

モリブデンロッドの百科事典

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

著作権および法的責任に関する声明

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 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 Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

ディレクトリ

第1章 はじめに

- 1.1 モリブデンロッドの定義と概要
- 1.2 モリブデン棒の歴史的発展
- 1.3 現代産業におけるモリブデンロッドの重要性
- 1.4 世界市場の状況と開発動向

第2章 モリブデンロッドの材料特性

- 2.1 モリブデンの化学組成と原子構造
- 2.2 モリブデンの結晶構造と相変化
- 2.3 モリブデンロッドの物性
 - 2.3.1 モリブデンロッドの密度と融点
 - 2.3.2 モリブデンロッドの熱伝導率と熱膨張係数
 - 2.3.3 モリブデンロッドの導電率と抵抗率
- 2.4 モリブデンロッドの機械的性質
 - 2.4.1 モリブデンロッドの強度と硬度
 - 2.4.2 モリブデンロッドの延性と靱性
 - 2.4.3 高温におけるモリブデンロッドのクリープ挙動
- 2.5 モリブデンロッドの化学的性質
 - 2.5.1 モリブデンロッドの耐酸化性
 - 2.5.2 モリブデンロッド(酸、アルカリ、溶融塩など)の耐食性
- 2.6 モリブデンとモリブデン基合金の比較
- 2.7 モリブデンロッドと他の高温材料との比較
- 2.8 CTIA GROUP LTD のモリブデンロッド MSDS

第3章 モリブデンロッドの準備と製造プロセス

- 3.1 モリブデン原料の取得
 - 3.1.1 モリブデン鉱石の採掘と選鉱
 - 3.1.2 モリブデン精鉱の精製
- 3.2 モリブデンロッドの粉末冶金プロセス
 - 3.2.1 モリブデン粉末の調製(還元法、霧化法)
 - 3.2.2 粉末の粒度と純度の制御
 - 3.2.3 コンプレッションモールドディング(冷間静水圧プレス、モールドディング)
- 3.3 モリブデンロッドの焼結プロセス
 - 3.3.1 真空焼結
 - 3.3.2 水素防護焼結
 - 3.3.3 高温焼結装置とパラメータ最適化
- 3.4 モリブデンロッドの熱処理技術
 - 3.4.1 鍛造プロセス
 - 3.4.2 ローリングプロセス
 - 3.4.3 描画プロセス
- 3.5 モリブデンロッドの表面処理技術

著作権および法的責任に関する声明

- 3.5.1 機械研磨
- 3.5.2 化学洗浄
- 3.5.3 表面コーティング(酸化防止コーティングなど)
- 3.6 モリブデンロッドの品質管理とプロセスの最適化
 - 3.6.1 生産プロセスにおける欠陥管理
 - 3.6.2 プロセスパラメータの監視と最適化

第4章 モリブデンロッドの種類と仕様

- 4.1 構成による分類
 - 4.1.1 高純度モリブデンロッド(純度 $\geq 99.95\%$)
 - 4.1.2 ドープされたモリブデンロッド(TZM、Mo-La、Mo-W など)
- 4.2 サーフェスステートによる分類
 - 4.2.1 ブラックモリブデンロッド
 - 4.2.2 モリブデンロッドの研磨
 - 4.2.3 モリブデンロッドのクリーニング
- 4.3 サイズと形状による分類
 - 4.3.1 丸いモリブデンロッド
 - 4.3.2 角型およびその他の特殊形状のモリブデンロッド
 - 4.3.3 マイクロモリブデンロッドとラージモリブデンロッド
- 4.4 カスタマイズされたモリブデンロッドデザイン
 - 4.4.1 顧客需要分析
 - 4.4.2 特別な仕様とパフォーマンスのカスタマイズ

第5章 モリブデンロッドの性能試験と評価

- 5.1 モリブデンロッドの機械的特性の試験
 - 5.1.1 モリブデンロッドの引張試験
 - 5.1.2 モリブデンロッドの圧縮試験
 - 5.1.3 曲げおよびせん断試験
- 5.2 モリブデンロッドの高温性能試験
 - 5.2.1 モリブデンロッドのクリープ試験
 - 5.2.2 モリブデンロッドの熱疲労試験
 - 5.2.3 モリブデンロッドの耐酸化性試験
- 5.3 モリブデンロッドの組織解析
 - 5.3.1 走査型電子顕微鏡(SEM)分析
 - 5.3.2 X線回折(XRD)解析
 - 5.3.3 エネルギー分光法(EDS)
- 5.4 モリブデンロッドの化学的性質試験
 - 5.4.1 モリブデンロッドの耐食性試験
 - 5.4.2 モリブデンロッドの化学的安定性評価
- 5.5 モリブデンロッドの故障解析
 - 5.5.1 モリブデンロッドの破壊メカニズムの解析
 - 5.5.2 モリブデンロッドの疲労と摩耗の解析
 - 5.5.3 モリブデン桿体の寿命予測モデル

