必要な非分解性の金属です。

13. 廃棄・リサイクル

著作権および法的責任に関する声明

廃棄方法: 廃モリブデン線は化学溶解(硝酸またはアルカリ溶液)または電気分解によって回収され、回収率は 90~95%に達する可能性があります。

リサイクルプロセス: 廃絹は収集され→化学的に洗浄され→溶解および精製され→モリブデンブランクは再準備されますが、これは専門の施設で操作する必要があります。

環境要件: 埋め立て地や水域に自由に廃棄せず、地域の有害廃棄物規制に従って認定機関に引き渡して廃棄してください。

リサイクルの利点: 廃モリブデンワイヤーのトンあたり約950kgのモリブデンを回収でき、資源の浪費と環境汚染を削減します。

14. 配送情報

危険物の分類: 非危険物、普通貨物として輸送されます。

輸送要件: 輸送中の損傷や湿気を避けるために、防湿性と耐衝撃性のパッケージ(密封されたビニール袋や金属缶など)を使用してください。

輸送識別: 「モリブデンワイヤー」と仕様でマークされ、「防湿」と「取り扱いに注意して」マークされています。

国際規格: IATA、IMDG、ADR の輸送規格に準拠しています。

15. 規制情報

中国の規制: GB / T 4182-2003 「モリブデンワイヤー」および GBZ 2.1 「職場の有害要因の職業暴露限界」に準拠してください。

国際規制: モリブデンおよびモリブデン合金ロッド、ストリップ、ワイヤー、REACH および OSHA 化学物質管理要件に関する ASTM B387 規格に適合しています。

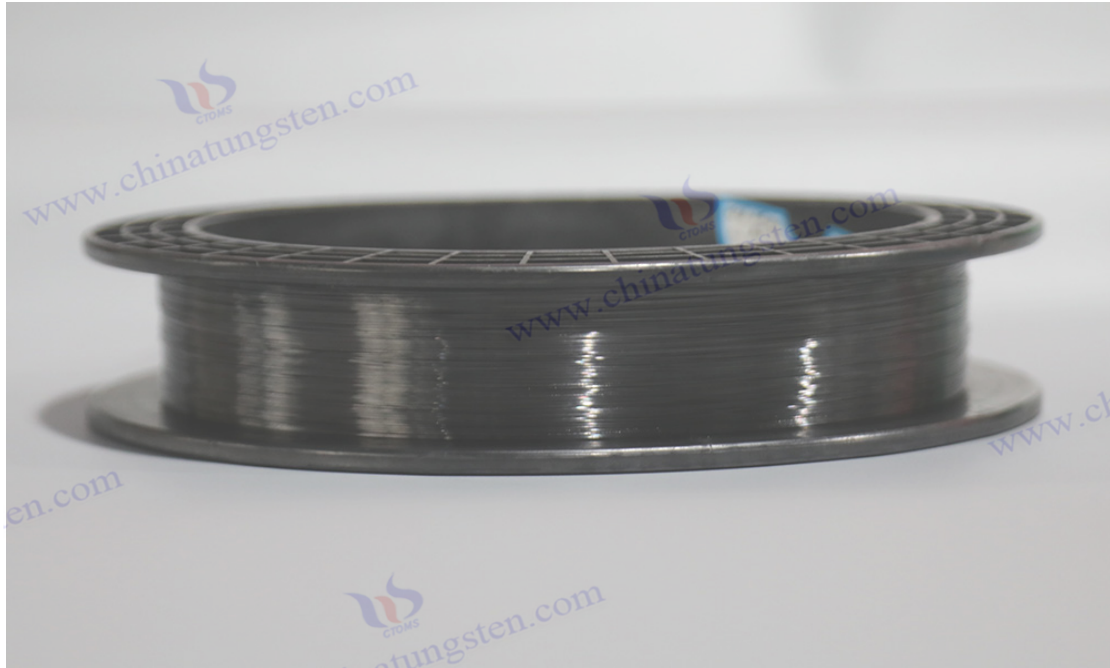
環境規制: 廃モリブデン線の処分は、固形廃棄物による環境汚染の防止と管理に関する法律および EURoHS 指令に準拠する必要があります。

安全認証: ISO 9001 品質管理システムおよび ISO 14001 環境管理システム認証。

16. サプライヤー情報

サプライヤー: CTIA GROUP LTD

電話番号: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンワイヤー

第4章 モリブデン線の調製・製造技術

モリブデンワイヤーの準備は、原材料の準備、粉末冶金、伸線加工、表面処理、熱処理、特殊合金モリブデンワイヤーの準備など、原材料の精製から最終成形までの複数のステップを含む複雑な多段階プロセスです。各リンクの技術的パラメータと機器の選択は、モリブデンワイヤーの性能、仕様、および適用範囲に直接影響します。近年、自動化、環境保護、省エネ技術の導入により、生産効率と製品品質が大幅に向上しました。以下は、モリブデン線調製のプロセスリンクと技術的な詳細の詳細な分析です。

4.1 原材料の準備

原料の準備は、モリブデン精鉱の選鉱と精製、モリブデン粉末の製造、および合金元素の添加を含むモリブデンワイヤー製造の基礎です。これらのステップにより、モリブデンワイヤーは、精密機械加工および高温アプリケーションの厳しい要件を満たす高純度で均一な化学組成を有することが保証されます。

4.1.1 モリブデン精鉱の選鉱と精製

モリブデン濃縮物は、主に自然界に見られる最も一般的なモリブデン鉱物であるモリブデン鉱(MoS_2)から抽出され、通常は 50~60%のモリブデンを含んでいます。選鉱プロセスでは、浮選によってモリブデン石を関連鉱物(銅、硫化鉄など)から分離します。粉碎(粒径<10mm)および粉碎(粒径<0.074mm、80%を占める)した後、モリブデン精鉱を浮遊選鉱機で分離し、コレクター(キサントゲン酸など)と発泡剤(テルピネオール油など)を添加し、モリブデン含有量を 55~58%に増加させ、不純物(Si、Fe、Cu)を<1%に還元した。

著作権および法的責任に関する声明

精製は、焙煎および化学浸出プロセスによって行われます。ロータリーキルン(温度 600～700℃、酸素雰囲気)で焙煎し、MoS₂を MoO₃に酸化し、排ガス処理装置で硫黄を SO₂として放出します(脱硫効率>95%)。その後、アンモニア浸出(NH₄OH 濃度 10～15%、温度 60～80℃)、不純物(Fe、Si など)を除去するためのろ過、さらに結晶化と熱分解(500～600℃)によりモリブデン酸アンモニウム溶液を生成し、高純度の MoO₃(純度 99.9%)>を生成します。このプロセスにより、モリブデン原料の不純物含有量が 0.01%未満になり、高純度モリブデンワイヤーの生産ニーズを満たします。

4.1.2 モリブデン粉末の製造

モリブデン粉末は、高純度 MoO₃による水素還元により調製されます。還元プロセスは 2 段階に分かれており、第 1 段階は 450～600℃ で MoO₃(酸化炭素)を MoO₂(酸化炭素)に還元し、第 2 段階は 900～1100℃ で MoO₂(酸化 MoO₂)を金属モリブデン粉末に還元します。還元炉は、高純度の水素(純度>99.999%、露点<-40℃)とガス流量の制御(0.5～1.0m³/h)を備えた管状炉を使用して、均一な反応を確保します。得られたモリブデン粉末は、粒径が 1～5μm、純度≥99.95%、酸素含有量が<0.005%、炭素含有量が<0.01%である。

モリブデン粉末の粒度分布と形態は、レーザー粒度分析装置と走査型電子顕微鏡(SEM)によって検出され、均一な球状粒子は、その後の圧縮の密度と焼結性能を向上させることができます。粉末の酸化や粒子の凝集を防ぐために、製造では還元温度と水素純度を厳密に制御する必要があります。超微細モリブデン粉末(粒径<1μm)は、超微細モリブデン線(直径<0.05mm)を製造するために使用されますが、これはプラズマ球状化技術によってさらに最適化する必要があります。

4.1.3 合金元素の添加

合金モリブデン線(モリブデンランタン線、モリブデンレニウム線など)は、性能を向上させるためにモリブデン粉末に合金元素を添加する必要があります。酸化ランタン(La₂O₃、0.3～1.0 wt%)を添加して再結晶温度と強度を高めることによりモリブデンランタン線を増加させ、La(NO₃)₃溶液にモリブデン粉末を混合し、噴霧乾燥後に均一なドープ粉末を形成し、乾燥温度を 120～150℃ にするという湿式ドーピングプロセスを採用しました。モリブデンレニウムワイヤーは、レニウム粉末(Re、5～41 wt%)を添加することで靱性と耐食性を高め、レニウム粒子の均一な分布を確保するために、混合時間 2～4 時間の機械的

混合またはプラズマ溶融法を採用しています。

ドーピングプロセスでは、元素分布の均一性を制御し、偏析を回避する必要があります。X線回折(XRD)とエネルギー分光法(EDS)を使用して、ドーピングされた元素の含有量と分布を ± 0.01 wt%の精度で検出しました。合金元素は、粉末の酸化を防ぐために不活性雰囲気(アルゴンまたは窒素)で添加されます。過剰な添加量は焼結を困難にする可能性があり、性能とコストのバランスをとるためにドーピング比を最適化する必要があります。

4.2 粉末冶金プロセス

粉末冶金は、モリブデン粉末のプレスと成形、焼結、ピレットの準備を含むモリブデンワイヤーブランクの準備の中核プロセスであり、ブランクが高密度で均一な微細構造を持つことを確保し、その後の伸線の基礎を提供します。

4.2.1 モリブデン粉末のプレスと成形

モリブデン粉末は、冷間静水圧プレスまたは圧縮によってロッドブランクに形成されます。冷間静水圧プレス(CIP)は、ゴム金型を使用して 200~300 MPa の圧力で、プレス時間は 5~10 分、ピレット密度は $6.0 \sim 6.5 \text{ g/cm}^3$ (理論密度の 60~65%) で実行されます。100~150 MPa の圧力で鋼で成形されているため、小ロット生産に適しています。プレス工程では、ピレットの強度を高めるために少量のバインダー(ポリビニルアルコール、0.5~1.0 wt%)を添加しますが、これはその後の焼結で完全に揮発させる必要があります。

プレスされたブランクの寸法は、直径 10~20 mm、長さ 100~500 mm、および亀裂のない平らな表面で制御する必要があります。プレス装置には、粉末のボイドを低減するためのシェーカーが装備されており、密度の均一性は超音波試験によって検証され、欠陥サイズは $0.1 \text{ mm} <$ 。プレス工程は、粉体の汚染を避けるためにクリーンルーム(ISO クラス 7)で行われます。

4.2.2 焼結プロセス

プレスピレットを高温焼結により緻密化し、焼結温度 1800~2000°C、保持時間 2~4 時間、水素ガス流量 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の水素保護中周波誘導炉を採用しています。焼結は、予備焼結(800~1000°C、バインダーや水分を除去する)と高温焼結(1800~2000°C、穀物結合を促進する)に分けられます。焼結後のピレット密度は $9.8 \sim 10.0 \text{ g/cm}^3$ (理論密度の 95~98%)、粒径は 20~50 μm です。

焼結プロセスでは、熱応力亀裂を避けるために加熱速度(5~10°C/分)を制御し、特大粒子を防ぐために冷却速度を 10~20°C/分に制御する必要があります。モリブデンランタンワイヤーブランクの焼結中に、酸化ランタン粒子の分布をさらに制御して、凝集を防ぐ必要があります。焼結品質は密度計と金属顕微鏡で検出され、気孔率は<2%でした。焼結炉には、水素を回収し、揮発性不純物进行处理するための排ガス処理システムを装備する必要があります。

4.2.3 ブランクの準備

焼結したブランクを、熱間鍛造または熱間圧延により伸線用のブランクに加工します。熱間鍛造は、油圧鍛造機を使用して 1200~1400°C で行われ、変形は 30~50%、ピレット径は 5~10mm に縮小されます。熱間圧延は、1100~1300°C の温度でマルチロールミルで行われ、パスあたり 10~15%の変形があり、直径 2~5mm のバーが得られます。ブランクの表面を回転または研磨して酸化物層を除去し、表面粗さは Ra<1.0μm です。

ブランクの微細構造は、走査型電子顕微鏡と X 線回折によって分析され、粒子が均一で内部欠陥がないことを確認します。モリブデンレニウムワイヤーブランクは、高温での揮発を防ぐために、レニウム元素の分布をさらに制御する必要があります。ブランクの調製は、酸化を防ぐために不活性雰囲気で行われ、完成したブランクは真空パックで保管され、品質が維持されます。

4.3 伸線

伸線は、ブランクをモリブデン線に加工する際の重要なステップであり、熱間伸線、冷間引拔、マルチパス伸線、潤滑および冷却技術を含み、モリブデン線の寸法精度と機械的特性を直接決定します。

4.3.1 熱線描画技術

熱間引拔は、高周波誘導加熱装置を使用して、800~1200°C で粗いモリブデン線(直径 1.0mm)>製造するために使用されます。ブランクは、パスあたり 15 ~ 20% の直径縮小と 2 ~ 5 m/s の絞り速度で超硬ダイを介して引き伸ばされます。加熱温度は、特大の粒子や表面の酸化を避けるために、正確に制御(±10°C)する必要があります。熱間引拔は金型の摩耗を低減し、工具寿命を延ばします(最大 1000m)が、表面品質が悪く、黒色モリブデン線がよく形成されます(酸化膜厚 0.1~1.0μm)。

熱伸線機には、寸法安定性を確保するために、赤外線温度計と張力制御システム(張力 20

〜50 N)が装備されています。粗いモリブデン線の引張強度は 700〜1200MPa で、溶射や高温炉部品に適しています。熱線引きは、高温での酸化を防ぐために、水素またはアルゴンの保護下で行う必要があります。

4.3.2 冷間引抜技術

冷間引抜法は、ダイヤモンドダイス(開口公差 $\pm 0.001\text{mm}$)を用いて、室温(20〜50°C)または低温(<300°C)で標準的な細モリブデン線(<0.05〜0.3mm)と超極細モリブデン線(0.05mm)を作製します。各パスの直径は 5 〜 10% 縮小され、絞り速度は 0.5 〜 2 m/s です。冷間引抜により、電線放電加工機や電子部品の引張強度(1500〜3500MPa)と表面仕上げ($Ra < 0.2\mu\text{m}$)が向上します。

冷間引抜には、摩擦を低減し、約 500m の工具寿命を実現するためには、高性能潤滑剤(グラファイトエマルジョン、粘度 10〜20mPa・s など)が必要です。延伸プロセスでは、張力(5〜15 N)と温度(<100°C)を監視して、断線を防ぎます。冷間引抜機にはレーザーキャリパーが装備されており、直径公差($\pm 0.001\text{mm}$)をリアルタイムで検出します。

4.3.3 マルチパス描画

マルチパス伸線は、ブランクを目標径まで徐々に加工するコアプロセスであり、粗いモリブデン線の場合は 5〜10 パス、標準的な細いモリブデン線の場合は 10〜20 パス、超極細モリブデン線の場合は 20〜30 パスが必要です。各パスの後に中間アニーリング(600〜900°C、アルゴン保護、10〜30 分間のインキュベーション)を行い、加工硬化を排除し、延性を回復します。伸線機は、自動張力制御(精度 0.1N)およびオンライン欠陥検出(渦電流欠陥検出、検出精度 0.01mm)を備えたマルチモード連続伸線装置を採用しています。

金型設計はマルチパス伸線用に最適化する必要があります。応力集中を避けるために開口低下率を 5〜15%に制御する必要があります。極細モリブデン線の描画には、ナノスケールのダイヤモンドダイス(開口<0.05mm)を使用する必要がありますが、これは高価ですが精度は 0.0005mm $\pm$ 。延伸後のモリブデン線の表面は、顕微鏡と粗さ計で検査し、微小な亀裂や傷がないことを確認します。

4.3.4 潤滑および冷却技術

潤滑と冷却は延伸プロセスの鍵であり、金型の寿命とモリブデン ワイヤの表面品質に影響を与えます。潤滑剤は、水性エマルジョン(グラファイトまたは MoS_2 を含む、粘度 $10 \sim 20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) または油性潤滑剤(粘度 $20 \sim 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) で、コーティング厚さは $0.01 \sim 0.05 \text{ mm}$ で、摩擦係数は $0.05 \sim 0.1$ に減少しています。冷却は、循環水システム(温度 $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 、流量 $1 \sim 2 \text{ L/min}$) またはスプレー冷却によって行われ、金型とモリブデンワイヤーの温度を 100°C 未満に保ちます。

潤滑剤は、不純物を取り除き、表面の傷を防ぐために、定期的に($1 \mu\text{m}$ の精度で)ろ過する必要があります。超極細モリブデン伸線では、残留物を減らすために低揮発性の潤滑剤を使用する必要があります。冷却システムには温度センサーと流量計が装備されており、均一な冷却を確保します。Chinatungsten オンラインのデータによると、最適化された潤滑および冷却技術により、金型の寿命を 30% 延ばし、ワイヤーの破損率を 0.05% に減らすことができます。

4.4 表面処理

表面処理は、苛性洗浄、研磨、コーティング処理など、モリブデンワイヤーの表面品質と性能を向上させ、電灯、ワイヤー切断、真空コーティングなどのさまざまなアプリケーションのニーズを満たすことができます。

4.4.1 苛性洗浄プロセス(洗浄されたモリブデンワイヤー)

苛性洗浄プロセスは、洗浄されたモリブデンワイヤーを製造し、表面酸化膜(MoO_3 、厚さ $0.1 \sim 1.0 \mu\text{m}$) を除去し、表面仕上げ($\text{Ra} < 0.2 \mu\text{m}$) を改善するために使用されます。このプロセスでは、水酸化ナトリウム溶液(濃度 $10 \sim 20\%$ 、温度 $80 \sim 100^\circ\text{C}$) を $1 \sim 5$ 分間浸した後、脱イオン水(導電率 $< 1 \mu\text{S/cm}$) で $5 \sim 10$ 分間すすぎ、熱風乾燥($60 \sim 80^\circ\text{C}$) します。苛性洗浄プラントは、微粒子を除去するための超音波洗浄ユニット(周波数 $28 \sim 40 \text{ kHz}$) を備えた連続洗浄ラインです。

アルカリ洗浄は、過度の腐食を避けるために、溶液の $\text{pH}(12 \sim 14)$ と温度($\pm 2^\circ\text{C}$) を制御する必要があります。洗浄されたモリブデンワイヤーの低接触抵抗($10 \sim 15\%$ 削減)と低不純物含有量($< 0.005\%$)により、電気光源やマイクロエレクトロニクスアプリケーションに適しています。廃液は、環境要件を満たすために中和して沈殿させる必要があります(pH を $6 \sim$

著作権および法的責任に関する声明

8 に調整します)。

4.4.2 研磨プロセス

研磨は、電気化学研磨または機械的研磨を使用して、洗浄されたモリブデンワイヤの表面仕上げをさらに改善します。電気化学研磨は、リン酸と硫酸の電解質の混合物(比 3:1、電流密度 0.5~1.0 A/cm²)を使用し、研磨時間は 30~60 秒で、ドラフト内で行われます。機械研磨は、1000~2000rpm でダイヤモンド砥石(粒度 1~5μm)を使用し、研磨時間は 1~2 分です。