著作権および法的責任に関する声明

第6章 モリブデンロッドの製造設備

6.1 モリブデンロッドの原材料処理装置

6.1.1 破碎および粉碎装置

6.1.2 精製装置(焙煎炉、還元炉)

6.2 モリブデンロッド用の粉末冶金装置

6.2.1 ミキシングおよびプレス装置

6.2.2 焼結炉(真空炉、雰囲気炉)

6.3 モリブデンロッド用熱処理装置

6.3.1 鍛造設備

6.3.2 圧延機と製図

6.4 モリブデンロッドの表面処理装置

6.4.1 研磨機

6.4.2 清掃機器

6.5 モリブデンロッドの試験装置

6.5.1 非破壊検査装置(超音波、X線)

6.5.2 寸法および表面品質試験装置

6.6 モリブデンロッドの自動およびインテリジェント生産設備

6.6.1 生産ラインの自動制御

6.6.2 インテリジェントな監視とデータ分析

第7章 モリブデンロッドの応用分野

7.1 高温炉と熱設備

7.1.1 発熱体としてのモリブデンロッド

7.1.2 サポートおよび固定部品

7.2 電子・半導体産業

7.2.1 電極材料

7.2.2 スパッタリングターゲット

7.2.3 真空管とイオン源コンポーネント

7.3 航空宇宙

7.3.1 高温構造部品

7.3.2 推進システムコンポーネント

7.4 ガラスおよびセラミック産業

7.4.1 ガラス溶融電極

7.4.2 セラミック焼結サポート

7.5 医学および科学研究

7.5.1 X線管ターゲット

7.5.2 実験室用高温実験装置

7.6 新しいアプリケーション

7.6.1 3Dプリンティングとアディティブマニュファクチャリング

7.6.2 原子力産業への応用

第8章 モリブデンロッドの国内外の規格と仕様

- 8.1 モリブデンロッドの国際規格
 - 8.1.1 ASTM 規格(ASTM B387 など)
 - 8.1.2 ISO 規格
- 8.2 モリブデンロッドの国内規格
 - 8.2.1 GB/T 標準 (GB/T 3462 など)
 - 8.2.2 業界標準とエンタープライズ標準
- 8.3 モリブデンロッドの認証とコンプライアンス
 - 8.3.1 材料認証プロセス
 - 8.3.2 環境および安全コンプライアンス
- 8.4 モリブデンロッドの標準比較と応用シナリオ分析

第9章 モリブデンロッドの加工、使用及び保守

- 9.1 モリブデンロッドの加工技術
 - 9.1.1 切断(ワイヤー切断、レーザー切断)
 - 9.1.2 機械加工(旋削、フライス加工、穴あけ)
 - 9.1.3 溶接および接合技術
- 9.2 モリブデンロッドの使用に関する環境要件
 - 9.2.1 真空および不活性雰囲気
 - 9.2.2 高温酸化環境保護
- 9.3 モリブデンロッドの取り付けと固定
 - 9.3.1 インストールプロセスとフィクスチャの設計
 - 9.3.2 熱膨張マッチング設計
- 9.4 モリブデンロッドのメンテナンスとクリーニング
 - 9.4.1 表面の洗浄方法
 - 9.4.2 定期点検と保守
- 9.5 モリブデンロッドの安全操作仕様
 - 9.5.1 高温運転に関する注意事項
 - 9.5.2 化学物質の取り扱い安全仕様

第10章 モリブデンロッドのリサイクルと持続可能な開発

- 10.1 モリブデンロッドのリサイクルプロセス
 - 10.1.1 廃棄物の収集と分別
 - 10.1.2 リサイクルおよび精製技術
- 10.2 モリブデンロッドとグリーン生産の環境への影響
 - 10.2.1 生産プロセスにおけるエネルギー消費と排出量
 - 10.2.2 環境保護プロセスの改善
- 10.3 モリブデンロッドのサーキュラーエコノミーと持続可能な開発戦略