研磨後、モリブデンワイヤの表面を原子間力顕微鏡(AFM)で検査します。研磨加工により、ワイヤの切断精度(±2μm)と真空コーティングフィルムの品質(欠陥密度<10/cm²)が向上します。重金属汚染を防ぐために、研磨廃液をリサイクルする必要があります。

4.4.3 コーティング処理

コーティング処理はモリブデンワイヤの耐酸化性と耐摩耗性を高め、一般的なコーティングにはモリブデンシリサイド(MoSi₂)とジルコニア(ZrO₂)が含まれます。)。シリサイドモリブデンコーティングは、1000~1200°C の堆積温度、5~10μm のコーティング厚さ、および 1000°C の空気中での酸化速度 0.01mg/cm²·h で化学気相成長(CVD)によって調製されました。ジルコニアコーティングは、20~30kW のスプレー力、10~20μm のコーティング厚さ、および耐摩耗性の 50%の増加でプラズマ溶射することによって調製されます。

コーティング品質は走査型電子顕微鏡と X 線光電子分光法で検出し、コーティング密着性は>50MPa でした。コーティングされたモリブデンワイヤは、高温炉や航空宇宙部品に使用され、寿命を 5000 時間以上に延ばします。コーティングプロセスでは、均一性を確保するために、制御された成膜速度(0.1~0.5μm/分)と雰囲気(真空<10⁻²Pa)が必要です。

4.5 熱処理と焼鈍

熱処理とアニーリングは、モリブデンワイヤの微細構造と機械的特性を最適化し、延伸応力を排除し、延性と靱性を向上させます。

4.5.1 アニーリングプロセスパラメータ

アニーリングは、水素またはアルゴンの保護下で、600~1000°C の温度、10~60 分の保持時間、5~10°C/min の加熱速度、および 10~20°C/min の冷却速度で行われます。焼鈍温度は、極細モリブデン線(<0.05mm 径)が 600~800°C、粗いモリブデン線(>径 1.0mm)が 800

〜1000℃です。アニーリング後、引張強度は 10〜20%減少し、伸びは 8〜15%に増加します。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、ドーピング元素の分布を最適化するために、より高いアニール温度(800〜1200℃)が必要です。

アニーリングプロセスは、冶金顕微鏡と引張試験によって検証され、粒径は 10〜50 μm に制御され、破壊靱性は 20〜30MPa・m^{1/2}に増加しました。アニーリングパラメータは、モリブデンワイヤーの仕様と用途に応じて最適化する必要があります、例えば、ワイヤー切断用のモリブデンワイヤーは高強度である必要があり、アニーリング時間は短い(10〜20分)必要があります。

4.5.2 熱処理装置

熱処理は、高純度水素(純度>99.999%)またはアルゴン(酸素含有量<10ppm)の保護システムを備えた管状焼鈍炉または連続焼鈍ラインを使用して行われます。温度制御精度は $\pm 1^\circ\text{C}$ 、炉長は 1〜2m で、小ロット生産に適しています。連続焼鈍ラインは、マルチゾーン加熱(温度勾配 10 $^\circ\text{C}/\text{cm}$ のゾーン 3〜5)と延伸速度 0.5〜2m/min を備えており、大規模生産に適しています。

装置には、安定したアニール環境を確保するために、赤外線温度計と雰囲気分析装置(酸素含有量検出精度 $\pm 1\text{ppm}$)を装備する必要があります。排気ガスは触媒燃焼装置で処理され、転換率は>99%です。熱処理装置は、炉内汚染がモリブデン線の品質に影響を与えるのを防ぐために、定期的にメンテナンスされています。

4.6 特殊合金モリブデン線の作製

特殊合金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)は、高温および極端な環境のニーズを満たすためにドーピングおよび特別なプロセスによって調製されます。

4.6.1 モリブデンランタン線のドーピングプロセス

モリブデンランタンワイヤーは、湿式または乾式ドープのモリブデン粉末に酸化ランタン(La_2O_3 、0.3〜1.0 wt%)を添加することによって調製されます。湿式ドーピングでは、 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 溶液とモリブデン粉末を混合し、噴霧乾燥(温度 120〜150 $^\circ\text{C}$)して、粒径 1〜3 μm の均質な粉末を形成します。ドライドーピングは、モリブデン粉末と酸化ランタン粉末を高速ボールミル(300〜500rpm、2〜4 時間)で混合することによって行われます。ドープし

た粉末を冷間静水圧プレス焼結(1900～2000℃)によりブランクにし、酸化ランタンの粒径を 0.1～0.5 μm に制御し、分布均一性を>95%とした。

モリブデンランタンワイヤーの延伸およびアニーリングプロセスは、800～1000℃ のアニーリング温度、20～30 回の伸線パス、1500～2000MPa の引張強度、および 1800℃ の再結晶温度で最適化する必要があります。このドーピングプロセスは、X 線回折および透過型電子顕微鏡(TEM)によって検証され、酸化ランタン粒子のピンニング効果により、高温性能が大幅に向上しました。

4.6.2 モリブデン-レニウム合金線の製造

モリブデンレニウムワイヤーは、プラズマ融合または機械的混合プロセスを使用してレニウム粉末(5～41 wt%)を添加することにより調製されます。プラズマ核融合は、アルゴンプラズマ(出力 10～20 kW)で 2500～3000℃ の融解温度で行われ、レニウム分布の均一性は>98%です。機械的混合は、プラネタリーミル(200～400 rpm、4～6 時間)を使用して、レニウム粒子(1～5 μm)の均一な分散を確保します。混合粉末は、冷間静水圧プレス(250MPa)と高温焼結(2000～2200℃)により、密度>10.3g/cm³のブランクにされます。

モリブデンレニウムワイヤーの延伸プロセスは冷間引抜プロセスによって行われ、ダイの穴径公差は 0.001mm $\pm$ 、焼鈍温度は 900～1200℃ です。2000～3000MPa の引張強度と靱性が 50%向上しているため、航空宇宙および医療用途に適しています。レニウムの揮発を防ぐために、製造は真空またはアルゴンで行う必要があります。装置には排気ガス結露回収システムが装備されています。

4.7 プロセスの最適化と技術革新

モリブデンワイヤーの生産効率、品質、環境性能を向上させるためのプロセスの最適化と技術革新には、自動化された生産と省エネプロセスが含まれます。

4.7.1 自動生産技術

自動化技術は、伸線、焼鈍、検査に使用されます。伸線ラインには多軸 CNC 伸線機が装備されており、張力(精度 $\pm 0.1\text{ N}$)と速度(0.1～5 m/s)を自動的に調整し、断線率を 0.05%に低減します。オンライン検査では、レーザーキャリパー(精度 0.0005mm) $\pm$ 渦流探傷(欠陥検出<0.01mm)を使用して、モリブデン線の品質をリアルタイムで監視します。アニールラ

著作権および法的責任に関する声明

インは PLC で温度($\pm 2^{\circ}\text{C}$)と雰囲気(酸素含有量 $< 5\text{ppm}$)を制御し、連続生産を実現します。

自動化システムは、MES(Manufacturing Execution System)を統合して、生産データ(延伸速度、アニーリング時間など)をリアルタイムで記録し、バッチの一貫性を向上させます。自動生産により、効率が 30%向上し、人件費が 20%削減されるため、超極細モリブデン線や合金モリブデン線の大規模生産に適しています。

4.7.2 環境保護と省エネのプロセス

環境にやさしいプロセスには、廃ガス処理、廃液回収、省エネ機器などがあります。焼結焼鈍炉は、水素回収装置(回収率 $> 90\%$)と排ガス触媒燃焼装置(換算率 $> 99\%$)を搭載し、 SO_2 (ゾウ)と MoO_3 (酸化硫黄)の排出を削減しています。モリブデン酸は、苛性洗浄廃棄物の中和($\text{pH } 6-8$)および沈殿によって回収され、回収率は $> 95\%$ でした。この絞り潤滑剤は水性で環境にやさしく、揮発性有機化合物(VOC)の排出量を 80%削減します。

省エネ技術としては、中周波誘導炉(エネルギー消費量を 15%削減)や効率的な冷却システム(水のリサイクル率 $> 90\%$)などがあります。グリーン製造は、ISO 14001 規格に準拠し、モリブデンワイヤー業界の持続可能な開発を促進します。



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンワイヤー

第5章 モリブデンワイヤーの使用

その優れた高温安定性、機械的強度、耐食性、導電性により、モリブデン線は、電気光源、ワイヤー切断、スプレーの分野で幅広い用途価値を示しています。さまざまなアプリケーションが、モリブデンワイヤーの仕様、純度、および表面処理に関する特定の要件を提唱し、ミクロンレベルの精密加工から高温およびヘビーデューティ環境まで、さまざまなシナリオをカバーしています。以下は、電気光源、ワイヤー放電加工、および溶射の製造におけるモリブデンワイヤーの特定の用途を分析し、その性能上の利点、プロセスフロー、および技術的な課題を説明するための詳細なテキストの説明です。

5.1 電灯用モリブデン線

モリブデン線は、電灯業界に欠かせない材料で、ハロゲンランプ、蛍光灯、LED ランプの電球製造、支持構造、リード線、接続部品などに広く使用されています。熱膨張係数が低い、ガラスやセラミックスとの適合性が高く、優れた導電性と高温安定性により、電気光源デバイスの高温や頻繁な熱サイクルに耐えながら、長期運転での信頼性を確保しています。

5.1.1 電球の製造におけるサポートワイヤーとリード線

白熱灯などの従来の電球の製造では、モリブデンフィラメントが支持線とリード線として使用され、高温フィラメントを保持し、電球に電流を流す役割を果たします。モリブデン線はガラスシールとしっかりと接続できるため、高温でも安定したシール性能を維持でき、熱膨張や冷間収縮による亀裂を回避できます。支持フィラメントとして、モリブデン線がフィラメントの重量を支え、点灯時の高温によるフィラメントのたるみを防ぎ、フィラメントが正確に配置されることにより、光の均一性が維持されます。リード線として、モリブデンワイヤーは外部電源をフィラメントに接続し、電流を効率的に伝導し、エネルギー損失を減らし、電球の寿命を延ばします。

製造工程では、モリブデン線は通常高純度材料で作られ、細径の線材は細線の冷間伸線法で作られ、その後、アルカリ洗浄により表面の酸化層が除去され、表面が滑らかな表面のモリブデン線がきれいになります。洗浄されたモリブデンワイヤーの表面品質は重要であり、ガラスで密封したときに気泡や亀裂がないように、微量不純物を超音波洗浄で除去する必要があります。製造では、モリブデンワイヤーは水素の保護下でアニールされ、加工応力を緩和し、靱性を高め、その後の曲げと成形を容易にします。技術的な課題は、モリブデンワイヤーの表面に欠陥がないことを確認しながら、高温シーリングプロセス中の酸化を回避し、生産環境の清浄度と雰囲気純度を厳密に制御することです。

5.1.2 ハロゲンランプと蛍光灯の電極材料

モリブデン線は、ハロゲンランプや蛍光灯などでフィラメントや蛍光体コーティングを外部回路に接続するための電極リード線として使用され、高温や化学的に腐食する環境にさらされます。ハロゲンランプでは、モリブデンフィラメントはハロゲンガスの腐食性の高い雰囲気中にさらされ、その優れた耐食性により、長期間の運転でも侵食されず、フィラメントが高温で安定して光るのを支えます。蛍光灯では、モリブデン線をカソードリードとして使用し、高周波放電プロセスに関与し、導電性能によりアークの安定性を確保し、ラ

著作権および法的責任に関する声明

ンプの発光効率と寿命を向上させます。

製造プロセスでは、モリブデンワイヤーの高い表面仕上げと寸法一貫性が必要であり、通常は冷間引抜プロセスを使用して、ワイヤーが柔軟で内部応力がないことを保証するために、伸線と中間焼鈍の複数のパスを通じて行われます。表面はアルカリ洗浄と超清浄洗浄で処理され、酸化層と粒子が除去され、電極放電中の不純物の干渉が減少します。モリブデンワイヤーには、多くの場合、微量元素(シリコン、アルミニウム、カリウムなど)がドーピングされており、たるみに抵抗し、ランプの頻繁な切り替えの熱サイクルに適応する能力を高めます。課題は、ドーピングされた元素の均質性を制御し、高温はんだ付け中の酸化を回避し、信頼性の高い電極接続を確保することです。

5.1.3 LEDlamp ベースと接続材料

LED ランプ製造では、モリブデン線をベースサポートと電極接続に使用し、LED チップを固定して電流を流します。その低い熱膨張係数は、熱サイクルによって引き起こされる応力亀裂を避けるために、セラミック基板に高度に適合しています。モリブデン線の導電性と非磁性特性により、高輝度照明や精密電子機器に特に適した高出力 LED の電流安定性と電磁両立性が保証されます。モリブデン線の表面仕上げは接触抵抗に大きな影響を与えるため、LED ランプの発熱を減らし、エネルギー効率と寿命を向上させるためには、低抵抗を確保する必要があります。

生産では、モリブデンワイヤーは、表面に傷や不純物がないことを確認するために、研磨と超クリーンなクリーニングを伴う超微細冷間引抜プロセスを採用しています。レーザー溶接は、モリブデン線をベースに固定するために使用され、はんだ接合部は強度があり、不純物がない必要があります。アニーリングプロセスにより、モリブデンワイヤーの靱性が最適化され、ベース設計に合わせて複雑な形状に曲げることができます。技術的な課題には、ミクロンレベルの寸法精度を達成することや、溶接プロセス中に真空を維持して酸化が導電率に影響を与えるのを防ぐことが含まれます。

5.2 ワイヤー切断用モリブデン線

モリブデンワイヤーは、ワイヤーカット放電(WEDM)工作機械のコア電極材料であり、高強度、耐アーク性、優れた導電性により、金属の切断や精密金型の製造に広く使用されています。その高い靱性と表面品質により、複雑な形状やミクロンレベルの公差にも対応できる高精度な加工が可能です。

5.2.1 ワイヤーEDM 工作機械用ワイヤーワイヤー

ワイヤー放電加工機では、モリブデン線を電極線として用いることで、高周波パルス放電によりワークに微細な剥離を生じさせ、高精度な切断を可能にしています。モリブデンワイヤーは、高い張力とアーク温度に耐えることができ、安定した放電性能を維持し、継続的に効率的な切断プロセスを保証します。その導電性は、高速電流伝導をサポートし、エネルギー損失を低減し、高強度は高速動作中にワイヤーが切断するのを防ぎます。表面が滑らかで接触抵抗が少ないため、洗浄されたモリブデンワイヤーは、高精度の切断に特に適しており、アーク損失を減らし、耐用年数を延ばします。

製造工程では、モリブデン線の直径が均一で表面が滑らかになるように、伸線と中間焼鈍を複数回行う冷間引抜技術を採用しています。潤滑剤は摩擦を減らし、伸線中の表面傷を防ぎ、インライン検査装置はワイヤーのサイズと欠陥を監視して一貫した品質を確保します。モリブデンフィラメントは、安定した放電を維持するために、高精度の張力制御システムを備えた脱イオン水媒体で操作する必要があります。課題は、断線のリスクを減らし、潤滑および冷却システムを最適化し、絞りダイがミクロンの公差を満たす精度であることを保証することでした。

5.2.2 非鉄金属、鋼、超硬合金の切断

モリブデンワイヤーは、非鉄金属(銅、アルミニウムなど)、鋼、超硬合金(タングステンコバルト合金など)の切断に使用され、機械加工や金型製作に広く使用されています。その高い強度と耐摩耗性により、安定した切断品質を維持しながら高硬度の材料を切断することができます。モリブデンワイヤーは、放電中の高温アーク侵食、優れた熱伝導率、急速な熱放散に耐え、ワイヤー損失を減らし、耐用年数を延ばします。モリブデンランタンワイヤーなどのドーパドモリブデンワイヤーは、耐摩耗性と高温安定性を高めることにより、超硬合金の切断効率をさらに向上させます。

生産では、モリブデンワイヤーは冷間引抜および研磨プロセスによって準備され、滑らかな表面を確保してアークの不安定性を低減します。切断プロセスは、ワークピースとワイヤーの過熱を防ぐために、高純度の脱イオン水で冷却されます。廃糸は化学溶解によりリサイクルし、資源の無駄を削減しています。技術的な課題は、放電パラメータと張力制御を最適化して、超硬切断のワイヤー摩耗を減らしながら、切断速度と精度のバランスをとることにあります。

5.2.3 精密金型と複雑形状加工

モリブデンワイヤーは、精密金型や複雑な形状の加工でミクロンレベルの精度を達成し、金型鋼、チタン合金などの加工に適しており、複雑な形状の航空宇宙および自動車産業のニーズを満たします。超極細モリブデン線は、ミニチュアの歯車金型や複雑な曲面などの微細な形状を切断することができ、その高い靱性により、折れることなく高速運転が可能です。表面仕上げは切断精度にとって重要であり、洗浄されたモリブデンワイヤーは、研磨プロセスを通じて表面の欠陥を減らし、滑らかでバリのない切断を保証します。

製造プロセスには、冷間引抜の複数回のパスと厳格なアニーリング制御が含まれ、ワイヤーが柔軟で内部応力がないことを確認します。多軸 CNC マシンは複雑な形状の加工に使用され、モリブデンワイヤーは振動を避けるために正確な張力制御の下で操作する必要があります。クーラント循環システムは、プロセスの安定性を維持し、熱歪みを防ぎます。課題は、超極細モリブデン線で複雑な形状を加工する際に、高精度のツーリングとインラインモニタリング技術を使用して、寸法の一貫性と安定性を実現することです。

5.3 スプレー用モリブデンワイヤー

モリブデン ワイヤーは、耐摩耗性、耐食性のコーティングを形成するために溶射に使用され、自動車、機械、航空宇宙産業で表面の強化と修理に広く使用されています。その高い融点と機械的強度により、過酷な環境でも優れた性能を発揮します。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

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

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

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

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

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

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

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

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

5.3.1 自動車部品の耐摩耗性コーティング

自動車部品(ピストンリング、クランクシャフトなど)の表面にモリブデンワイヤーをスプレーして耐摩耗性コーティングを形成し、コンポーネントの耐久性と耐摩耗性を大幅に向上させます。モリブデン線をプラズマ溶射またはフレーム溶射で溶かし、基板表面に蒸着することで、高摩擦・高温環境に耐えうる緻密なコーティングを形成し、部品の寿命を延ばします。黒色モリブデン線は、その表面酸化層がスプレーで溶けやすく、高効率で低コストであるため、火炎溶射によく使用されます。

生産では、モリブデン線は熱間伸線プロセスを使用してより粗い直径の線にされ、酸化物層を保持するために表面を研磨する必要はありません。噴霧装置には高出力のプラズマガンが搭載されており、均一なコーティングを確保するためには、噴霧温度と噴霧距離を制御する必要があります。コーティングの品質は顕微鏡で検査され、多孔性や亀裂がないことを確認します。課題は、スプレーパラメータを最適化してコーティングの密着性を向上させると同時に、粉塵の排出を制御して環境要件に準拠することです。

5.3.2 機械部品の表面補修と強化

モリブデンワイヤーは、摩耗した機械部品(ベアリング、シャフトなど)を修理したり、それらの表面特性を強化したりするために使用され、スプレーされて厚く、耐摩耗性、耐食性のコーティングを形成します。モリブデンワイヤーは、プラズマ溶射で熔融し、摩耗した表面に堆積するため、部品のサイズが回復し、耐食性が向上するため、化学機器やオフショアエンジニアリングの部品に特に適しています。モリブデンランタンワイヤーなどのドーピングモリブデンワイヤーは、コーティングの耐酸化性を向上させることにより、高温環境での修理部品の耐用年数を延ばします。

製造プロセスには、ワイヤーに不純物がないことを確認するためのホットドロ잉と表面クリーニングが含まれます。噴霧プロセスは、酸化を防ぐために不活性ガス(アルゴンなど)の保護下で行われます。コーティングは摩耗試験によって検証され、低摩擦係数と高い耐久性が保証されます。技術的な課題には、コーティングと基材との間の結合強度を確保することや、基材の変形を避けるためにスプレープロセス中の熱応力を制御することが含まれます。

5.3.3 航空エンジン部品の溶射

モリブデンワイヤーは、高温、高圧、腐食性の環境の要件を満たすために、航空エンジンコンポーネント(ブレードやノズルなど)に高温で耐摩耗性のあるコーティングをスプレーします。モリブデンレニウムワイヤーは、耐熱衝撃性、耐食性に優れているため、プラズマ溶射によく使用され、高温のガス流で長時間動作できるコーティングを形成します。コーティングにより、ブレードの耐摩耗性と耐酸化性が向上し、エンジンのメンテナンス間隔が延長されます。

生産では、モリブデンレニウムワイヤーは、ワイヤーの靱性と強度を確保するために、冷間引拔と高温焼鈍によって調製されます。スプレーは真空または不活性雰囲気で行われ、均質なコーティングを作成するにはスプレーパラメータを正確に制御する必要があります。コーティングの品質は、熱サイクル試験と顕微鏡分析によって検証され、ひび割れや

著作権および法的責任に関する声明

剥がれないことを確認します。課題は、溶射プロセス中のモリブデンワイヤーの材料損失と環境への影響を減らしながら、高密着コーティングを実現することでした。

5.4 真空コーティング用モリブデン線

モリブデンワイヤーは、真空コーティング業界で、さまざまな光学、装飾、機能コーティングに高性能薄膜を堆積するための主要な蒸発源材料として使用されています。その高い融点、優れた熱伝導率、化学的安定性により、高温真空環境での安定した蒸発が保証され、均一で緻密な膜を形成し、精密デバイスの品質と信頼性に対する厳しい要件を満たします。

5.4.1 薄膜蒸着における蒸着原料

モリブデン線は、金属や化合物を熔融して熱で蒸発させ、基板上に薄膜を形成する物理蒸着(PVD)プロセスの蒸発源材料として使用されます。モリブデン線は、熔融や変形することなく非常に高温に耐えることができるため、真空環境での長期運転に適しており、薄膜形成の安定性を確保します。熱伝導性に優れ、熱を均一に伝達できるため、局所的な過熱による蒸発ムラを防ぐことができます。モリブデンワイヤーの化学的安定性により、蒸発プロセス中に不純物が持ち込まれず、フィルムの高純度と性能が維持されます。

生産では、モリブデンワイヤーは通常高純度材料で作られ、細径ワイヤーは冷間引拔プロセスで作られ、表面は研磨され、超きれいに洗浄されて非常に高い仕上がりを達成し、多孔性や欠陥がフィルムの品質に与える影響を減らします。蒸発源のモリブデン線は、真空環境下で電子線や抵抗によって加熱する必要があり、安定した蒸発速度を確保するためには、加熱プロセスを精密に制御する必要があります。製造工程では、伸線と焼鈍を複数回行うことで、応力の緩和と靱性の向上を図り、蒸発源を特定の形状に巻きつけることを容易にします。技術的な課題は、モリブデンワイヤーの表面に微量な汚染がないことを確認すると同時に、超高真空装置と高品質の洗浄プロセスを必要とする高温蒸発プロセス中のワイヤーの早期損失を回避することです。

5.4.2 光学および装飾コーティング

モリブデンワイヤーは、光学コーティング(レンズ、フィルターなど)や装飾コーティング(時計、ジュエリーハウジングなど)に使用され、高い反射率や美的ニーズのために酸化物または金属膜を堆積させます。その高温安定性は、シリカや二酸化チタンなどの高融点材料の成膜をサポートし、フィルムの優れた光学特性と耐久性を確保します。モリブデンワイヤーの蒸気圧が低いいため、真空環境で蒸発するときに有害なガスが放出されないため、コーティング装置を清潔に保ち、フィルムを純粋に保ちます。その滑らかな表面と低不純物含有量により、洗浄されたモリブデンワイヤーは、光散乱や欠陥を低減し、高精度の光学コーティングに特に適しています。

製造工程では、モリブデンワイヤーの表面品質が非常に高く、冷間引拔、研磨、超音波洗浄によって表面の酸化物や微粒子が除去されることが求められます。コーティングプロセスでは、モリブデンワイヤーがらせん状または舟状骨状に巻かれ、電子ビームによって加熱されて真空チャンバー内で蒸発します。このプロセスでは、加熱電力と真空レベルを正確に制御して、膜厚が均一でピンホールがないことを確認する必要があります。技術的な

著作権および法的責任に関する声明

課題としては、膜の均一性の実現やモリブデン線の蒸発速度の制御などがあり、高精度な厚さ監視システムと安定した加熱装置が必要でした。

5.4.3 半導体および太陽電池コーティング

モリブデンワイヤは、半導体および太陽電池コーティングに使用され、銅、銀、透明導電性酸化物などの導電性または機能膜を堆積させ、チップおよび太陽電池デバイスの高性能要件を満たします。その導電性と高温安定性により、効率的な蒸着が可能で、低抵抗でフィルムの良好な接着性を確保します。超極細モリブデン線は、その高強度と精密なサイズにより、ミクロンの厚さの薄膜成膜に適しており、半導体業界の小型化と高精度化のニーズに応えます。モリブデンワイヤーの非磁性の性質は、堆積プロセス中の電磁に敏感なデバイスとの干渉を回避し、集積回路や光起電電極に特に適しています。

製造では、超極細モリブデンワイヤは、直径の一貫性と表面仕上げを確保するために、冷間引拔と厳密な焼鈍プロセスを複数回通過して調製されます。フィルムの汚染を防ぐために、微量の不純物を取り除くために表面を洗浄する必要があります。コーティング装置は超高真空システムを採用しており、モリブデン線をレーザーや電子ビームで加熱して材料を成膜します。真空速度と堆積速度は、フィルムの電気的および光学的特性を確保するために厳密に制御されています。技術的な課題は、超薄膜の均一性を達成し、高温でのモリブデンワイヤの微小蒸発を防ぐことであり、加熱方法と真空環境を最適化する必要があります。

5.5 発熱体用モリブデン線

モリブデン線は、高温電気炉、真空炉、熱処理装置の発熱体として使用され、高融点と低蒸気圧により、極端な温度で安定して動作でき、工業用加熱とマテリアルハンドリングのニーズを満たすことができます。その優れた熱伝導率と機械的強度により、効率的な熱伝達と長期的な信頼性が保証されます。

5.5.1 高温電気炉用電熱線

モリブデン線は、高温の電気炉で電気で直接発熱する電熱線として使用され、金属製錬、セラミックス焼結などで使用されます。その高温安定性により、変形や熔融することなく融点に近い温度で動作できるため、迅速な立ち上げと正確な温度制御が必要なアプリケーションに最適です。モリブデンワイヤの導電性は、大電流の通過をサポートし、均一な熱場を生成して、炉内の材料が一貫して加熱されることを保証します。モリブデンランタンワイヤーには酸化ランタンがドーピングされており、クリープ抵抗が強く、長期間の高温運転に適しています。

生産では、モリブデン線を熱間伸線法で中径線にし、表面を苛性洗浄または研磨して抵抗ムラを減らします。電熱線は特定の形状(スパイラルやメッシュなど)に巻かれ、炉本体にろう付けされます。製造プロセスには、応力を緩和し、ワイヤーが柔軟で形成しやすいようにするためのアニーリングが含まれます。技術的な課題は、高温での酸化を防ぐこと、真空または不活性ガス保護下での動作、および局所的な過熱を避けるために巻線設計を最適化することでした。

5.5.2 真空炉および雰囲気炉の発熱体

真空炉や雰囲気炉(アルゴンや窒素の保護など)では、モリブデンワイヤーが発熱体として機能し、結晶成長、合金焼結などのプロセスに安定した高温環境を提供します。蒸気圧が低いため、真空環境での運転中にガスが放出されず、炉内を清潔に保ちます。モリブデンレニウムワイヤーは、その優れた韌性と耐熱衝撃性により、熱サイクルが頻繁な炉に適しており、急激な温度上昇と急激な温度低下に亀裂なく耐えることができます。モリブデン線の熱伝導率により、効率的な熱伝達とエネルギー損失の低減をサポートします。

製造工程では、冷間引抜と高温焼鈍を使用して、ワイヤーの強度と韌性を確保します。酸化物層は、加熱性能に対する不純物の影響を減らすために、表面のアルカリ洗浄によって除去する必要があります。発熱体は真空ろう付けまたは機械的に固定されており、確実な接続を確保します。技術的な課題には、真空炉の超低酸素含有量の維持、モリブデンワイヤーの酸化防止、発熱体の形状の最適化による均一な熱場の実現などがあります。

5.5.3 熱処理装置への応用

モリブデン線は、金属や合金の熱処理工程の熱処理装置(焼鈍炉、焼入れ炉など)の発熱体として使用されています。その高温安定性と耐クリープ性により、その形状と性能が長期間にわたって維持され、正確に制御された熱処理プロセスに適しています。モリブデンワイヤーは、温度変化に迅速に反応し、動的な熱処理プロセスをサポートし、材料特性の均一性を向上させます。抵抗が低く、表面が滑らかなため、洗浄されたモリブデンワイヤーは熱損失を減らし、機器の寿命を延ばします。

製造では、モリブデンワイヤーは、柔軟性と強度を確保するために、マルチパス描画およびアニーリングプロセスを通じて準備されます。表面は研磨または苛性洗浄され、導電性効率が向上します。発熱体は炉本体にろう付けまたはクランプされ、接続ポイントは高温と機械的ストレスに耐性がある必要があります。技術的な課題は、熱サイクル中のモリブデンワイヤーの安定性を確保し、アニーリングプロセスと炉の雰囲気制御を最適化して酸化や変形を防ぐことです。

5.6 高温炉部品用モリブデン線

モリブデンワイヤーは、高温炉の支持、固定、リーディング、シールド部品として、真空炉や結晶成長炉で広く使用されています。その高強度、低熱膨張係数、および高温耐性により、過酷な環境での機械的および熱的ストレスに耐え、複雑な炉構造の要求を満たすことができます。

5.6.1 高温炉の部品の支持と固定

モリブデンワイヤーは、高温炉(単結晶シリコン成長炉など)の支持および固定部材として使用され、種結晶、るつぼ、または発熱体を保持して、高温での重量と熱応力に耐えることができます。その高い強度と低い熱膨張係数により、部品が高温で弛緩したり変形したりせず、炉構造の安定性が維持されます。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、長時間稼働し、故障することなく繰り返しの熱サイクルに耐えることができる炉に特に適しています。

生産では、モリブデン線を冷間引抜法で中径線にし、表面を研磨して応力集中を抑えます。部品はレーザー溶接で固定され、はんだ接合部は高温と機械的負荷にさらされます。製造工程には、靱性を向上させ、複雑な形状への加工を容易にするための焼きなましが含まれます。技術的な課題は、高精度の溶接装置と厳格な公差制御を使用して、溶接の品質とコンポーネントの寸法精度を確保することです。

5.6.2 真空炉のリード線とシールド部品

モリブデン線は、真空炉のリード線およびシールドとして使用され、電流を伝導し、熱放射をシールドして炉内の他のコンポーネントを保護します。その導電性と高温安定性は、高電流の通過をサポートし、高出力加熱システムに適しています。モリブデンワイヤーの蒸気圧が低いため、真空環境でガスが放出されず、炉内が清潔に保たれます。表面が滑らかで不純物含有量が少ないため、洗浄されたモリブデンワイヤーは接触抵抗を減らし、シールド効果を向上させます。

製造工程では、冷間引抜と超クリーンな洗浄を採用して、ワイヤーの表面に不純物がないことを確認します。リード線は真空ろう付けまたはプラズマ溶接で固定され、シールド領域を増やすには、シールド部品をメッシュまたはプレート構造に加工する必要があります。アニーリングプロセスにより、ワイヤーの靱性が最適化され、溶接中の亀裂が防止されます。技術的な課題には、真空環境の純度の維持とリード接続の長期的な信頼性の確保が含まれ、超高真空システムと高品質のはんだ付け技術が必要です。

5.6.3 結晶成長炉用構造材料

モリブデンワイヤーは、結晶成長炉(サファイア炉や単結晶シリコン炉など)で、種結晶を所定の位置に保持し、炉の内部を支えるためのシードクランプラインや構造材料として使用されます。その高い強度と高い耐熱性により、融点に近い温度での安定性が確保され、長時間の結晶成長プロセスに適しています。モリブデンランタンワイヤーは、再結晶温度が高いため、急激なランプと温度の熱衝撃に耐えることができ、変形や破壊のリスクを軽減します。

生産では、モリブデンワイヤーは冷間引抜および研磨プロセスによって準備され、表面仕上げと寸法の一貫性を確保します。部品はレーザーカットおよび溶接されており、複雑な炉の形状に対応するための正確な公差を備えています。アニーリングプロセスにより、ワイヤーの柔軟性が向上し、巻線または固定が容易になります。技術的な課題は、高温でのモリブデンワイヤーの耐酸化性と構造安定性を確保し、真空または不活性ガス環境での動作、および熱応力を低減するためのコンポーネント設計の最適化です。

5.7 電子部品用モリブデン線

モリブデン線は、電子部品の製造において重要な役割を果たしており、真空電子機器、熱電対、センサー、マイクロエレクトロニクスや集積回路の接続部品に広く使用されています。その高い導電性、非磁性、高温安定性、セラミックスやガラスとの熱膨張マッチング特性により、高精度・高信頼性の電子アプリケーションにおいて、何物にも代えがたい存在となっています。モリブデンワイヤーは、安定した機械的および電気的特性を維持しながら

ら、複雑な電磁環境と高温条件に耐えることができ、エレクトロニクス業界の精度と耐久性の厳しい要件を満たしています。

5.7.1 真空電子機器(チューブ、X線管)

モリブデン線は、電子管やX線管などの真空電子機器のカソードリード、支持構造、電極材料として使用され、電流を流し、重要な部品を固定します。電子管では、モリブデン線をカソードと外部回路を接続するリード線として使用しており、真空環境での高温と頻繁な電流パルスに耐えることで、安定した電子放出と信号伝送を確保する必要があります。その非磁性性により、電磁場との干渉が回避されるため、高周波チューブの用途に特に適しています。X線管では、モリブデン線が陰極支持体またはリード線として使用されていますが、熱膨張やアーク損傷による故障を防ぐために、高温および高真空条件下で構造的に無傷に保つ必要があります。その導電性と耐食性により、長期間の運転中に安定した電極性能を確保し、デバイスの寿命を延ばします。

製造工程では、モリブデンワイヤが非常に高い純度と表面仕上げを持つ必要があります、通常は超微細な冷間引きプロセスを使用して、マルチパス描画と焼鈍により微細な直径のワイヤを準備し、アルカリ洗浄と超音波洗浄による表面で酸化物層と粒子を除去し、不純物が電気的性能を妨げないようにします。モリブデン線は真空ろう付けまたはレーザー溶接によって装置に固定する必要があり、はんだ接合部は高温および機械的ストレスに対する耐性を備えている必要があります。洗浄されたモリブデンワイヤは、接触抵抗が低く、表面が滑らかなため、高精度デバイスに特に適しています。技術的な課題は、高温真空環境でモリブデンワイヤの耐酸化性と寸法安定性を確保することであり、超高真空装置と厳格な表面処理プロセスが必要であり、マイクロクラックや不純物の導入を回避するための溶接技術の最適化が必要です。

5.7.2 熱電対とセンサーの製造

モリブデン線は、高温熱電対やセンサーの製造におけるリード線またはセンシング素子として使用され、工業炉、航空宇宙、科学研究の温度測定に広く使用されています。その高温安定性により、極端な温度で長時間劣化することなく動作できるため、高温環境での正確なデータの測定に適しています。モリブデンワイヤの導電性により、センサの信頼性の高い信号伝送が保証され、熱膨張係数が低いため、セラミックまたは金属基板に適合して、熱サイクルによる亀裂や緩みを防ぎます。モリブデンランタンワイヤーには、耐クリープ性が高い酸化ランタンがドーピングされているため、高温の動的環境での安定性を維持し、センサーの寿命を延ばすことができます。

製造工程では、モリブデン線を冷間伸線法で細径にし、焼鈍することで加工応力をなくし、巻取や固定の自由度を高めます。表面の欠陥が信号品質に影響を与えないように、表面を研磨してクリーニングする必要があります。モリブデンワイヤは通常、レーザー溶接または機械的クランプによってセンサー構造内の所定の位置に保持され、接続ポイントは低抵抗と高強度に保つ必要があります。生産では、高温酸化を防ぐために、不活性ガスまたは真空環境で運転する必要があります。技術的な課題には、極端な温度でのモリブデンワイヤの化学的安定性の確保や、接触抵抗を減らすための接合プロセスの最適化などがあり、高精度の溶接装置と厳格なプロセス制御が必要です。

著作権および法的責任に関する声明

5.7.3 マイクロエレクトロニクスおよび集積回路の接続材料

モリブデン線は、マイクロエレクトロニクスや集積回路において、チップと外部回路を接続するための接続線やボンディング線として使用され、小型化や高信頼性のニーズに応えています。その高い強度と非磁性特性により、複雑な電磁環境でも信号伝送が妨げられず、高密度集積回路や微小電気機械システム(MEMS)に適しています。モリブデンワイヤの導電性により効率的な電流伝送が可能になる一方で、その表面仕上げはボンディング品質に直接影響し、接触抵抗と信号減衰を低減します。超極細モリブデン線は、ミクロンレベルの処理要件に適応して、精密接続に対する半導体業界のニーズを満たすことができます。

製造工程では超微細冷間引抜技術を採用し、超細径のワイヤーはマルチパス延伸と中間焼鈍によって調製され、寸法の一貫性と高い靱性を確保しています。表面は電気化学的に研磨および洗浄され、鏡面グレードの仕上げを実現し、微粒子や酸化物の汚染を防ぎます。モリブデンワイヤは、超音波ボンディングまたはレーザーはんだ付けによってダイに固定され、ボンディングポイントが強く、チップ構造に損傷を与えないようにします。技術的な課題は、高精度の伸線ダイとクリーンルーム環境を使用して、超極細モリブデンワイヤーの寸法精度と表面品質を達成し、ボンディングプロセスを最適化して接続強度と信頼性を向上させることです。

5.8 医療および航空宇宙用のモリブデン線

モリブデン線は、医療および航空宇宙分野で、過酷な環境や高精度のアプリケーションのニーズを満たす高温、耐食性、生体適合性のコンポーネントに使用されています。その高い強度、耐食性、高温安定性は、医療機器や宇宙船、特に長期的な信頼性と複雑な機械加工を必要とするシナリオで独自の利点をもたらします。