第11章 モリブデンロッドの最新技術と今後の動向

- 11.1 モリブデン基合金の研究開発の進捗
 - 11.1.1 TZM および Mo-La 合金の最適化
 - 11.1.2 新しいドーピング技術

著作権および法的責任に関する声明

- 11.2 ナノ構造モリブデンロッドの開発
- 11.3 インテリジェントな生産およびテスト技術
 - 11.3.1 オンライン監視とビッグデータ分析
 - 11.3.2 モリブデンロッドの製造における人工知能の応用
- 11.4 新エネルギー分野におけるモリブデンロッドの可能性
 - 11.4.1 水素エネルギーとエネルギー貯蔵アプリケーション
 - 11.4.2 高温超伝導材料担体
- 11.5 モリブデンロッドの今後の研究の方向性と課題

虫垂

- A. 用語集
- B. 参考文献

第1章 はじめに

1.1 モリブデンロッドの定義と概要

モリブデンロッド は、高純度モリブデンまたはモリブデンベースの合金(TZM、Mo-La など)で作られたロッド状の材料で、通常は粉末冶金プロセスまたは熱処理プロセスによって製造され、優れた高温特性、機械的強度、化学的安定性を備えています。モリブデンロッドの純度は通常 99.95%以上に達し、直径は数ミリメートルから数十ミリメートルの範囲であり、長さはアプリケーションのニーズに応じてカスタマイズできます。モリブデンロッドの表面状態には、黒色(未研磨、表面酸化膜保持)、研磨(機械的または化学的研磨)、洗浄(表面不純物の除去)があり、さまざまなアプリケーションシナリオのニーズを満たすことができます。

モリブデンは高融点金属として、融点が高く(2623°C)、熱膨張係数が低く(約 4.8×10^{-6} /°C)、熱伝導率(約 138W/m・K)と導電性が優れているため、高温や過酷な環境下でも優れています。モリブデンロッドの主な特性には、高温耐性、耐食性、耐クリープ性、および優れた加工特性が含まれ、高温炉、電子半導体、航空宇宙、ガラス製造、その他の産業で広く使用されています。さらに、モリブデンロッドには、チタン、ジルコニウム、ランタンなどの元素をドーピングして、高温強度と耐酸化性をさらに最適化することができます。

モリブデンロッドには、丸棒、角棒、その他の特殊形状の棒など、さまざまな形態があり、その製造プロセスには、モリブデン鉱石の精製から粉末冶金、熱処理、表面処理までの完全なプロセスが含まれます。モリブデンロッドの性能と品質は、原材料の純度、焼結プロセス、加工精度などの要因に影響を受けるため、製品の一貫性を確保するために、製造プロセス中にプロセスパラメータを厳密に制御する必要があります。モリブデンロッドは、半導体業界での高純度と表面仕上げ、高温炉での耐酸化性と機械的強度など、サイズ、表面状態、性能に対するさまざまな要件を持つアプリケーションで使用されます。

1.2 モリブデン棒の歴史的開発

モリブデンの歴史は、1778 年にスウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーレがモリブデン鉱石からモリブデン酸を初めて分離し、モリブデン化学の研究の基礎を築いた 18 世紀末にさかのぼることができます。1781 年、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することに成功し、モリブデンが金属元素として公式に発見されました。19 世紀初頭、モリブデンはその希少性と抽出の難しさから主に実験室での研究に使用されていましたが、20 世紀初頭まで、冶金技術の進歩とともに、モリブデンの工業生産が徐々に可能になりました。

モリブデン製品の一つとして、モリブデンロッドの開発は粉末冶金技術の成熟と密接に関連しています。20 世紀初頭、モリブデンロッドは電球や真空管の製造に使用され始め、融点が高く電気伝導性が良いため、タングステンワイヤーの代替材料になりました。1920

著作権および法的責任に関する声明

年代、米国とドイツの工業生産により、高温炉やガラス産業でのモリブデンロッドの使用が促進されました。第二次世界大戦中、モリブデンロッドは、超合金や航空宇宙の分野、特にジェットエンジンやロケット推進システムにおけるその可能性が評価されました。