5.8.1 医療機器(X線ターゲットなど)の高温コンポーネント

モリブデン線は、X線ターゲット、発熱体、支持構造の医療機器、特にX線イメージング機器に使用されています。その高温安定性により、X線管内の高温や電子衝撃に耐えることができ、構造を損なわず、性能を安定させることができます。モリブデンワイヤーの導電性と低い熱膨張係数により、急速な熱サイクル中にターゲットが割れることがなくなり、高出力イメージング装置に適しています。モリブデンレニウムワイヤーは、その優れた靱性と耐食性により、高負荷ターゲットに特に適しており、腐食性環境で長時間動作できます。モリブデンワイヤーの生体適合性は、医療機器での安全な使用を保証するために厳密にテストされています。

生産では、モリブデンワイヤーは冷間引抜および研磨プロセスによって準備され、滑らかで欠陥のない表面を確保します。対象部品を電子ビームで溶接し、真空中で作動させることで酸化を防ぎます。製造工程には、靱性を向上させ、複雑な形状への加工を容易にするための焼きなましが含まれます。技術的な課題は、超高純度材料と精密溶接技術を使用して、高温および高真空条件下でのモリブデンワイヤーの安定性と生体適合性を確保しながら、厳格な品質テストを通じて微小亀裂や不純物がないことを確認することです。

5.8.2 宇宙船の高温・耐食性構造部品

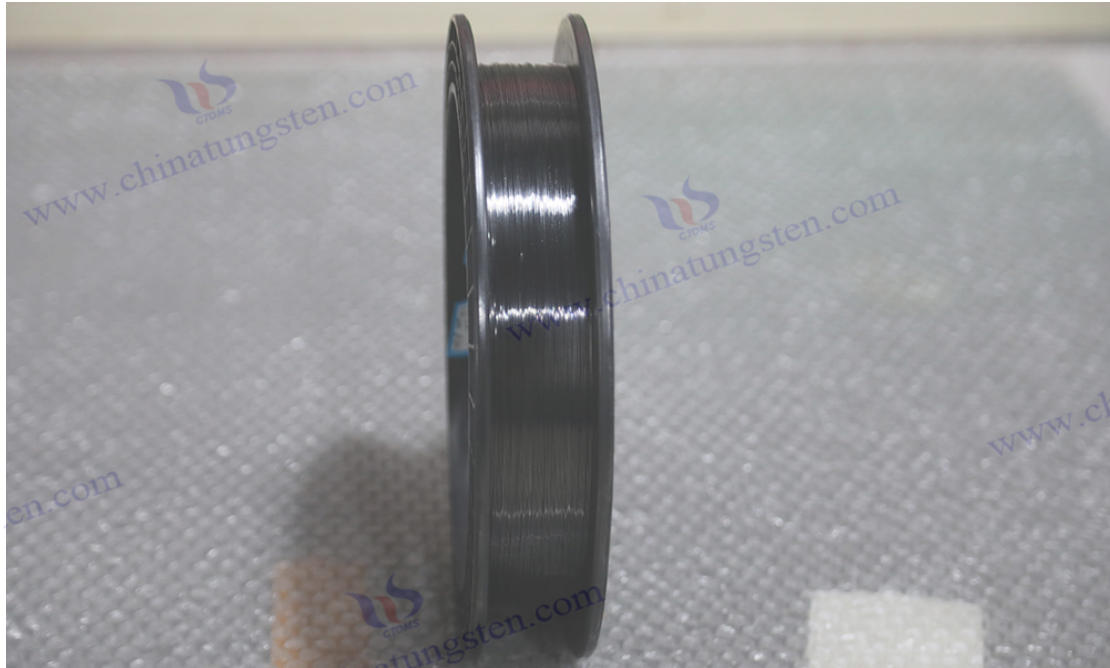
モリブデンワイヤーは、宇宙船でエンジンノズル、サーマルシールド、接続部品などの高温で耐食性のある構造部品に使用され、宇宙環境の極端な温度と化学的腐食の要件を満たします。融点が高く、耐熱衝撃性が高いため、高温のガス流でも安定しており、ロケットエンジンや再突入宇宙船の部品に適しています。レニウムの添加により、モリブデンレニウムワイヤーは靱性と耐食性を大幅に向上させ、硫黄含有または酸性の環境で長時間動作できるため、宇宙船のメンテナンス間隔が長くなります。熱膨張係数が低いため、熱サイクル中に構造部品が変形せず、宇宙船の構造的完全性が維持されます。

製造工程では、冷間引拔と高温焼鈍を使用して高強度のワイヤーを調製し、表面を研磨またはコーティングして耐酸化性を高めます。構造部品は真空ろう付けやプラズマ溶接で形成され、接続点には高温や振動に強いものが求められます。材料の酸化を防ぐために、製造中は不活性ガスまたは真空環境で運転する必要があります。技術的な課題には、モリブデンワイヤーの酸化防止コーティングと溶接プロセスを最適化して、航空宇宙環境の極端な条件に対処するとともに、コンポーネントの軽量で高い信頼性を確保することが含まれます。

5.8.3 低侵襲手術器具とインプラント材料

モリブデンワイヤーは、その高い強度、柔軟性、生体適合性により、医療現場の精度ニーズを満たすために、低侵襲手術器具(ガイドワイヤーなど)やインプラント(ステントなど)の主要材料として使用されています。超極細モリブデンワイヤーは、非常に細い直径に加工することができ、複雑な血管構造を通るカテーテルのガイドに適しており、その柔軟性により、小さな曲げ半径で折れることなく手術を行うことができます。モリブデンワイヤーの耐食性は、副作用を引き起こすことなく、内部環境での長期安定性を保証します。その優れた靱性と生体適合性により、モリブデンレニウムワイヤーは、複雑な機械的ストレスに耐えることができる高精度インプラントの製造に特に適しています。

生産では、超極細モリブデンワイヤーは、寸法精度と表面仕上げを確保するために、マルチパス冷間引拔と厳格な焼鈍プロセスによって準備されます。表面は電気化学的に研磨され、超清浄であるため、医療グレードの清浄度基準を満たし、粒子汚染を防ぎます。ガイドワイヤーはレーザーカットされ、微細加工されているため、組織の損傷を避けるために滑らかなエッジが確保されています。超極細モリブデン線の寸法一貫性と生体適合性を実現することは、高精度な伸線装置と厳しいクリーンルーム環境が必要となるとともに、生体適合性試験による安全性確保が課題となっていました。



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンワイヤー

第6章 モリブデン線製造設備

モリブデンワイヤーの生産は、原材料の取り扱いから粉末冶金、伸線まで、さまざまな高精度の機器に依存しており、その各ステップには高い信頼性、正確な制御、および環境適応性が必要です。これらのデバイスは、モリブデンワイヤーの高い純度、均一性、および機械的特性を確保し、電灯、ワイヤ切断、スプレーなどの多様なアプリケーションのニーズを満たすことができます。以下は、モリブデンワイヤーの製造に關与する原材料ハンドリング装置、粉末冶金装置、伸線装置の機能、プロセス要件、および運用上の課題を分析するための詳細なテキストの説明です。

6.1 原材料取扱設備

原料処理装置は、モリブデンから高純度のモリブデン原料を抽出し、モリブデンワイヤーの製造における基本的なリンクであるモリブデン粉末を調製するために使用されます。資源の浪費と環境汚染を削減しながら、原材料の純度と生産効率を確保するために、機器は効率的な分離、正確な制御、および環境性能を装備する必要があります。

6.1.1 鉬物処理装置

選鉬装置は、モリブデン鉬からモリブデン精鉬を分離し、関連鉬物(銅、硫化鉄など)を除去し、その後の精製のための高品質の原料を提供するために使用されます。コア機器には、クラッシャー、ボールミル、浮選セルが含まれます。クラッシャーは、その後の粉碎の効率を確保するために生鉬石を小さな粒子に粉碎し、高硬度の鉬石を処理できる高い耐摩耗性と大きな処理能力が必要です。ボールミルはさらに浮遊選鉬プロセスに適した微粒子に粉碎し、過粉碎による粒子の不均一を避けるために、効率的な粉碎媒体と正確な速度制御を装備する必要があります。浮選機は、コレクターと発泡剤を添加して液体媒体中のモリブデンと不純物を分離し、モリブデン精鉬の高い回収率を確保するために安定した気泡発

著作権および法的責任に関する声明

生および攪拌システムが必要です。

運転中、選鉱装置を正確なプロセスパラメータ制御システムと組み合わせて、スラリー濃度と気泡分布をリアルタイムで監視し、分離効率を最適化する必要があります。機器の材料は、耐腐食性があり、化学試薬の腐食環境に適応する必要があります。廃滓処理システムは、廃棄物のリサイクルや廃水の処理に使用され、環境汚染を低減します。技術的な課題は、エネルギー消費量と化学試薬の使用量を削減しながら選鉱効率と純度を向上させること、および環境要件を満たすために自動制御と排ガス処理ユニットを統合することでした。

6.1.2 モリブデン粉末製造装置

モリブデン粉末製造装置は、精製されたモリブデン精鉱を高純度のモリブデン粉末に変換するもので、主に焙煎炉や水素還元炉などがあります。焙煎機はモリブデン酸塩を酸化して酸化モリブデンにしますが、酸化反応が完全で残留硫化物がないことを保証するためには、高温加熱能力と均一な熱場分布が必要です。この装置には、硫黄酸化物を回収し、環境汚染を減らすための排ガス処理システムが装備されています。水素還元炉は、高純度の水素環境で運転する必要がある多段還元プロセスにより、酸化モリブデンを金属モリブデン粉末に変換し、正確な温度制御と気流調整により、粉末の均一な粒子サイズと低酸素含有量を確保します。

生産では、ロースターには、長期間の運転中に炉本体が損傷するのを防ぐために、高温で耐食性のある材料を装備する必要があります。炉内はモリブデン粉末の酸化を防ぐため不活性雰囲気で保護されており、高精度の流量計とガス精製システムにより水素の純度を維持しています。自動監視システムは、粉末の粒子サイズと化学組成をリアルタイムで検出し、品質の一貫性を確保します。技術的な課題は、還元プロセス中の大気安定性と粉末形態を制御し、炉内のガス流量分布と温度勾配を最適化し、炉に集塵装置を装備して安全性と環境への配慮を向上させることでした。

6.2 粉末冶金装置

粉末冶金装置は、モリブデン粉末を高密度ブランクにプレスして焼結するために使用され、その後の伸線のための強固な基盤を提供します。装置は、ブランクの密度均一性と微細構造の安定性を確保するために、高圧、精密制御、および高い信頼性を装備する必要があります。

6.2.1 プレス

プレスは、モリブデン粉末をロッドまたはプレートブランクにプレスするために使用され、一般的なタイプには冷間静水圧プレスや成形プレスが含まれます。冷間静水圧プレスは、液体媒体を介して均一な圧力をかけてモリブデン粉末を高密度ブランクにプレスし、複雑な形状のブランクの製造に適しており、装置には高強度のゴム金型と安定した圧力制御システムを装備する必要があります。ブランクに亀裂やボイドがないことを確認します。成形機は、モリブデン粉末を鋼製金型で規則状にプレスするため、少量生産に適しており、プレス工程のズレを避けるために高剛性のフレームと精密な金型位置合わせが必要です。

運転中、プレス機を振動テーブルまたは真空抽出装置と組み合わせて、粉末の空隙を減らし、ブランクの密度を高める必要があります。粉末の汚染を防ぎ、その後の焼結の品質に影響を与えるために、装置は清潔な環境で操作する必要があります。自動制御システムを使用して、圧力とプレス時間を監視し、バッチの一貫性を確保します。技術的な課題は、ブランクの密度を均一にし、摩耗や損傷を回避することであり、金型の定期的なメンテナンスと、欠陥を減らすためのプレスプロセスの最適化が必要です。

6.2.2 焼結炉

焼結炉は、モリブデン粒子が結合して高密度ピレットを形成するように、プレスブランクを高温に加熱するために使用され、中周波誘導炉または抵抗加熱炉で一般的に使用されます。焼結炉は、ブランクが高温で亀裂なく均一に緻密化されるように、高温加熱能力と正確な温度制御を備えている必要があります。この装置は、モリブデンブランクの酸化を防ぐために水素または不活性ガスで保護されており、炉内の雰囲気純度を維持するために効率的なガス循環および精製システムを装備する必要があります。焼結炉は、通常、バインダーを除去し、穀物の結合を促進するために、予備焼結と高温焼結の2つのゾーンに分かれており、温度分布を最適化するためにマルチゾーン加熱が必要です。

生産では、焼結炉には、長期間の高温運転に耐えるために、耐高温性炉材料を装備する必要があります。自動制御システムは、熱応力がブランクを変形させるのを防ぐために、加熱速度と冷却速度を監視します。排ガス処理装置は、揮発性不純物を回収し、環境保護基準を満たしています。技術的な課題は、焼結ピレットの微細構造の均質性と高密度を確保し、エネルギー消費と排気ガスを削減しながら、加熱プロファイルと雰囲気制御を最適化することです。

6.3 伸線装置

伸線装置は、焼結ブランクを細径のモリブデン線に加工するために使用され、これはモリブデン線の製造における重要なリンクです。装置は、モリブデンワイヤーの寸法精度と表面品質を確保し、精密アプリケーションのニーズを満たすために、高精度、安定性、効率的な潤滑および冷却機能を備えている必要があります。

6.3.1 伸線機

伸線機は、モリブデンブランクを金型を通じて細い線に徐々に伸ばすために使用され、熱線伸線機と冷間伸線機に分けられます。熱線伸線機は、高周波誘導加熱装置を備えた粗径のモリブデン線を製造するために使用され、高温でブランクを柔らかくし、引張抵抗を低減し、噴霧または発熱体用のモリブデン線の製造に適しています。冷間引抜機は、細径および超極細モリブデン線を製造するために使用され、線径が一貫して切れ目がないことを確認するために高精度の張力制御と速度調整が必要です。最新の伸線機は、マルチモード連続伸線で設計されており、マルチパスの同時延伸と生産効率の向上が可能です。

運転中、伸線機には、安定した品質を確保するために、ワイヤーの直径と表面の欠陥をリアルタイムで検出するためのオンライン監視システムを装備する必要があります。自動張力制御システムは、ワイヤーの変形や断線を防ぐために一定の引張力を維持します。金型の穴径と引張速度の精度を維持するために、装置は定期的に校正する必要があります。技

術的な課題は、高性能サーボモーターとレーザーキャリパーにより、超極細モリブデン線の連続延伸と高精度制御を実現しつつ、延伸速度を最適化して効率と品質を両立させることでした。

6.3.2 金型と潤滑システム

伸線ダイと潤滑システムは、伸線機のコアコンポーネントであり、モリブデンワイヤの表面品質と寸法精度に直接影響します。金型は通常、超硬合金またはダイヤモンド材料でできており、超硬合金金型は粗いモリブデン伸線に適しており、ダイヤモンド金型は超高硬度と耐摩耗性のため、超微細モリブデン線の精密加工に適しています。金型には、摩擦や表面の傷を減らすために、高精度の開口設計と滑らかな内壁が必要です。潤滑システムは、ダイとモリブデンワイヤとの間の摩擦を低減する水性または油性潤滑剤を提供し、ダイの寿命を延ばし、ワイヤの表面仕上げを改善します。冷却システムは、水を循環させたり、スプレー冷却したりしてダイスとワイヤーの温度を制御し、過熱による変形を防ぎます。

製造時には、穴のサイズの一貫性を維持するために、金型を定期的に研磨して交換する必要があります。潤滑システムには、潤滑剤から不純物を取り除き、モリブデン線の表面を傷つけないようにするためのろ過装置が装備されています。冷却システムは、均一な冷却を確保するために、安定した水温と流量を維持する必要があります。技術的な課題は、超極細モリブデン線の延伸における線材破損のリスクを減らすために、金型材料と潤滑剤の配合を最適化すると同時に、効率的な回収システムを装備して潤滑油の無駄と環境への影響を減らすことでした。

6.4 熱処理装置

熱処理装置は、モリブデンワイヤのアニールおよび高温処理に使用され、加工応力の緩和、微細構造の最適化、および靱性と延性の向上により、モリブデンワイヤが精密アプリケーションのニーズを満たすことを保証します。これらのデバイスは、モリブデンワイヤが酸化せず、高温で均一に機能するように、高精度の温度制御、安定した雰囲気保護、および効率的な熱場分布を備えている必要があります。

6.4.1 焼鈍炉

焼鈍炉はモリブデン線の熱処理に使用され、延伸工程で発生する応力を排除し、加熱と保温により電線の延性を回復させるもので、電線切断や電光源などの高精度な用途に適しています。アニール炉は通常、管状または連続設計で利用でき、水素またはアルゴンなどの不活性ガスの保護下で運転して、モリブデンワイヤーの表面の酸化を防ぐことができます。この装置にはマルチゾーン暖房システムが装備されており、均一な熱場を確保し、局所的な過熱による不均一な粒子を回避します。管状焼鈍炉は小ロット生産に適しており、焼鈍パラメータを柔軟に調整でき、連続焼鈍炉はコンベヤーベルトや牽引システムによる高速処理が可能で、大規模生産に適しています。

運転中、焼鈍炉は、熱応力がモリブデンワイヤの変形や亀裂を引き起こすのを防ぐために、加熱速度と冷却速度を正確に制御する必要があります。炉内の雰囲気は高純度である必要があります。微量の酸素と水を除去するためのガス精製および循環システムが装備されています。自動制御システムは、温度と雰囲気の状態を監視して、バッチ間で一貫したパフォーマンス

マンスを確保します。技術的な課題は、エネルギーとガスの消費量を削減しながら、靱性と強度のバランスをとるためにアニーリングプロセスを最適化することでした。そのため、効率的な熱回収システムとリアルタイム監視装置の統合が必要でした。

6.4.2 真空炉

真空炉は、モリブデン線の高温熱処理に使用され、特にモリブデンランタン線やモリブデンレニウム線の焼鈍など、非常に高い純度と酸化のない環境が求められる場面で使用されています。真空炉は、高真空環境により高温でのモリブデン線の酸化を防ぎながら、結晶粒精製やドーパ元素分布の最適化などの複雑な熱処理プロセスをサポートします。この装置には、高性能の真空ポンプとシーリングシステムが装備されており、超低空気圧環境を維持し、モリブデンワイヤの表面に不純物がないことを確認します。加熱システムは、抵抗加熱または誘導加熱を使用して、迅速に加熱して安定した熱場を維持でき、超極細モリブデン線または高性能合金線の加工に適しています。

生産では、真空炉には、長期運転の熱負荷に耐えるために、高温耐性のある炉材料を装備する必要があります。自動制御システムは、真空度と温度をリアルタイムで監視し、プロセスパラメータが安定していることを確認します。排気ガス処理装置は、揮発性不純物を回収し、環境保護の要件を満たしています。技術的な課題は、超高真空を維持し、マイクロリークを防ぐことであり、高精度のゲージとシーリング技術を使用しながら、加熱効率を最適化してエネルギー消費を削減する必要があります。