20 世紀半ばから後半にかけて、半導体産業の台頭に伴い、スパッタリングターゲットや電極材料としてのモリブデンロッドの使用が大幅に増加しました。TZM(チタン-ジルコニウム-モリブデン)合金と Mo-La(モリブデン-ランタン)合金の開発により、モリブデンロッドの高温性能と耐クリープ性がさらに向上し、より要求の厳しい環境での使用が可能になりました。21 世紀以降、モリブデンロッドの製造プロセスは継続的に最適化され、自動化とインテリジェント技術の導入により、生産効率と製品品質が向上しました。たとえば、現代のモリブデンロッド製造では、真空焼結と精密圧延技術を使用して、高純度で寸法精度の高いロッドを製造しています。

中国のモリブデン産業は過去数十年で急速に成長し、世界最大のモリブデンの生産および消費国になりました。豊富なモリブデン鉱石資源と高度な生産技術のおかげで、中国企業はモリブデンロッドの研究開発と生産において重要な位置を占めており、世界市場でのモリブデンロッドの人気を促進しています。

1.3 現代産業におけるモリブデンロッドの重要性

モリブデンロッドは、現代産業においてかけがえのない地位を占めており、その重要性は、そのユニークな材料特性と幅広い用途に起因しています。次に、現代産業におけるモリブデンロッドの役割をいくつかの重要な側面から説明します。

高温用途:モリブデンロッドの高い融点と耐クリープ性は、高温炉(真空炉、水素炉など)に理想的な材料であり、発熱体、支持棒、ヒートスクリーンに一般的に使用されています。モリブデンロッドは、1800°C までの環境で安定して動作することができ、これは従来の金属材料よりも大幅に優れています。

エレクトロニクスおよび半導体産業:モリブデンロッドは、集積回路、太陽電池、フラットパネルディスプレイの製造のための薄膜蒸着プロセスにおけるスパッタリングターゲットとして広く使用されています。その高純度と均質な微細構造により、フィルムの品質が保証されます。また、モリブデンロッドは真空管やイオン源の電極材料としても使用されています。

航空宇宙:モリブデンロッドは、航空宇宙産業でジェットエンジンのノズルやロケット推進システム部品などの高温構造部品を製造するために使用されます。熱膨張係数が低く、強度が高いため、極端な温度やストレス条件下での信頼性を確保しています。

ガラス・セラミックス産業:モリブデンロッドは、高温腐食に強く、化学的に安定しており、溶融ガラスの侵食に耐えることができるため、ガラス溶解炉の電極として使用されています。さらに、モリブデンロッドは、セラミック焼結プロセスのサポートコンポーネントとしても使用されます。

著作権および法的責任に関する声明

医療および研究:モリブデンロッドは、医療診断や材料分析のための高エネルギーX線を生成するために、X線管のターゲットとして使用されます。科学研究の分野では、モリブデンロッドは高温実験装置の重要なコンポーネントであり、材料科学と物理学研究をサポートしています。

モリブデンロッドの重要性は、その持続可能性にも反映されています。モリブデンはリサイクル可能な金属であり、廃モリブデンロッドは精製プロセスを通じて再利用でき、グリーン製造に対する現代産業のニーズを満たすことができます。モリブデンロッドの多様な用途は、新エネルギー(太陽光発電、水素エネルギー)やハイエンド製造など、いくつかの業界で技術進歩を推進してきました。

1.4 世界市場の状況と開発動向

世界のモリブデンロッド市場は、主にエレクトロニクス、航空宇宙、エネルギー産業からの需要の増加により、近年着実な成長を示しています。業界のレポートによると、世界のモリブデン市場規模は 2024 年に約 2 億ドルになると予想されており、そのうちモリブデンロッドは重要な製品形態としてかなりの割合を占めています。中国は世界最大のモリブデン生産国であり、世界の生産量の 40%以上を占めており、米国、チリ、ペルーなどの国々がそれに続いています。

市場の現状

生産と供給:中国企業は、豊富なモリブデン鉱石資源と成熟した粉末冶金技術に依存して、モリブデンロッドの生産で支配的な地位を占めています。

需要主導型:エレクトロニクスおよび半導体産業の急速な発展により、特に 5G テクノロジー、AI チップ、太陽光発電において、高純度モリブデンロッドの需要が高まっています。航空宇宙分野での TZM および Mo-La 合金バーの需要も増加しています。

価格変動:モリブデンロッドの価格は、原材料の供給、地政学、市場の需要に大きく影響されます。近年、モリブデン価格は概ね安定していますが、エネルギーコストの上昇や環境規制の強化により、生産コストは増加しています。

動向

高性能合金ロッド:TZM や Mo-La などのドーパントモリブデンロッドの研究開発は、航空宇宙および原子力産業のニーズを満たすために高温強度と耐酸化性を向上させることを目的として、将来の焦点です。

グリーン生産:環境保護要件の改善に伴い、モリブデンロッドメーカーは、グリーン浄化技術や廃棄物リサイクルシステムなどの低エネルギー、低排出のプロセスを採用しています。

スマートマニュファクチャリング:自動化された生産ラインとインライン X線検査などのスマート検査技術は、モリブデンロッドの製造方法を変え、効率と一貫性を向上させています。

新たなアプリケーション:水素電解槽や高温超伝導材料などの新エネルギー分野、および積層造形(3D プリンティング)におけるモリブデンロッドの新たな可能性は、市場のさらなる成長を促進すると予想されます。

地域別市場のダイナミクス:中国は引き続き世界のモリブデンロッド市場をリードしてい

著作権および法的責任に関する声明

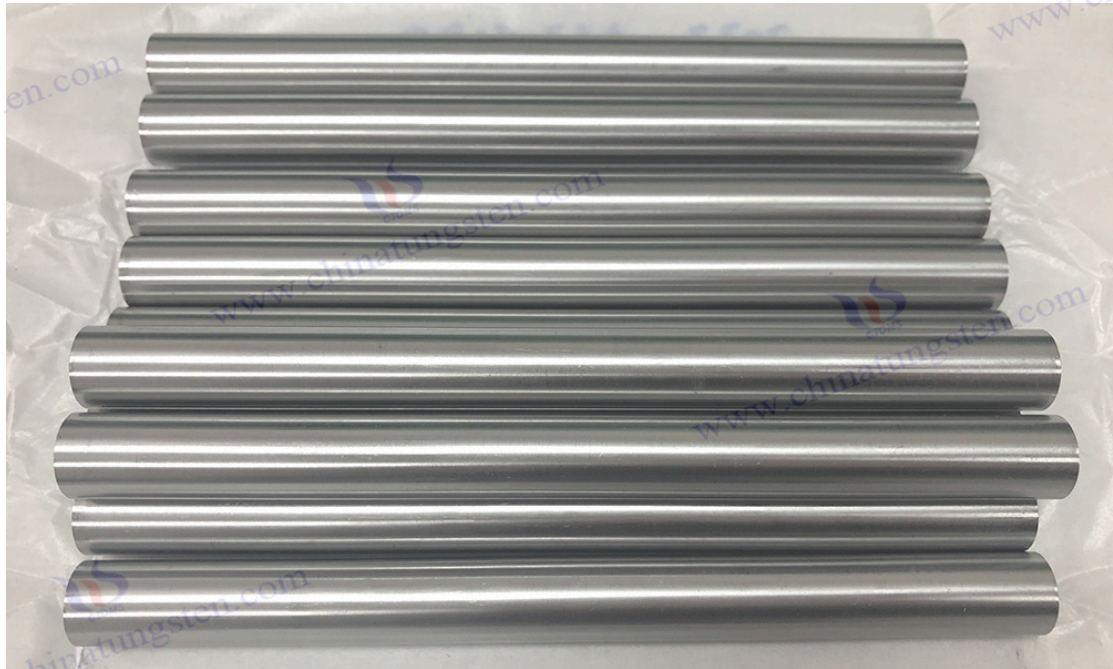
ますが、インドと東南アジアでの需要は急速に成長しており、新たな市場のホットスポットとなっています。

挑戦

原材料供給リスク:モリブデン鉱石資源の地域的集中は、供給変動につながる可能性があります。

技術的な障壁:高純度モリブデンロッドと特殊合金バーの製造には非常に高い技術的要件があり、中小企業が市場に参入することは困難です。

環境圧力:モリブデンの精製と処理の過程におけるエネルギー消費と排出の問題をさらに解決する必要があります。



CTIA GROUP LTD ポリッシュモリブデンロッド

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

第2章 モリブデンロッドの材料特性

2.1 モリブデンの化学組成と原子構造

モリブデン(元素記号 Mo、原子番号 42)は、第 6 期の元素の 5 番目のグループに属する遷移金属で、原子量は 95.94 g/mol です。モリブデンの化学組成は主に高純度の元素モリブデンであり、工業用モリブデンロッドの純度は通常 99.95%以上に達し、不純物元素(鉄、炭素、酸素、窒素など)の含有量は ppm レベルで厳密に制御され、その性能安定性を確保します。モリブデンロッドは、一部の用途で微量元素(チタン、ジルコニウム、ランタンなど)をドーピングして、TZM(チタン-ジルコニウム-モリブデン)や Mo-La(モリブデン-ランタン)などのモリブデンベースの合金を形成し、高温強度または耐酸化性を向上させます。