6.5 表面処理装置

表面処理装置は、モリブデン線の洗浄、研磨、コーティングに使用され、表面仕上げ、耐食性、機能性を向上させ、電気光源、真空コーティング、その他のアプリケーションの高品質要件を満たします。機器には、環境保護と安全性を確保しながら、効率的な洗浄機能と正確な表面改質機能を装備する必要があります。

6.5.1 苛性洗浄装置

アルカリ洗浄装置は、モリブデン線の表面の酸化物層と不純物を除去し、洗浄されたモリブデン線を準備するために使用されます。これは、電気光源やワイヤー切断などの表面品質要件が高いシナリオに適しています。装置は通常、灰汁浴、超音波洗浄ユニット、脱イオン水フラッシングシステムを備えた連続洗浄ラインです。灰汁浴は、水酸化ナトリウム溶液を使用してモリブデン線を洗浄し、酸化モリブデン層を除去し、洗浄効率を確保するために加熱および攪拌システムを装備する必要があります。超音波洗浄装置は、高周波振動を使用して微粒子や残留物を除去し、表面の清浄度を向上させます。脱イオン水フラッシングシステムは、灰汁の残留物を完全に除去し、二次汚染を防ぎます。

運転中、苛性洗浄装置は、モリブデンワイヤの表面を損傷することなく均一な洗浄を確保するために、溶液の濃度と温度を正確に制御する必要があります。廃液処理システムは、モリブデン酸の回収を中和し、沈殿させることにより、環境汚染を低減します。自動制御システムは、洗浄時間と液面を監視して、生産効率を向上させます。技術的な課題は、過度の腐食を避けるために洗浄プロセスを最適化すると同時に、高効率のろ過および中和装置を必要とする廃液の回収率を高めることでした。

著作権および法的責任に関する声明

6.5.2 研磨およびコーティング装置

研磨およびコーティング装置は、モリブデンワイヤの表面仕上げを改善したり、モリブデンシリサイドやジルコニアコーティングなどの機能性コーティングを塗布して耐摩耗性と耐酸化性を向上させるために使用されます。研磨装置には、電気化学研磨機と機械研磨機があり、電気化学研磨機は酸性電解質を使用して電気化学反応によりモリブデン線の表面を滑らかにし、均一な研磨を確保するために安定した電源と電解セルを装備する必要があります。機械式研磨機は、ダイヤモンド砥石や研磨ベルトを使用し、高い回転速度と精密な送り制御が求められる小ロットでの高精度な研磨に適しています。コーティング装置には、モリブデン線の表面に均一な保護層を堆積させることができる CVD(Chemical Vapor Deposition)装置とプラズマ溶射装置があり、真空チャンバーとガス制御システムを備え、コーティング品質を確保しています。

生産現場では、微粒子の混入を防ぐために研磨装置をクリーンな環境で操作する必要があります。表面品質を顕微鏡で検査して傷がないことを確認します。塗装装置では、塗装のムラや剥離を防ぐために、成膜速度や雰囲気を精密に制御する必要があります。技術的な課題は、高仕上げ仕上げと強力な接着コーティングを達成し、電解質の配合と堆積パラメータを最適化し、排ガス処理ユニットを環境基準に適合させることです。

6.6 試験および品質管理機器

検査および品質管理機器を使用して、モリブデンワイヤの寸法精度、表面品質、および機械的特性を評価し、製品がワイヤ放電加工、電子部品などのアプリケーションの基準を満たしていることを確認します。これらのデバイスは、効率的な生産と品質管理をサポートするために、高精度で応答性が高く、非破壊的である必要があります。

6.6.1 渦流探傷装置

渦流探傷装置は、モリブデン線表面の微小亀裂、介在物、内部欠陥を検出するために使用され、連続生産におけるインライン検査に適しています。電磁誘導の原理により、この装置はモリブデンワイヤの表面に渦電流を発生させて、欠陥によって引き起こされる電気信号の変化を検出し、高感度と高速スキャン能力を備えています。渦流探傷器には、通常、マルチチャンネルセンサーと自動スキャンシステムが装備されており、モリブデンワイヤの全長をリアルタイムで分析して軽微な欠陥を特定できます。生産を中断することなく高速検査をサポートするためには、装置を絞りラインと一体化する必要があります。

運転中、渦流探傷装置は、検出精度を確保するために、さまざまな直径のモリブデンワイヤに対応するように校正する必要があります。データ処理システムは、欠陥の位置と種類をリアルタイムで記録し、品質レポートを生成します。技術的な課題は、検出感度を向上させてミクロンスケールの欠陥を特定し、誤警報を回避し、センサーの設計と信号処理アルゴリズムを最適化することです。

6.6.2 引張試験機

引張試験機は、強度や延性などのモリブデンワイヤの機械的特性を試験し、ワイヤがアプリケーションのニーズを満たしていることを確認するために使用されます。本装置

は、引張力を制御して延伸過程におけるモリブデン線の変形・破壊挙動を測定するもので、粗いモリブデン線や極細線の性能評価に適しています。引張試験機には、小径のモリブデン線を損傷することなく正確に把持できる高精度グリップと力変換器が装備されています。自動制御システムは、引張曲線を記録し、材料の機械的特性を分析します。

生産現場では、引張試験機は、温度変化が試験結果に影響を与えるのを防ぐために、一定の温度環境で操作する必要があります。この装置は、力センサーと変位測定の精度を確保するために定期的に校正されています。技術的な課題は、超極細モリブデン線の試験、特殊な治具の設計、再現性向上のための試験パラメータの最適化など、クランプによる損傷を避けることです。

6.6.3 顕微鏡と分光器

顕微鏡と分光計は、モリブデンワイヤーの微細構造、表面トポグラフィー、化学組成を分析し、一貫した製品品質と性能を確保するために使用されます。光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡(SEM)は、モリブデン線表面の傷や亀裂、結晶粒構造を観察するために使用され、絞りや研磨結果の評価に適しています。分光器(X線光電子分光器やエネルギー分散型分析装置など)は、モリブデン線の元素組成と不純物含有量を検出し、ドーパされた元素の高純度と均一な分布を確保します。装置は、高分解能と高速分析機能を備え、バッチ検査に適している必要があります。

運転中、顕微鏡には高倍率の対物レンズと画像処理システムを装備し、鮮明な顕微鏡画像を生成する必要があります。分光器は、サンプルの汚染を防ぐためにクリーンな環境で操作する必要があります。データ解析ソフトウェアを使用して化学組成を定量的に評価します。技術的な課題は、顕微鏡の照明システムと分光器の校正プロセスを最適化しながら、超極細モリブデン線に対するデバイスの適合性を確保しながら、高速かつ高精度な分析を実現することです。

6.7 自動化とインテリジェント機器

自動化とインテリジェントな機器により、モリブデン線製造の効率、一貫性、トレーサビリティが向上し、伸線、検査、プロセス制御がカバーされます。これらのデバイスは、センサー、制御システム、およびデータ分析技術を統合することにより、効率的な生産と品質の最適化を可能にします。

6.7.1 自動伸線生産ライン

自動伸線生産ラインは、マルチモード伸線機、張力制御システム、オンライン検出装置を統合して、ブランクから完成したモリブデン線までの連続処理を実現します。サーボモーターと PLC 制御システムにより、装置は描画速度と張力を正確に調整し、線径が一定で破損しないようにします。生産ラインには、手動介入を減らし、生産効率を向上させるために、自動金型交換および潤滑システムが装備されています。連続焼鈍装置は伸線機と統合されており、リアルタイムで加工応力を緩和し、モリブデン線の靱性を最適化します。

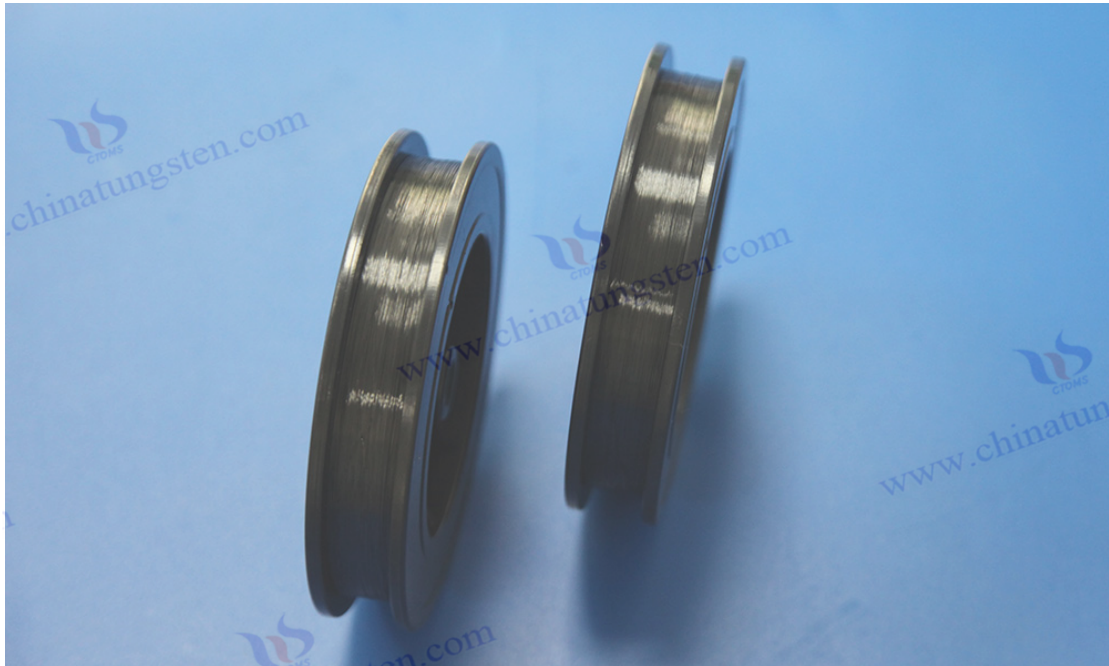
運転中、生産ラインには、線径と表面品質を監視するための高精度センサーを装備する必

要があり、データはリアルタイムで制御システムにフィードバックされ、プロセスパラメータが調整されます。自動化された生産ラインは、高い柔軟性で様々な仕様のモリブデンワイヤの生産をサポートします。技術的な課題は、複数の延伸パスの安定性と超極細モリブデンワイヤの連続処理を実現し、制御アルゴリズムと機器の統合を最適化しながら、ダウンタイムを削減することでした。

6.7.2 オンライン監視システム

オンライン監視システムは、直径、表面欠陥、機械的特性など、モリブデンワイヤの製造プロセスの主要なパラメータをリアルタイムで検出し、一貫した製品品質を確保するために使用されます。このシステムには、レーザーキャリパー、渦流探傷器、温度センサーが含まれており、伸線、アニーリング、表面処理中にリアルタイムでデータを収集します。レーザーキャリパーは、モリブデン線の直径のわずかな変化を非接触測定で検出するため、高速生産環境に適しています。データ処理システムは、MES(Manufacturing Execution System)を統合して生産パラメータを記録し、トレーサビリティとプロセスの最適化をサポートする品質レポートを生成します。

本番環境では、オンライン監視システムを生産ラインとシームレスに統合し、データをリアルタイムでコントロールセンターに送信する必要があります。センサーの精度とデータの信頼性を確保するために、システムは定期的に校正する必要があります。技術的な課題は、監視システムの応答性と感度を向上させ、センサーのレイアウトとデータ処理アルゴリズムを最適化し、高温および高真空環境でのシステムの安定性を確保することです。



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンワイヤー

著作権および法的責任に関する声明

第7章 モリブデン線の規格

高性能材料として、モリブデンワイヤーの製造と適用は、品質、性能、一貫性を確保するための厳格な基準の対象となります。国内規格、国際規格、業界規格は、電灯、ワイヤー切断、真空コーティングなどの多様なアプリケーションのニーズを満たすために、さまざまなレベルからモリブデンワイヤーの化学組成、機械的特性、寸法精度、および表面品質を標準化しています。これらの規格は、明確な技術要件と試験方法を通じて、生産、試験、貿易の統一された基盤を提供すると同時に、業界の技術進歩と国際発展を促進します。以下は、モリブデンワイヤーの国内規格、国際規格、業界規格、および規格の比較と適用性を分析するための詳細なテキスト説明です。

7.1 モリブデン線の国内規格

世界最大のモリブデンワイヤーの生産国として、中国はモリブデンワイヤーとその関連製品の製造、テスト、および適用を規制するための一連の国家規格(GB/T)を策定しました。これらの規格は、中華人民共和国の標準化管理局によって発行され、モリブデンワイヤー、モリブデンバー、モリブデンスラブの材料特性、処理要件、および品質管理をカバーし、国内のモリブデンワイヤーメーカーおよび下流アプリケーション業界で広く使用されています。

7.1.1 GB/T 4182-2003 《モリブデンワイヤー》

GB/T 4182-2003 は電気光源、ワイヤー切断および高温炉のような適用のモリブデンワイヤーのために適した中国のモリブデンワイヤーのための主要な国民規格です。この規格は、純粋なモリブデンワイヤーと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)をカバーするモリブデンワイヤーの分類、化学組成、機械的特性、寸法精度、および表面品質の要件を指定します。この規格では、高温および腐食性環境での安定性を確保するために、モリブデンワイヤーが高純度で均一な微細構造を備えていることが要求されています。検査方法には、モリブデンワイヤーがワイヤー切断の引張強度や電気光源の導電率など、さまざまなアプリケーションの性能要件を満たしていることを確認するための化学分析、引張試験、および表面検査が含まれます。

この規格は、伸線、焼鈍、表面処理などのモリブデン線の製造プロセスも規制しており、製造業者は汚染を防ぐためにクリーンな環境での運用を要求しています。梱包および保管要件により、モリブデンワイヤーが輸送中に湿気や酸化を受けず、表面品質が維持されます。技術的な課題は、高性能要件と製造コストのバランスを取り、検査プロセスを最適化して効率的で一貫した規格の施行を確保することです。この規格は、国内のモリブデンワイヤー業界に統一された技術基盤を提供し、製品の品質向上と市場競争力を促進します。

7.1.2 GB/T 3462-2007

GB/T 3462-2007 は、粉末冶金および伸線プロセスの原料に適したモリブデンワイヤーの製造に使用されるモリブデンバーおよびモリブデンスラブを規制しています。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、密度、表面品質、および寸法公差を詳細に指定しており、高性能モリブデンワイヤーへのその後の処理に適した、高純度で不純物含有量の少ない材料が必要です。この規格は、ブランクが均一な微細構造と機械的強

著作権および法的責任に関する声明

度を持っていることを確認するために、さまざまなタイプのモリブデンバー(焼結、鍛造など)の性能要件をカバーしています。

製造プロセスの要件には、粉末プレス、焼結、および熱処理が含まれ、酸化を防ぐために水素または真空環境で実行する必要があります。試験方法には、密度測定、金属組織分析、およびブランクの品質が図面要件を満たしていることを確認するための化学組成試験が含まれます。この規格では、ブランクを湿気や機械的損傷から保護するための梱包および輸送要件も指定されています。技術的な課題は、ブランクの均一性とバッチの一貫性を確保することであり、高精度のプレスおよび焼結装置が必要であり、検査プロセスを最適化して効率を向上させる必要がありました。この規格は、モリブデンワイヤ製造の上流リンクの仕様を提供し、原材料品質の安定性を促進します。

7.1.3 その他の関連する国内規格

上記の規格に加えて、中国は、GB/T 4197「モリブデンおよびモリブデン合金の化学分析方法」やGB/T 3461「モリブデン粉末」など、モリブデンワイヤーに関連する多くの国家規格も策定しており、モリブデン材料の化学組成分析と粉末調製を標準化するために使用されます。これらの規格は、モリブデン材料中の不純物元素(鉄、炭素、酸素など)の検出方法を詳しく説明しており、高性能アプリケーションのための材料の純度を確保するためには、高精度の分光分析と化学滴定技術の使用が必要です。他の規格もモリブデン線の包装、保管、輸送を扱い、湿気、酸化、機械的損傷に対する対策に重点を置いており、輸出市場と国内市場の両方に適用できます。

これらの規格は、原材料から完成品までの全プロセスをカバーするモリブデンワイヤ製造の完全な標準システムを構成しています。技術的な課題は、さまざまな規格の試験要件を調和させ、統一された品質管理システムを確立して実装の効率を向上させることです。同時に、モリブデンワイヤの用途の拡大に伴い、新しい技術や新しい市場ニーズに適応するために、規格を常に更新する必要があります。

7.2 モリブデン線の国際規格

国際規格は、モリブデン線の世界的な取引と適用のための統一された技術的基盤を提供し、主に米国材料試験協会(ASTM)、国際標準化機構(ISO)、および日本(JIS)やドイツ(DIN)などの国内標準化団体によって策定されています。これらの規格は、モリブデンワイヤとその合金の性能、処理、および試験要件を規制し、世界市場でのモリブデンワイヤの標準化された適用を促進します。

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

ASTM B387 は、モリブデンおよびモリブデン合金(モリブデン、ランタン、モリブデン、レニウムなど)のロッド、バー、およびワイヤをカバーするモリブデンワイヤーの最も広く使用されている国際規格であり、電気光源、真空コーティング、高温炉、およびその他の産業に適しています。この規格は、材料の化学組成、機械的特性、表面品質、および寸法公差を指定し、モリブデン線が高純度で高温に対する優れた耐性を持ち、極端な環境での用途に適していることを要求しています。この規格では、引張試験、硬さ試験、金属組織分析などの試験方法も詳細に説明されており、モリブデンワイヤがさまざまなアプリ

著作権および法的責任に関する声明

ケーションの機械的および電気的特性を満たしていることを確認しています。

製造プロセスの要件には、粉末冶金、伸線、熱処理などがあり、酸化を防ぐために高純度の雰囲気または真空中で操作する必要があります。この規格は、表面処理の重要性を強調し、モリブデンワイヤの表面に亀裂、引っかき傷、または酸化物層がなく、精密用途に適していることを要求しています。梱包および保管要件により、輸送および保管中にワイヤの品質が維持されます。技術的な課題は、高度な生産および試験装置を使用して、高精度と一貫性という規格の要件を満たすと同時に、プロセスを最適化してコストを削減することです。この規格は、世界のモリブデン ワイヤ市場に統一された技術リファレンスを提供し、国際的な貿易と応用を促進します。

7.2.2 ISO 規格

国際標準化機構(ISO)は、モリブデン材料の特性と試験方法に対処し、モリブデンワイヤの製造と適用に適した ISO 24361 など、モリブデンおよびモリブデン合金に関連する規格を開発しました。この規格は、モリブデンワイヤの化学組成、微細構造、および機械的特性を規制し、高温および腐食性環境に適した高純度と均一性を材料にする必要があります。試験方法には、モリブデン線が世界市場の品質要件を満たしていることを確認するための化学分析、顕微鏡観察、および機械的試験が含まれます。この規格は、製造プロセスの環境要件もカバーしており、排気ガスと廃液の排出の削減に重点を置いています。

ISO 規格は、モリブデンワイヤの国際的な汎用性に焦点を当てており、電気光源、ワイヤ切断、医療機器の分野における多国籍アプリケーションに適しています。分光計や引張試験機などの高精度な機器が生産に使用され、信頼性の高い結果を確保しています。技術的な課題は、ISO 規格と国内規格の違いを調整し、グローバルな品質管理システムを確立し、検査プロセスを最適化して効率を向上させることです。この規格は、モリブデンワイヤ業界の国際開発を促進し、製品の世界的な競争力を強化します。