原子構造の観点から見ると、モリブデンの電子配置は $[Kr] 4d^5 5s^1$ であり、強力な金属結合能力を持っています。その原子半径は約 139pm で、電気陰性度は 2.16(ポーリングスケール)で、中程度の化学活性を示します。モリブデンは化学的安定性が高いため、高温・腐食性環境下では優れていますが、高温酸化環境など特定の条件下では保護対策が必要です。モリブデンの化学的性質はその原子構造の影響を受け、4d 軌道と 5s 軌道の電子分布により、延性を維持しながら高い融点と機械的強度が得られます。

モリブデンの純度は、その特性にとって重要です。例えば、酸素含有量が高すぎる(>50ppm)と、粒界が脆化し、モリブデンロッドの靱性が低下する可能性があります。したがって、不純物を減らすために、製造プロセスで真空溶解または水素還元プロセスがよく使用されます。業界標準(ASTM B387 など)には、鉄含有量 0.01%、炭素含有量 $0.005\% \leq 0.005\%$ など、モリブデンロッドの化学組成に関する明確な要件があります。Chinatungsten Online およびその他の業界情報は、高純度モリブデンロッドの生産には、半導体や航空宇宙などの需要の高いアプリケーションに対応するために、原材料源と精製プロセスの厳格な制御が必要であることを指摘しました。

2.2 モリブデンの結晶構造と相変化

モリブデンの結晶構造は、格子定数が約 0.3147nm の Body-Centered Cubic(BCC)です。この構造により、モリブデンは高融点と良好な機械的特性を得ると同時に、高温でも構造安定性を維持できます。BCC 構造中のモリブデン原子は密接に配置されており、結晶欠陥(転位、粒界など)が少ないため、高温でのクリープに抵抗する能力に寄与しています。

モリブデンは、室温から融点(2623°C)まで同素体転移なしに単一の BCC 相を維持するため、広い温度範囲で安定した物理的および機械的特性が得られます。しかし、高温になるとモリブデン粒が成長して機械的特性が低下するため、ランタンやチタンなどのドーピング元素を用いて粒粒を微細化し、粒界強度を高めることが多いです。Mo-La 合金は、酸化ランタン(La_2O_3)を添加して分散相を形成することで形成され、結晶粒の成長を効果的に抑制し、高温性能を向上させます。

相変化に関しては、モリブデンは液体状態を経ることなく、大気圧で固体状態から気体状態(約 4650°C)に直接昇華するため、真空や不活性雰囲気での高温用途に適しています。モ

著作権および法的責任に関する声明

リブデンは相安定性が高いため、高温炉や真空装置に最適な材料ですが、酸化雰囲気での酸化反応(MoO_3 生成)には注意が必要です。X線回折(XRD)分析は、モリブデンロッドの結晶方位と微細構造が加工技術(圧延や鍛造など)の影響を受け、軸方向に沿った好ましい配向がその機械的特性を改善できることを示しました。

学術研究は、モリブデン棒の結晶構造がその電気伝導率と熱伝導率に大きな影響を与えることを示しています。BCC 構造のコンパクトな配置により、高い熱伝導率が得られますが、粒界や不純物の存在により性能が低下する可能性があります。したがって、高性能モリブデンロッドの製造には、結晶の欠陥や不純物を減らすために最適化された焼結および熱処理プロセスが必要です。

2.3 モリブデンロッドの物性

モリブデンロッドの物理的特性は、高温および極端な環境での幅広い用途の基礎となっています。以下は、密度と融点、熱伝導率と熱膨張係数、伝導率と抵抗率の3つの側面から詳しく説明されています。

2.3.1 モリブデンロッドの密度と融点

モリブデンロッドの密度は 10.28 g/cm^3 (20°C) で、タングステン (19.25 g/cm^3) よりわずかに低いですが、ほとんどの一般的な金属(鉄、ニッケルなど)よりも高くなっています。この密度により、航空宇宙など、高い強度が必要だが重量に敏感なアプリケーションで有利になります。モリブデンロッドの密度は、その純度と加工技術によって影響を受け、高純度のモリブデンロッドの密度は理論値に近づきますが、ドーパされた合金(TZM など)の密度はわずかに変動します(約 $10.1 \sim 10.3 \text{ g/cm}^3$)。