7.2.3 その他の国際規格(JIS、DIN など)

また、日本工業規格(JIS)やドイツ工業規格(DIN)では、JIS H 4461「モリブデン及びモリブデン合金」や DIN EN 10204「金属製品の検査資料」など、モリブデン線に関する仕様が策定されています。JIS 規格は、モリブデン線の化学組成、機械的特性、および処理要件を規定しており、高精度と表面品質を重視して、日本市場の電気光源および電子部品用途に適しています。DIN 規格は、モリブデンワイヤの品質認証とテストドキュメントに焦点を当てており、メーカーは製品のトレーサビリティを確保するために詳細な材料性能レポートを提供することを要求しています。

これらの規格では、高純度の原材料を使用したモリブデン線の製造と、分光分析や表面検査などの精密機械加工プロセス、およびクリーンな環境での操作が求められています。技術的な課題は、さまざまな国内規格の特定の要件を満たし、費用対効果を確保しながら生産およびテストプロセスを柔軟に適応させることです。JIS 規格や DIN 規格は、モリブデン線の特定の市場への適用を技術支援し、地域市場の標準化を推進しています。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

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

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

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

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

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

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

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

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

7.3 モリブデン線業界標準

業界標準は、専門家団体または企業によって策定され、国内および国際標準を補完し、モリブデンワイヤ製造の特定のリンクまたはアプリケーションシナリオのより詳細な仕様を提供します。これらの規格は通常、実際の生産ニーズにより近く、技術革新と品質向上を推進します。

7.3.1 非鉄金属の標準化のための国家技術委員会(TC243)

非鉄金属標準化国家技術委員会(TC243)は、中国の非鉄金属業界の主要な標準化機関であり、YS / T 369「モリブデンワイヤーの化学分析方法」など、モリブデンワイヤーに関連する多くの業界標準を策定しています。これらの規格は、モリブデンワイヤーの不純物検出、性能試験、および製造プロセスの要件を詳しく説明しており、ワイヤー切断、真空コーティング、高温炉などの用途に適しています。この規格では、モリブデン線が高純度で安定した機械的特性を持つことが求められており、検出方法には、製品の品質が業界のニーズを満たしていることを確認するための高精度のスペクトル分析と引張試験が含まれます。

業界標準は、伸線機や焼結炉の動作パラメータなど、生産設備の動作仕様もカバーしており、プロセスの安定性と環境への配慮を強調しています。技術的な課題は、さまざまな生産シナリオに標準を適用し、さまざまな企業の機器とプロセスレベルを調整し、新しいテクノロジーとアプリケーションに適応するための標準の更新を促進することにあります。TC243規格は、中国のモリブデンワイヤー業界に技術ガイダンスを提供し、業界内での標準化された管理を促進します。

7.3.2 内部基準

モリブデンワイヤの大手メーカーで、特定の顧客ニーズとハイエンドアプリケーションに対応するための社内基準を設けています。これらの規格は通常、国内または国際規格よりも厳しく、超微細モリブデンワイヤ、モリブデンランタンワイヤ、またはモリブデンレニウムワイヤの性能要件に関する詳細な仕様を備えています。

同社の内部基準は、製品が航空宇宙や医療などのハイエンド市場のニーズを確実に満たすように、絞りダイの精度やアニリング雰囲気の高純度など、製造プロセスの詳細も規制しています。技術的な課題は、高い基準と生産コストのバランスを取り、プロセスと試験装置を最適化し、基準が顧客のニーズに合っていることを確認することです。これらの規格は、企業の技術革新と市場競争力を促進します。

7.4 モリブデン線標準の比較と分析

国内外の標準および業界標準の比較分析は、モリブデンワイヤ仕様の違い、適用性、および制限を理解し、生産と適用のガイダンスを提供し、標準システムの最適化と国際化を促進するのに役立ちます。

7.4.1 国内外の規格の違い

国内規格(GB / T 4182-2003 など)と国際規格(ASTM B387 など)には、化学組成、機械的特性、および試験方法の違いがあります。国内規格は、モリブデン線の汎用性にもっと注意

著作権および法的責任に関する声明

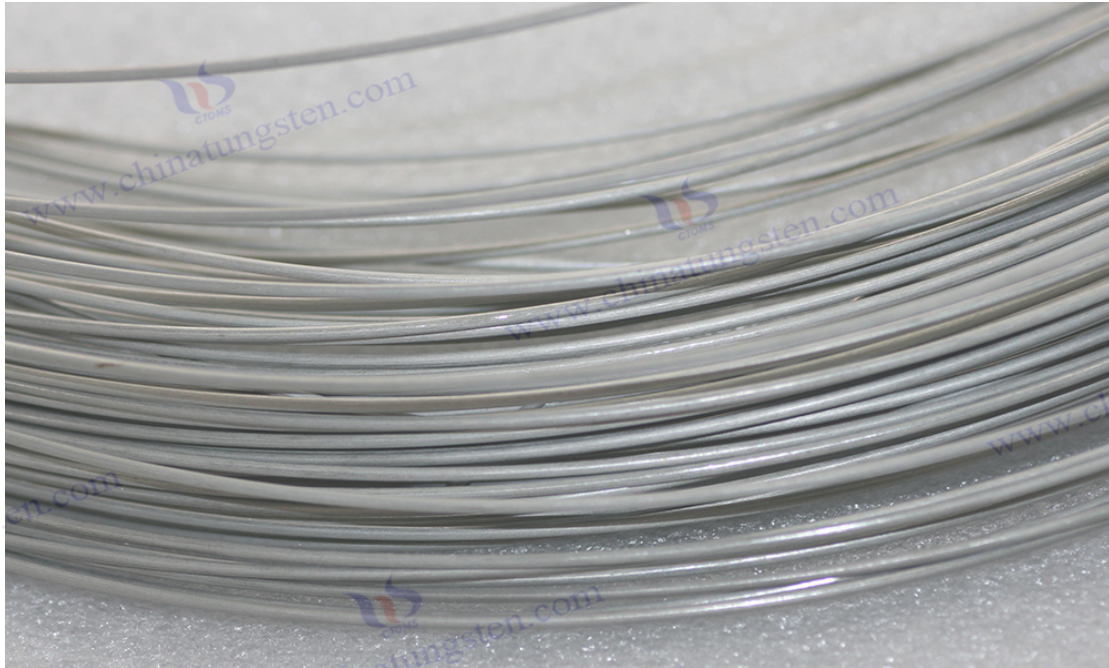
を払い、ワイヤー切断や電気光源などのさまざまなアプリケーションシナリオをカバーし、生産コストと効率を強調し、中国市場での大規模生産に適しています。国際規格は、航空宇宙や半導体などのハイエンドアプリケーションの性能要件に重点を置いており、高純度と精密なテストに重点を置いており、世界市場に適用できます。ISO 規格は国際的な共通性に焦点を当て、各国の要件を調和させますが、JIS 規格と DIN 規格は、日本の電子部品やドイツの品質認証など、地域市場の特定のニーズに重点を置いています。

検出方法に関しては、国内規格は主に化学分析と単純な機械的試験を使用しており、試験装置の要件は比較的単純ですが、国際規格では高精度の分光計と顕微鏡が必要であり、検出プロセスはより複雑です。梱包と保管の要件に関しては、国際基準はより厳しく、長距離輸送に適した防湿および抗酸化対策が強調されています。技術的な課題は、これらの違いを調和させ、統一された品質認証システムを確立し、国内外の基準の相互承認を促進することです。

7.4.2 規格の適用性と制限

モリブデンワイヤ規格の適合性は、アプリケーションシナリオと市場の需要によって異なります。国内規格は、ワイヤーカットや通常の電気光源などの大規模生産およびローエンドアプリケーションに適しており、実装コストが低く、プロモーションが容易です。国際規格は、航空宇宙や医療機器などのハイエンド市場に適用され、高性能の要件を満たしますが、実装には費用がかかります。業界標準と社内標準は、よりアプリケーション固有で柔軟性がありますが、適用範囲が限られており、業界横断的な展開には適していない可能性があります。

規格の限界は、更新が遅く、超極細モリブデン線や新合金線などの新しい技術やアプリケーションのニーズに迅速に適応するのが難しいことです。一部の規格には、環境保護と省エネの要件が不十分であり、グリーン製造仕様を補足する必要があります。普遍性と専門性を両立した規格の策定には技術的な課題があり、規格のダイナミックな更新とグローバルな適用を促進するためには、国際協力と産業界交流を強化する必要があります。



CTIA GROUP LTD モリブデンワイヤー

第 8 章 モリブデン線の検出方法

モリブデンワイヤーの性能は、電気光源、ワイヤーカット、真空コーティングなどの分野での応用効果に直接影響するため、正確な検出方法を通じてその化学組成、物理的特性、表面品質を評価する必要があります。これらの検出方法は、スペクトル分析、機械的試験、顕微鏡観察などのさまざまな技術をカバーしており、モリブデンワイヤーが国家規格(GB/T 4182-2003 など)、国際規格(ASTM B387 など)、および特定の業界ニーズを満たしていることを確認します。検査機器は、効率的な生産と品質管理をサポートするために、高精度で応答性が高く、非破壊的である必要があります。以下は、モリブデンワイヤーの化学組成試験、物理的特性試験、および表面品質試験の方法、プロセス要件、および課題の詳細なテキスト説明です。

8.1 モリブデン線化学組成試験

化学組成試験は、モリブデン線の純度と不純物含有量を分析し、材料が電気光源の導電率や高温炉の耐食性などの高性能アプリケーションの要件を満たしていることを確認するために使用されます。検出方法は、高感度と精度を持ち、微量元素を検出でき、モリブデン線(純粋なモリブデン線、モリブデンランタン線など)のさまざまな仕様に適応する必要があります。

8.1.1 分光分析(ICP-MS、XRF)

モリブデンフィラメントの化学組成を検出するには、分光法が主流で、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)や蛍光 X 線分析法(XRF)が一般的に使用されています。ICP-MS は、モリブデンワイヤーサンプルを溶液に溶解してイオン化することにより、元素のマスペクトルを分析し、微量不純物(鉄、炭素、酸素など)を正確に検出でき、高純度モリブデンワイヤーの組成分析に適しています。この装置には、高分解能質量分析計と精製システム

著作権および法的責任に関する声明

が装備されており、特に半導体や医療機器用のモリブデン線の厳しい要件に対して、試験結果が環境によって妨げられないようにしています。XRF は、モリブデン線の表面を X 線で励起し、蛍光信号を分析して元素組成を決定する非破壊法であり、迅速なバッチ検出に適しており、生産ラインの品質管理に広く使用されています。

運転中、ICP-MS は超清浄な環境で行われ、サンプル調製には酸の溶解と希釈が含まれ、汚染を避けるために溶液の純度を厳密に制御する必要があります。XRF 機器は、X 線源の安定性と精度を確保するために、定期的に校正する必要があります。信頼性の高い結果を得るためには、どちらの方法も標準と比較する必要があります。技術的な課題は、検出感度を高めて超低レベルの不純物を同定すると同時に、サンプル調製プロセスを最適化して検出時間を短縮することであり、効率的なデータ処理システムとクリーンルーム設備が必要です。

8.1.2 化学滴定

化学滴定は、化学反応によってモリブデンワイヤーの主要元素と一部の不純物を定量的に分析する従来の化学組成検出方法であり、実験室および小ロットテストに適しています。方法には、モリブデンワイヤーのサンプルを酸性溶液に溶解する方法、化学反応を開始するための特定の試薬を添加する方法、滴定エンドポイントによる元素含有量の決定などがあります。この方法は、操作が簡単で低コストで、モリブデン含有量や一般的な不純物(硫黄、リンなど)の検出に適しており、モリブデンワイヤ製造の初期段階での品質検証に広く使用されています。

化学滴定では、安定した反応条件と再現性のある結果を確保するために、高純度試薬と精密滴定装置を使用する必要があります。サンプル調製は、有害ガスの漏れを防ぐために、ドラフト内で行う必要があります。廃液は、環境保護要件を満たすために中和および沈殿する必要があります。技術的な課題は、微量不純物の検出のための滴定の精度を向上させ、試薬の配合と滴定プロセスを最適化し、手作業による取り扱いエラーを減らし、分光法と組み合わせて使用して信頼性を向上させることです。

8.2 モリブデン線の物性試験

物性試験では、引張強度、伸び、硬度などのモリブデンワイヤーの機械的特性を評価し、ワイヤー切断、発熱体などのアプリケーションの機械的要件を満たしていることを確認します。これらの方法では、極細なモリブデン線の微小サイズに対応しながら、さまざまな状態でモリブデン線の性能を正確に測定できる高精度な装置を使用する必要があります。

8.2.1 引張強度試験

引張強度試験は、引張荷重下でのモリブデン線の破断強度を測定するために使用され、その機械的強度と耐久性を反映しており、ワイヤー切断および高温炉用のモリブデン線に適しています。試験は引張試験機によって行われ、モリブデン線を特殊な固定具で固定し、破断するまで徐々に増加する引張力を加え、最大荷重と変形挙動を記録します。モリブデン線の表面を傷つけずに安定したクランプを確保するためには、高精度の力覚センサーと変位制御システムを装備する必要があります、粗いモリブデン線や超極細モリブデン線の試験に適しています。

運転中は、環境要因が結果に影響を与えるのを防ぐために、テストは一定の温度と湿度の環境で実行する必要があります。治具の設計は、摺動や局所的な応力集中を防ぐために、さまざまな直径のモリブデンワイヤに対応する必要があります。自動制御システムは、引張曲線を記録し、材料の強度と靱性を分析します。技術的な課題は、超極細モリブデンワイヤのクランプ安定性をテストし、特殊なマイクロフィクスチャを設計し、ひずみ速度が結果に影響を与えないようにテスト速度を最適化し、データがモリブデンワイヤの性能を正確に反映していることを確認することでした。

8.2.2 伸び試験

伸び試験は、引張破壊前のモリブデン線の塑性変形能力を評価し、その延性と靱性を反映しており、マイクロエレクトロニクス用の電気光源やモリブデン線に適しています。この試験は通常、引張強度試験と組み合わせて行われ、引張試験機を使用して引張プロセス中のモリブデンワイヤの伸びを記録し、その伸びを計算します。装置には、ミクロン単位の変形を検出できる高精度の変位センサーを装備する必要があります、これは超極細モリブデン線の試験に適しています。試験結果は、曲げまたは巻線プロセスにおけるモリブデンワイヤの適合性を評価するために使用されます。

運転中、試験では、早期破壊が結果に影響を与えるのを防ぐために、モリブデンワイヤの表面に欠陥がないことを確認する必要があります。偏心力の影響を減らすために、固定具を正確に位置合わせする必要があります。自動システムは、変形曲線を記録し、モリブデンワイヤの塑性挙動を解析します。技術的な課題は、高精度の変形測定を実現し、センサーの感度と治具の設計を最適化しながら、再現性のための安定した試験環境を確保することです。

8.2.3 硬さ試験

硬さ試験は、モリブデン線の耐摩耗性と加工性を反映して、モリブデン線の変形抵抗性を評価し、溶射やワイヤー切断用のモリブデン線に適しています。ピッカース硬さ試験または微小硬さ試験は、モリブデン線の表面に特定の荷重を加え、くぼみサイズを測定することにより、材料の硬さを決定するために一般的に使用されます。装置には、高精度の圧子と顕微鏡を装備する必要があります、小さな領域でテストを行うことができ、超極細モリブデンワイヤの検出に適しています。試験結果は、高負荷環境下でのモリブデン線の耐久性を評価するために使用されます。

運転中、表面の汚染がくぼみ測定に影響を与えるのを防ぐために、テストは清潔な環境で実行する必要があります。モリブデンワイヤは、テストポイントが平らであることを確認するために、特別な固定具に固定する必要があります。自動システムは、くぼみ画像を記録し、硬度値を計算します。技術的な課題は、高分解能顕微鏡と小型圧子を使用して、超極細モリブデンワイヤの位置決め精度をテストしながら、ワイヤー表面の損傷を避けるために荷重選択を最適化することでした。

8.3 モリブデン線表面品質検査

表面品質検査は、モリブデン線の表面仕上げ、欠陥、粗さを評価し、電灯、真空コーティングなどのアプリケーションの高い要件を満たしていることを確認するために使用され

ます。検査方法は、高解像度で非破壊的であり、表面の欠陥を迅速に特定し、インライン検査を可能にする必要があります。

8.3.1 顕微鏡観察

顕微鏡観察により、モリブデン線表面の傷や亀裂、酸化層を検査し、電灯や電線切断用モリブデン線の品質管理に適しています。光学顕微鏡は、表面トポグラフィの迅速な検査に最適で、ミクロンサイズの欠陥を観察するための高倍率対物レンズが装備されています。走査型電子顕微鏡(SEM)は、超微細なモリブデン線の微細構造や表面欠陥の分析、粒界の解明、加工痕跡の解析に適しており、より高い分解能を提供します。装置には、欠陥の分類と分析を容易にするために、鮮明な表面画像を生成する画像処理システムを装備する必要があります。

運転中、モリブデンワイヤーは超音波で洗浄して表面の不純物を除去し、観察との干渉を防ぐ必要があります。顕微鏡は、画質と解像度を確保するために定期的に校正する必要があります。試験結果は、絞りおよび表面処理プロセスの有効性を評価するために使用されます。技術的な課題は、超極細モリブデンワイヤーの顕微鏡イメージング精度の向上、照明システムとサンプル固定の最適化、環境振動の影響の低減でした。

8.3.2 渦流探傷

渦流探傷試験は、モリブデン線表面の微小亀裂、介在物、内部欠陥を検出するために使用され、電子部品のモリブデン線のワイヤー切断やインライン検査に適しています。電磁誘導の原理により、モリブデン線の表面に渦電流を発生させ、欠陥による電気信号の変化を検出する装置で、非破壊で高感度な特性を持っています。渦流探傷器は、マルチチャンネルセンサーと、長いモリブデンワイヤーを迅速に検出し、小さな欠陥を特定できる自動スキャンシステムを備えているため、連続生産環境に適しています。

運転中、検出感度を確保するために、さまざまな直径のモリブデンワイヤーに対応するように装置を校正する必要があります。データ処理システムは、欠陥の位置と種類をリアルタイムで記録し、品質レポートを生成します。渦流探傷は、高速検査に対応するために伸線ラインと一体化する必要があります。技術的な課題は、ミクロンスケールの欠陥を特定するための検出精度を向上させ、センサーの設計と信号処理アルゴリズムを最適化しながら、誤警報を減らして信頼性を向上させることです。

8.3.3 表面粗さ試験

表面粗さ試験は、モリブデン線の表面の平滑性を評価する試験で、真空コーティングや電灯での性能に影響を与えます。この試験では、接触式または非接触式の粗さ試験機を使用し、接触装置はプローブを介してモリブデン線の表面をスキャンして表面形状の変化を測定するため、粗いモリブデン線の検査に適しています。非接触デバイスは、レーザーまたは光学システムを使用し、プローブの損傷を防ぐための超極細モリブデンワイヤーの検査に適しています。装置には、ワイヤーの仕上げを反映する表面粗さパラメータを生成するために、高精度のセンサーとデータ分析システムを装備する必要があります。

運転中は、モリブデン線を清掃して表面から油分を除去し、精度を確保するために振動の

ない環境で試験を実施する必要があります。自動化されたシステムは、プロファイルデータを記録し、表面品質を分析します。技術的な課題は、超極細モリブデンワイヤーの位置決め精度をテストし、プローブまたはレーザーシステムの感度を最適化し、モリブデンワイヤーのさまざまな直径に対するデバイスの適応性を確保することです。

8.4 モリブデン線のサイズと公差試験

寸法および公差試験は、モリブデンワイヤの直径の一貫性と幾何学的精度を評価するために使用され、ワイヤ放電加工、電気光源、真空コーティングなどのアプリケーションの高精度要件を満たしていることを確認します。検出方法は、高解像度、高速応答、非破壊性の特徴を持ち、粗いモリブデンワイヤーから超微細モリブデンワイヤーまでのさまざまな仕様に適応し、国内規格(GB / T 4182-2003 など)および国際規格(ASTM B387 など)の厳しい要件を満たす必要があります。

8.4.1 レーザーキャリパー

レーザーキャリパーは、モリブデン線の直径と真円度をオンラインまたはオフラインで検出するために使用され、伸線生産ラインのリアルタイム品質管理に広く使用されています。このデバイスは、レーザービームを放射してモリブデンワイヤーの表面をスキャンし、反射または透過した光信号を分析し、ワイヤーの直径と幾何学的偏差を計算します。レーザーキャリパーには、モリブデン線の表面の損傷を防ぐ非接触測定の特長があり、特に極細モリブデン線の検出に適しています。その高解像度と高速応答機能により、小さな寸法変化をリアルタイムでキャプチャでき、ワイヤがワイヤ放電加工のミクロンレベルの公差などの精密アプリケーションのニーズを確実に満たすことができます。

動作中、レーザーキャリパーは、外部干渉が測定精度に影響を与えるのを防ぐために、振動のない環境で操作する必要があります。この装置には多軸レーザーシステムが搭載されており、モリブデンワイヤの全周を検査し、詳細な寸法レポートを生成することができます。校正システムは、信頼性の高い測定結果を確保するために、標準サンプルを使用します。技術的な課題は、超極細モリブデン線に対する検査システムの感度を向上させ、レーザー光源と信号処理アルゴリズムを最適化し、リアルタイムのフィードバックとプロセス調整のためのオンライン監視システムを統合することでした。

8.4.2 マイクロメータとマイクロ測定

マイクロメータとマイクロ測定は、モリブデンワイヤの直径と表面形状のオフライン検査に使用され、実験室や少量の品質検証に適しています。マイクロメータは、精密な機械構造によってモリブデンワイヤの直径を測定し、粗いモリブデンワイヤと中径ワイヤの寸法偏差を検出する高精度プローブを装備しており、モリブデンワイヤの噴霧または発熱体に適しています。光学顕微鏡またはデジタル顕微鏡システムと組み合わせた顕微鏡測定は、モリブデンワイヤーの表面を拡大し、直径と真円度を正確に測定し、超微細モリブデンワイヤーの検出に適しており、マイクロエレクトロニクスおよび医療機器の高精度要件を満たしています。

動作中、マイクロメータは定期的に校正してプローブが平らで摩耗しないようにする必要があり、変形を避けるためにモリブデンワイヤを静かにクランプする必要があります。顕

微鏡測定には、モリブデンワイヤーのきれいな表面、油や粒子を除去するための超音波洗浄、および熱膨張の影響を排除するための一定温度での試験が必要です。データ処理システムは、測定結果を記録し、公差分析レポートを生成します。技術的な課題は、測定精度が超極細モリブデンワイヤーに適していることを確認し、顕微鏡の倍率とマイクロメーターのプロブ設計を最適化しながら、操作エラーを減らして再現性を向上させることです。

8.5 モリブデン線の他の試験

他の試験方法では、モリブデン線の高温耐性、耐食性、および電気的特性を評価し、高温炉、化学環境、および電子部品での信頼性を確保します。これらの方法は、実験室でのテストと環境シミュレーションを組み合わせ、極端な条件下でのモリブデンワイヤーの性能を検証し、航空宇宙や医療などのハイエンドアプリケーションのニーズを満たすものです。

8.5.1 高温耐性試験

高温性能試験は、高温環境下でのモリブデンワイヤーの安定性、耐クリープ性、耐酸化性を評価し、高温炉や航空宇宙用モリブデンワイヤーに適しています。本試験では、高温炉を通じて実際の使用環境を模擬し、モリブデン線を高温雰囲気(水素や真空など)に置き、その変形、酸化膜形成、機械的特性の変化を観察します。この装置には、高精度の温度制御システムと雰囲気調整装置が装備されており、さまざまな高温条件をシミュレートして、テスト結果が実際のアプリケーションでのモリブデンワイヤーの性能を反映していることを確認できます。この試験には、急激な温度ランプ下でのモリブデンワイヤーの耐熱衝撃性を評価するための熱サイクル実験も含まれています。

運転中、モリブデンフィラメントの酸化を防ぐために、試験は高純度の雰囲気または真空環境で実施する必要があります。機器には温度をリアルタイムで監視するための赤外線温度計を装備する必要があります。試験片固定具は、モリブデンワイヤーが均一に加熱されることを保証し、試験後に顕微鏡で表面と微細構造の変化を観察します。技術的な課題は、試験精度を維持しながら極端な高温条件をシミュレートし、炉内の熱場分布と雰囲気制御を最適化し、環境要件を満たす効率的な排気ガス処理システムを装備することでした。

8.5.2 耐食性試験

耐食性試験は、酸、アルカリ、ハロゲンガスなどの化学環境下でのモリブデン線の安定性を評価する試験で、ハロゲンランプ、スプレーコーティング、医療機器用モリブデン線などに適しています。この試験では、モリブデンワイヤーを塩溶液や酸などの腐食性媒体に浸すか、腐食性ガスにさらすことにより、表面腐食、質量損失、および性能の変化を観察します。この装置には、さまざまな化学環境をシミュレートできる腐食チャンバーとガス循環システム、および腐食の程度を分析するための高精度天びんと顕微鏡が含まれています。この試験では、電気化学的方法を組み合わせ、モリブデン線の腐食電位と電流を測定し、その耐食性メカニズムを評価します。

運転中は、中濃度と環境条件が厳密に制御され、再現性のある結果が保証されます。サンプルは超音波で洗浄されて表面の不純物を除去し、腐食生成物はテスト後に分光分析によ

って検出されます。廃液や排気ガスは、環境基準を満たすために中和およびろ過する必要があります。技術的な課題は、複雑な化学環境の多様性をシミュレートし、チャンバーの設計と腐食性媒体の配合を最適化しながら、バッチ検査をサポートするための試験効率を向上させることです。

8.5.3 電気的性能試験

電気的性能試験は、モリブデン線の導電率と抵抗特性を評価するもので、電灯、電子部品、電線切断用モリブデン線に適しています。この試験では、モリブデンワイヤの抵抗率と接触抵抗を4プローブ法または抵抗テスターを使用して測定し、電流伝導効率を反映します。この装置には、抵抗の小さな変化を検出できる高精度の電流源と電圧計が装備されており、超極細モリブデン線の試験に適しています。この試験には、ワイヤー切断のアーキ性能をシミュレートし、高周波電流下でのモリブデンワイヤーの安定性を評価するための高周波放電実験も含まれています。

運転中は、環境要因が抵抗測定に影響を与えるのを防ぐために、一定の温度と湿度の環境でテストを実施する必要があります。モリブデンワイヤを洗浄して表面から酸化層を除去し、テストフィクスチャは接点が安定していてワイヤを損傷しないことを確認する必要があります。データ処理システムは、抵抗曲線を記録し、電気的特性の均一性を分析します。技術的な課題は、超極細モリブデン線に対する試験の感度を高め、治具の設計と電流制御を最適化しながら、機器をさまざまな線径の検査ニーズに適合させることです。

8.6 廃モリブデン線の同定方法

廃モリブデン線の識別方法は、廃モリブデン線を新しい線や他の金属線(タングステン線、鋼線など)と区別し、リサイクルと再利用をサポートし、資源の無駄を削減するために使用されます。これらの方法はシンプルで効率的で、生産とリサイクルの両方に適しており、物理的、化学的、機械的特性を兼ね備えています。

8.6.1 バーンテスト

燃焼試験では、廃モリブデン線を加熱して反応特性を観察し、その材質を特定します。モリブデン線は高温では溶けにくく、表面には黄色の酸化モリブデン粉末が形成されますが、他の金属(鋼線など)は溶けたり、異なる色の酸化物を生成したりすることがあります。この試験では、小型の燃焼炉またはブロー torch を使用して、空気中のモリブデンワイヤーを加熱し、その色の变化と酸化生成物を観察します。装置には、安全な操作を確保するために、高温加熱装置と換気システムを装備する必要があります。

運転中、試験はヒュームフード内で行われ、酸化粉末の拡散を防ぎます。不純物を避けるためにサンプルを洗浄し、試験後に顕微鏡で酸化生成物の形態を観察します。技術的な課題は、モリブデン線を高融点の他の金属(タングステン線など)と迅速に区別し、他の試験方法を組み合わせることで識別の精度を向上させることです。

8.6.2 磁気試験

磁気試験では、モリブデン線の非磁性特性を利用して、鋼線などの強磁性材料と区別します。このテストでは、強力な磁石または磁気検出器を使用して、スクラップモリブデンワ

著作権および法的責任に関する声明

ワイヤーが磁化されているかどうか、モリブデンワイヤーが非磁性の性質のために引き付けられないかどうか、および鋼線は通常、大きな磁気性を示します。この装置はシンプルで持ち運び可能で、現場での迅速な検出に適しており、廃棄物の分別に広く使用されています。

動作中、テストでは、磁石の強度が十分であり、検出環境に強い磁場干渉がないことを確認する必要があります。サンプルの表面は、蓄積が結果に影響を与えないように洗浄する必要があります。技術的な課題は、モリブデンワイヤーを他の非磁性金属(タングステンワイヤーなど)と区別し、他の方法を組み合わせて識別の信頼性を向上させることです。

8.6.3 濃硝酸試験

濃硝酸試験は、化学反応によって廃モリブデンフィラメントを特定し、濃硝酸中のモリブデンフィラメントの反応性が低いことを利用します。モリブデン線は濃硝酸中でゆっくりと反応し、表面は滑らかなままですが、銅や鋼などの他の金属はすぐに溶解するか、重大な腐食を引き起こす可能性があります。この試験では、使用済みモリブデンフィラメントを濃縮硝酸溶液に浸して反応速度と表面変化を観察し、装置には耐酸性容器と換気システムが含まれており、安全な操作を確保しています。

運転中、試験はヒュームフード内で行われ、酸性ガスの漏れを防ぎます。サンプルを洗浄して表面から油を取り除き、試験後に腐食の痕跡を顕微鏡で観察する必要があります。廃液は、環境保護の要件を満たすために中和および処理する必要があります。技術的な課題は、硝酸濃度と反応時間を制御することであり、モリブデンワイヤーを他の耐食性金属と区別するために試験条件を最適化する必要があります。

8.6.4 重量と弾力性のチェック

重量と弾性のチェックは、スクラップモリブデンワイヤーの密度と機械的特性を測定することによって特定されます。モリブデンワイヤーは、アルミニウムやスチールなどの他の金属とは異なる高密度と弾力性を備えています。このテストでは、精密天びんを使用してモリブデンワイヤーの重量を測定し、長さと一緒に合わせて密度を計算します。弾性チェックでは、モリブデンワイヤーの柔軟性と弾力性を手動曲げまたは特殊な固定具でテストし、モリブデンワイヤーは通常、高い靱性と弾性回復を示します。

運転中は、高精度の天びんを使用して正確な重量測定を行います。弾性試験は、モリブデン線が切れるのを防ぐために穏やかに操作する必要があります、これは粗いモリブデン線の識別に適しています。技術的な課題は、モリブデン線を他の高密度金属と迅速に区別し、燃焼試験や化学試験と一緒に合わせて精度を向上させるとともに、試験プロセスを最適化してバッチの識別をサポートすることです。



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンワイヤー

第9章 モリブデン ワイヤー市場と開発動向

高性能材料として、モリブデンワイヤーはワイヤー切断、電気光源、航空宇宙、新エネルギー、医療の分野で幅広い用途があり、その市場開発は世界的な産業技術の進歩、資源分配、下流の需要の影響を受けています。世界のモリブデンワイヤー市場は着実な成長を続けており、アジア太平洋地域、特に中国は、その資源の利点と製造能力により支配的な地位を占めています。国内市場は非常に競争が激しく、大企業は技術革新と大規模生産を通じて市場での地位を強化し、中小企業は市場セグメントに焦点を当てています。将来的には、モリブデンワイヤー業界は高性能、インテリジェンス、持続可能性の方向に発展し、新材料、新プロセス、新エネルギー、5G、医療分野の応用により、市場空間がさらに拡大します。以下は、世界および国内のモリブデンワイヤー市場の現状、および技術の進歩とアプリケーションの見通しについての詳細な分析です。

9.1 世界のモリブデンワイヤー市場の概要

世界のモリブデンワイヤー市場は、資源分布、生産能力、および下流のアプリケーション需要の組み合わせによって推進されています。精密機械加工、電子機器、高温環境におけるモリブデンワイヤーのユニークな特性により、モリブデンワイヤーはかけがえのない材料であり、市場の需要は産業技術のアップグレードと密接に関連しています。市場の発展は、原材料価格の変動、代替材料の競争、環境保護要件などの課題に直面しており、効率的な試験技術とプロセスの最適化を通じて製品の品質と市場競争力を確保する必要があります。

9.1.1 主要生産国

中国、米国、チリ、ペルー、カナダは、世界のモリブデンワイヤーの主要な生産国であり、それぞれがその資源の利点と製造技術により市場で重要な位置を占めています。中国には

著作権および法的責任に関する声明

世界最大のモリブデン鉱石埋蔵量があり、Luanchuan、Henan、Jinduicheng、Shaanxi などに集中しており、モリブデン採掘からモリブデンワイヤー加工までの完全な産業チェーンを形成しています。大規模な生産と高度な伸線技術により、国内企業はワイヤー切断、電気光源、高温炉用のモリブデンワイヤーを供給し、製品は北米、ヨーロッパ、東南アジアに輸出されています。米国は、航空宇宙および医療用の極細モリブデン線などの高付加価値モリブデン線に焦点を当てており、高精度の生産設備と厳格な試験技術(レーザー直径測定、ICP-MS など)に依存して、ハイエンド市場の需要に対応しています。チリとペルーは、銅-モリブデン関連鉱石資源を使用してモリブデン精鉱を生産し、それをモリブデンワイヤーに加工して、特に南アメリカとヨーロッパの世界市場に輸出しています。カナダは、高効率の選鉱と冶金技術により高純度のモリブデン線を供給しており、主に北米市場にサービスを提供しています。

中国はコスト管理と生産規模に焦点を当て、米国とカナダは高性能と精密機械加工を強調し、チリとペルーは原材料供給に焦点を当てています。製造時には、試験方法(渦電流探傷、化学組成分析など)により、モリブデンワイヤーが国際規格(ASTM B387 など)を満たしていることが確認されます。技術的な課題は、資源開発と環境要件を調和させ、選鉱と製錬のプロセスを最適化し、高精度のテストを通じて製品の品質を向上させることです。たとえば、中国企業は、伸線とオンライン監視システムを自動化することにより、モリブデンワイヤーの寸法一貫性と表面仕上げを大幅に改善しました。

9.1.2 市場の需要と供給

モリブデンワイヤーの市場需要は、主にワイヤー切断、電気光源、航空宇宙、新エネルギー産業から来ています。ワイヤーカットの分野では、高強度で細径のモリブデンワイヤーが強く求められており、特に自動車の金型、航空宇宙部品、精密機械加工では、モリブデンワイヤーは高い引張強度と耐摩耗性が必要であり、その性能は引張試験と表面粗さ試験によって保証されています。電気光源業界は、ハロゲンランプ、LED フィラメント、X 線管リード線に使用されているモリブデン線の高温安定性と導電性に依存しており、その低抵抗特性を検証するために電気的特性をテストする必要があります。航空宇宙産業では、耐クリープ性、耐食性に優れたモリブデン線が求められており、信頼性を確保するために高温性能試験や顕微鏡観察が求められるエンジンノズルや高温サポートに使用されています。薄膜太陽電池や風力発電機器などの新エネルギー産業では、モリブデン線の導電率と耐食性に対する要求が高まっており、化学滴定と腐食試験を通じて材料の安定性を検証しています。

供給側では、世界のモリブデンワイヤー生産は、モリブデンの採掘効率と価格変動の影響を受けます。製造業者は、サプライチェーンを最適化し、リソースを統合することにより、原材料の供給を安定させます。たとえば、中国企業は、国内のモリブデン鉱石資源を使用して、高効率の鉱物処理装置(浮選機など)と粉末冶金技術を通じてモリブデン粉末の品質を確保しています。技術的な課題には、原材料価格の変動への対処と生産効率の向上、および第 8 章で説明したように、スマートマニュファクチャリングとオンライン監視システムなどの品質トレーサビリティ技術によるコスト削減が含まれます。また、タングステンフィラメントやカーボンナノチューブなどの代替材料との競争にも直面しており、モリブデンワイヤーの性能優位性を向上させるためのプロセス革新と検出技術(分光分析など)

著作権および法的責任に関する声明

が必要です。

9.2 国内モリブデンワイヤー市場

中国は世界最大のモリブデンワイヤーの生産国および消費者であり、豊富なモリブデン資源と国内外の市場のニーズを満たすための完璧な製造システムに依存しています。市場は非常に競争が激しく、大企業は技術革新とブランドの利点を通じて支配的であり、中小企業はカスタマイズされた製品と地域市場競争を通じて支配的です。

9.2.1 主要メーカー(例:CTIA GROUP LTD)

CTIA GROUP LTD は、独立した法的地位を持つ Chinatungsten Online の完全子会社です。インダストリアルインターネットの時代において、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取り組んでいます。同社は、モリブデン精錬から高純度モリブデンワイヤー加工まで、完全な産業チェーンを所有しています。生産設備は、先進のマルチダイ伸線機や自動焼鈍炉、検査技術はレーザー径計や渦流探傷器など。これらの製品は、ワイヤーカット、電灯、高温炉で広く使用されており、高精度と高温性能の要件を満たしています。

9.2.2 市場シェアと競争情勢

国内のモリブデンワイヤー市場は、高濃度と地域競争のパターンを示しています。競争力のある推進力には、技術革新、検査精度、生産効率などがあります。大手企業は、サプライチェーンを統合し、自動伸線ラインなどのスマート製造技術を導入することで、生産効率と製品品質を向上させています。中小企業(SME)は、テクノロジーのアップデートやコスト圧力に直面しており、大企業とのパートナーシップやテクノロジーの導入を通じて競争力を向上させる必要があります。市場は輸出需要によっても牽引されており、中国のモリブデン線は国際規格(ASTM B387 など)を満たすことが求められる東南アジアやヨーロッパに輸出されています。技術的な課題は、高性能と低コストのバランスを取り、効率的なテストとプロセスの最適化を通じて国内外の競争に対処することです。

9.3 モリブデン線の開発動向

モリブデンワイヤーの将来の開発は、新しい材料、新しいプロセス、インテリジェントな製造、および新たなアプリケーション分野によって推進されています。検査技術の進歩(第8章で説明した渦流探傷やレーザー光路測定など)は、製品の品質向上と新製品の開発を支え、市場動向は高性能、グリーン製造、インテリジェンスの方向に進化しています。

9.3.1 新素材・新プロセスの開発

新しい材料とプロセスの開発は、モリブデンワイヤーの機械的特性、導電性、および環境適応性を向上させることを目的としています。ドーピング技術は、希土類元素(ランタンやセリウムなど)または金属元素(レニウムなど)を添加することにより、モリブデンワイヤーの高温耐クリープ性と延性を大幅に向上させます。例えば、モリブデン・ランタン・ワイヤーは、高温炉でのより長い熱サイクルに耐えることができ、その耐用年数を延ばすことができます。新しい描画プロセスでは、高精度の金型と環境に優しい潤滑剤を使用し

著作権および法的責任に関する声明

て、5G デバイスとマイクロエレクトロニクスのミクロンレベルの要件を満たす、より細く均一なモリブデンワイヤを製造します。モリブデンシリサイドコーティングやジルコニアコーティングなどの表面処理技術は、モリブデンワイヤーの耐酸化性と耐食性を向上させ、航空宇宙およびハロゲンランプに適しています。

検出技術は開発において重要です。例えば、顕微鏡観察によりドーパ元素の分布の均一性を解析したり、化学滴定によりコーティング組成の安定性を検証したりします。技術的な課題は、性能の向上と生産コストのバランスを取り、効率的な試験(表面粗さ試験など)と自動化機器を通じてエネルギー消費を削減しながら、新しい材料が国際規格(ISO 24361 など)に準拠していることを確認することです。

9.3.2 インテリジェント製造と品質トレーサビリティ技術

スマートマニュファクチャリングは、自動化、モノのインターネット、ビッグデータ技術を通じて、モリブデンワイヤ生産の効率と一貫性を向上させます。自動伸線生産ラインは、サーボモーター、センサー、PLC 制御システムを統合して、延伸速度と張力を動的に調整し、断線と不良率を減らします。品質トレーサビリティシステムは、ブロックチェーンとバーコード技術を使用して、原材料から最終製品までのモリブデンワイヤーの化学組成、処理パラメータ、およびテスト結果を記録し、製品が GB / T 4182 および ASTM B387 規格に準拠していることを確認します。

また、スマートマニュファクチャリングは、リアルタイムの品質フィードバック、渦流探傷、および制御センターに直接送信される電気的性能試験データをサポートし、プロセスパラメータを最適化します。例としては、洛陽定定のスマート生産ラインがあり、オンライン監視システムを通じてスクラップ率を 10%削減しました。技術的な課題は、システム統合とデータセキュリティであり、信頼性の高いソフトウェアプラットフォームとネットワーク保護対策の開発、およびインテリジェントデバイスに適応するための技術者のトレーニングが必要です。

9.3.3 新規モリブデン合金線材の開発

新しいモリブデン合金ワイヤーは、ドーピング技術を通じて性能を向上させ、ハイエンドアプリケーションのニーズを満たすことができます。モリブデンランタン合金ワイヤーは、高温でのクリープ耐性と靱性を高めるために酸化ランタンを添加することにより、単結晶シリコン成長炉の支持部品に適しており、急激な温度上昇と下降の熱衝撃に耐えることができます。モリブデン-レニウム合金ワイヤーは、レニウム元素を添加して電気伝導率と耐食性を向上させることにより、5G 基地局アンテナと医療用埋め込み型電極のニーズを満たします。試験技術(ICP-MS、硬さ試験など)は、合金の組成と機械的特性を検証し、安定した性能を確保するために開発されています。

9.3.4 分解性材料または代替材料の開発

モリブデン線は金属材料として分解性を得ることが難しいですが、廃モリブデン線のリサイクルや代替材料の開発により、持続可能性を実現することができます。廃モリブデンワイヤーリサイクル技術は、化学溶解と電気分解精製を使用して、廃線を高純度のモリブデン粉末に変換して再生します。タングステンフィラメント、カーボンナノチューブ、グラ

著作権および法的責任に関する声明

フェンワイヤーなどの代替材料は、一部の用途で競争力があります。例えば、タングステンフィラメントは、融点が高いため、高温フィラメントのモリブデンフィラメントに徐々に取って代わりますが、コストは高くなります。カーボンナノチューブは、その軽量性と高い導電性により、マイクロエレクトロニクスの分野での可能性を秘めていますが、その製造技術はまだ成熟していません。

9.3.5 新エネルギー、5G、医療の方向性におけるモリブデン線の新たな応用展望

新エネルギー、5G、医療の分野でのモリブデンワイヤーの応用は、技術の進歩と市場の需要に牽引されて、幅広い見通しを持っています。新エネルギーの分野では、薄膜太陽電池の導電層にモリブデン線が使用されており、高い導電性と耐食性でセルの効率が向上します。例えば、ある太陽エネルギー会社では、CIGS(セレン化銅インジウムガリウム)電池の裏電極にモリブデン線を使用し、耐食性試験を通じてその長期安定性を検証しています。風力発電設備は、モリブデン線を使用して耐摩耗性コネクタを製造しており、機械的特性を確保するために硬度試験と引張試験に合格する必要があります。5G 分野では、モリブデン線の超微細径・低抵抗特性がベースステーションアンテナのRF 部品に採用されています。医療分野では、モリブデンワイヤーは低侵襲の手術用ガイドワイヤーや埋め込み型電極の製造に使用されており、顕微鏡観察や生体適合性試験による安全性を確保する必要があります。

今後、モリブデン線は微細化・高機能化の方向に発展し、小型化・高信頼性のニーズに対応していきます。例えば、レーザー径測定や電気的性能試験によりサイズや導電率を確認する必要がある 6G デバイスのアンテナ製造には、超極細モリブデン線を使用することができます。技術的な課題は、高度な検査技術(渦電流探傷、高温試験など)と材料革新を組み合わせ、過酷な環境向けのモリブデン電線を開発し、生産コストを最適化して大規模なアプリケーションをサポートすることです。



著作権および法的責任に関する声明

第 10 章 モリブデン ワイヤー 環境と安全

モリブデンワイヤーの生産には、複雑な選鉱、冶金、伸線、表面処理のプロセスが含まれ、環境および安全管理の厳しい要件が提唱されています。生産プロセスからの排気ガス、廃水、および固形廃棄物は、環境規制に準拠するために適切に処理する必要があります。オペレーターはリスクを軽減するために高温および化学的安全慣行に従う必要があります。廃モリブデンワイヤーのリサイクルと再利用は、資源の浪費を削減し、効率的なプロセスを通じて持続可能な開発を促進します。環境および安全管理は、コンプライアンスだけでなく、企業の生産性と市場競争力にも直接影響を与えます。以下は、モリブデンワイヤー製造の環境への影響、安全仕様、リサイクルプロセス、および実装プロセスと課題の詳細なテキスト説明による詳細な分析です。

10.1 モリブデン線製造による環境への影響

モリブデンワイヤーの製造には、モリブデンの採掘から最終製品の加工まで複数の段階があり、排気ガス、廃水、固形廃棄物が発生する可能性があります。環境に影響を与える可能性があります。効率的な廃棄物処理技術と厳格な環境保護対策により、生産プロセスが国内および国際的な環境保護基準(GB/T 17196、ISO 14001 など)に準拠し、生態系へのダメージを軽減し、同時に企業の社会的責任イメージを強化します。

10.1.1 廃ガスおよび廃水処理

モリブデンワイヤーの生産における廃ガスは、主にモリブデン焙煎および水素還元プロセスから来ていますが、廃水は選鉱、アルカリ洗浄および表面処理プロセスから来ています。焙煎機は、モリブデンを酸化モリブデンに変換する際に硫黄含有廃ガスを発生させ、脱硫装置で回収し、建材や化学工業で使用するための硫酸や石膏副産物に変換する必要があります。

廃水は主に浮選セルと苛性洗浄装置から供給され、重金属イオン(モリブデン、銅など)と化学試薬(水酸化ナトリウムなど)が含まれています。処理プロセスには、中和、沈殿、ろ過が含まれ、凝集剤を使用して重金属イオンを固体化合物に沈殿させ、フィルタープレスで分離します。

10.1.2 固形廃棄物管理

固形廃棄物には、選鉱尾鉱、焼結残渣、伸線プロセスからの廃棄物が含まれます。尾鉱は主にシリカと低品位のモリブデン酸塩で構成されており、残留モリブデン資源は備蓄管理と再分離技術を通じて回収する必要があります。焼結残渣には酸化モリブデンと不純物が含まれているため、再利用可能なモリブデン粉末に化学的に精製し、第 8 章の化学滴定法と組み合わせて組成をテストする必要があります。伸線廃棄物には、断線した電線や不適合電線が含まれ、これらは分別して溶融してリサイクルされます。固形廃棄物管理には、粉塵の拡散や雨水漏れを防ぐための専用の保管施設が必要です。

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

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

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

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

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

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

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

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

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

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

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

10.2 モリブデンワイヤー製造の安全仕様

モリブデン線の製造には、高温運転と化学薬品の使用が含まれ、火傷、中毒、機器事故のリスクがあり、オペレーターと機器を保護するための厳格な安全対策が必要です。安全管理は、国内規格(GB/T 27948 など)と国際規格(OSHA など)を組み合わせ、機器のメンテナンス、人材育成、緊急時対策を通じてリスクを軽減します。

10.2.1 高温運転の安全性

高温運転には、主にロースター、焼結炉、焼鈍炉が含まれ、機器の安全性と人員の保護が必要です。ロースターや焼結炉は高温環境下で稼働するため、過熱による設備の損傷を防ぐために、炉本体を耐火物や冷却システムで作る必要があります。焼鈍炉は水素または不活性ガスで保護されており、ガス漏れ検出器と自動遮断弁が装備されており、漏れが発生した場合にガス供給を迅速に停止します。オペレーターは、高温防護服と断熱手袋を着用し、機器の操作と緊急時の取り扱いを習得するための専門的なトレーニングを受ける必要があります。

安全規則では、高温ガスの漏れを防ぐために、炉の気密性と発熱体の定期的な検査が義務付けられています。緊急時計画には、消火器と排煙システムを装備した防火訓練と避難訓練が含まれています。技術的な課題は、高温運転における効率と安全性のバランスを取り、炉内の熱場分布とガス循環システムを最適化しながら、自動制御による手動介入を減らすことです。

10.2.2 化学物質の安全な使用

化学物質の使用には、選鉱における浮選剤、苛性洗浄における水酸化ナトリウム、表面処理における酸性電解質が含まれ、これらは腐食や中毒のリスクをもたらします。浮選剤(キサントセートなど)は、揮発や漏れを減らすために、密閉容器に保管し、自動投与システムを通じて正確に投与する必要があります。アルカリ洗浄装置は水酸化ナトリウム溶液を使用しており、溶液が溢れるのを防ぐために、耐食パイプと廃液収集タンクを装備する必要があります。

安全規制では、オペレーターは化学防護服、保護メガネ、人工呼吸器を着用し、化学安全の訓練を受けることが義務付けられています。偶発的な接触を防ぐために、警告標識と緊急フラッシング装置を化学薬品保管エリアに設置する必要があります。廃液は中和して沈殿させる必要があり、廃液の組成は第8章の化学滴定法と併せて試験され、排出基準が満たされていることを確認します。技術的な課題は、化学薬品の使用の安全性を向上させ、機器の気密性と排気ガスおよび液体処理効率を最適化すると同時に、自動化システムによる手動接触を減らすことです。

10.3 廃モリブデン線材のリサイクルと再利用

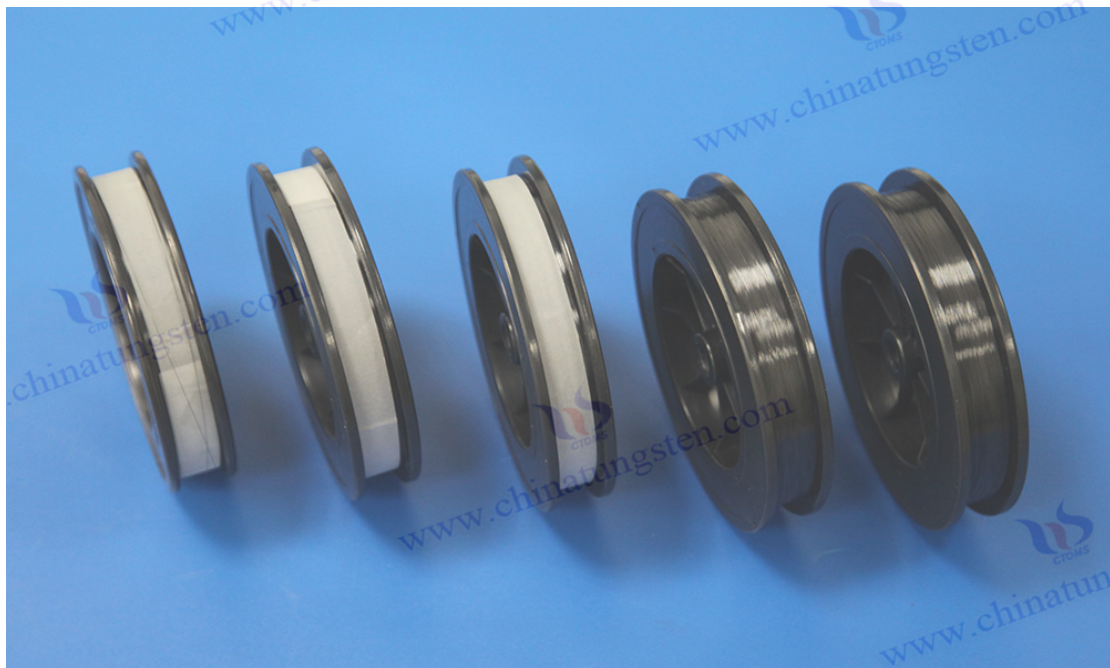
廃モリブデンワイヤーのリサイクルと再利用は、効率的なプロセスを通じて資源の浪費を削減し、循環型経済を促進します。リサイクルプロセスは、廃棄物の品質を確保するために、第8章の識別方法(燃焼試験、濃硝酸試験など)と組み合わせる必要があります。同時に環境保護技術を採用して二次汚染を減らし、持続可能な開発の要件を満たす必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

10.3.1 リサイクルプロセス

廃モリブデンワイヤーのリサイクルプロセスには、収集、選別、精製、再処理が含まれ、ワイヤー切断、電気光源、高温炉廃ワイヤーに適しています。収集段階では、廃モリブデン線を選別装置により他の金属スクラップ(鋼線やタングステン線など)から分離し、第8章の磁気試験で非磁性モリブデン線を区別し、燃焼試験で酸化特性を確認し、濃硝酸試験で耐食性を確認します。選別された廃モリブデンワイヤーは、超音波で洗浄され、表面の油と酸化物層を除去して精製効率を確保します。精製段階では、廃モリブデンワイヤーを化学溶解または電気分解プロセスによってモリブデン溶液に溶解し、電気分解または還元によって高純度モリブデン粉末に変換します。

再処理段階では、モリブデン粉末を粉末冶金プロセスでブランクに押し込み、引き抜きと焼きなましによって新しいモリブデンワイヤーを作成します。検出技術(ICP-MS、顕微鏡観察など)を使用して、回収されたモリブデン粉末の化学組成と微細構造を検証し、GB/T 3462 規格を満たしていることを確認します。リサイクル設備には、二次汚染を防ぐために、高効率のろ過および廃液処理システムを装備する必要があります。技術的な課題は、リサイクル効率と製品品質を向上させ、電気分解パラメータとテストプロセスを最適化し、大規模生産をサポートする自動リサイクル装置を開発することです。



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンワイヤー

著作権および法的責任に関する声明

虫垂

A. 用語集

モリブデンワイヤー: モリブデンまたはモリブデン合金から作られた細いワイヤー材料。

純粋なモリブデン ワイヤー: 高純度のモリブデンから作られたモリブデン ワイヤーで、通常は純度が $\geq 99.95\%$ です。

ランタンモリブデンワイヤー: 希土類ランタンをドーブしたモリブデンワイヤーで、高い再結晶温度が特徴です。

イットリウムモリブデンワイヤー: イットリウムをドーブしたモリブデンワイヤーで、優れた引張強度と靱性で知られています。

Si-Al-K モリブデン合金ワイヤー: シリコン、アルミニウム、カリウムなどを含むモリブデン合金ワイヤーで、主に照明業界で使用されます。

モリブデン-レニウムワイヤー: モリブデンとレニウムの合金ワイヤーで、高温で腐食性の環境で使用されます。

ブラックモリブデンワイヤー: アルカリ洗浄を受けていないモリブデンワイヤーで、表面はダークグレーです。

ホワイトモリブデンワイヤー: アルカリ洗浄されたモリブデンワイヤーで、銀白色の表面を示しています。

ワイヤーカット: 放電加工(EDM)による金属切断用の電極線としてモリブデンワイヤーを使用する機械加工技術。

溶射: 溶射:溶融したモリブデン線を基板表面に溶射し、耐摩耗性を高めるプロセス。

粉末冶金: モリブデン粉末を圧縮および焼結することによりモリブデンピレットを製造するプロセス。

伸線: 細い線材にモリブデンピレットを伸線する加工方法。

アニーリング: モリブデンワイヤーの機械的特性を改善するための加熱と冷却を含む熱処理プロセス。

渦流探傷法(Eddy Current Testing): モリブデン線の表面欠陥を検出するために使用される非破壊検査法。

引張強度: モリブデンワイヤーが引き伸ばされている間に耐えることができる最大応力。

Recrystallization Temperature(再結晶温度): 高温にさらされたときにモリブデン線の結晶構造が回復する温度。

電気伝導率: モリブデン線が電流を通す能力。

熱伝導率: モリブデン線が熱を伝導する能力。

耐食性: 腐食性環境におけるモリブデンワイヤの安定性。

高温安定性: モリブデンワイヤが高温条件下で性能を維持する能力。

B. 参照

[1] Chinatungsten オンライン、モリブデンワイヤーの製造と応用、www.chinatungsten.com

[2] Chinatungsten Online WeChat 公式アカウント、モリブデンワイヤーの技術進歩と市場動向、2024 年

[3] 中国タングステン工業会(CTIA)、モリブデンワイヤーに関する業界標準および技術報告書、www.ctia.com.cn

[4] Journal of Materials Science、Molybdenum Alloy Wires: Properties and Applications、2022 年

著作権および法的責任に関する声明

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

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

- [5] 材料科学と工学:A、モリブデン-レニウム合金の進歩、2021 年
- [6] International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Ultra-Fine Molybdenum Wire for Microelectronics, 2020 (高融点金属および硬質材料国際ジャーナル、マイクロエレクトロニクス用超微細モリブデン線、2020 年)
- [7] 中国標準化管理局、GB/T 4182-2003 モリブデン ワイヤー
- [8] 中国標準化局、GB/T 3462-2007 モリブデン棒およびスラブ
- [9] ASTM International、モリブデンおよびモリブデン合金バー、ロッド、およびワイヤーの ASTM B387 標準仕様、2023 年
- [10] 国際標準化機構、ISO 24361 モリブデンおよびモリブデン合金、2020 年
- [11] National Technical Committee for Standardization of Nonferrous Metals(TC243)、YS/T 369 モリブデン線の化学分析法