融点が 2623°C のモリブデンは、タングステン (3422°C) とレニウム (3186°C) に次ぐ、金属の中で最も融点が高いものの1つです。融点が高いため、モリブデンロッドは真空炉で 1800°C を超えるなどの極端な高温でも構造的完全性を維持できるため、高温熱処理、ガラス溶融、半導体製造に適しています。融点はモリブデンロッドの加工難易度にも影響し、高温鍛造および焼結は融点に近い温度で実施する必要があるため、これは機器に対する要求が高いです。

2.3.2 モリブデンロッドの熱伝導率と熱膨張係数

モリブデンロッドの熱伝導率は $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (20°C) で、優れた熱伝導率を示し、高温炉の発熱体やホットスクリーン材料として適しています。タングステン ($173 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) と比較して、モリブデンは熱伝導率がわずかに低いですが、それでも高温で効果的に熱を放散し、熱応力集中を減らすことができます。熱伝導率は温度が上昇するとわずかに減少します(例: 1000°C で約 $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) が、これはほとんどの高温用途に十分です。

モリブデンロッドの熱膨張係数は約 $4.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ($20 \sim 1000^\circ\text{C}$) と低く、鋼(約 $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) や銅

($16.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$)よりもはるかに低くなっています。熱膨張係数が低いため、モリブデンロッドは高温サイクルで良好な寸法安定性を持ち、熱応力による亀裂や変形を低減します。この特性は、モリブデンロッドの熱膨張係数が特定のガラスおよびセラミック材料の熱膨張係数と一致するガラスシーリングおよび半導体製造において特に重要です。

2.3.3 モリブデンロッドの導電率と抵抗率

モリブデンロッドの導電率は約 $1.9 \times 10^7 \text{S/m}$ (20°C)、抵抗率は $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ であり、良好な導電性を示し、電極や導電部品としての使用に適しています。抵抗率は温度が上昇するにつれて増加します、例えば、約 $20 \times 10^{-8} \Omega \cdot 1000^\circ\text{C}$ の m で。この温度依存性は、電流の安定性と電力出力を確保するために、高温電極または発熱体を設計する際に考慮する必要があります。

モリブデンロッドの導電率は不純物や微細構造の影響を受け、高純度モリブデンロッドの導電率はドーピング合金の導電率よりも優れています。例えば、TZM 合金は、チタンとジルコニウムの含有量により、純粋なモリブデンロッドよりもわずかに高い抵抗率を持っています。業界のレポートによると、半導体業界ではモリブデンロッドの導電率に対する要求が非常に高く、抵抗率の変動を減らすための高度な精製プロセスと表面処理が必要です。

2.4 モリブデンロッドの機械的性質

モリブデンロッドの機械的特性は、産業用途における信頼性の鍵であり、強度と硬度、延性と靱性、高温でのクリープ挙動の3つの側面から以下が分析されます。

2.4.1 モリブデンロッドの強度と硬度

モリブデンロッドの引張強度は、純度、加工技術、粒度にもよりますが、室温で約 600～800MPa、降伏強度は約 400～600MPa です。熱間加工(鍛造、圧延など)は、モリブデンロッドの強度を大幅に向上させることができ、例えば、鍛造モリブデンロッドの引張強度は 900MPa 以上に達することがあります。モリブデンロッドの硬度(ピッカース硬度)は約 200～250HV で、研磨後に硬度がわずかに増加します。

ドーピングされた合金(例えば、TZM)は、溶液強化および沈殿強化によって大幅に強化され、TZM モリブデンロッドの引張強度は 1100MPa に達することができ、硬度は約 270～300HV です。これらの特性により、モリブデンロッドは、航空宇宙の高温部品などの高温高圧で構造的完全性を維持できます。

2.4.2 モリブデンロッドの延性と靱性

純粋なモリブデンロッドは、室温で可鍛性があり、伸びは約 10～20%ですが、延性が低く、特に低温(-50°C 未満)である程度の脆性を示します。延性は熱加工とドーピングによ

著作権および法的責任に関する声明

って改善することができ、例えば、Mo-La 合金は、25%を超える伸びで酸化ランタンを添加することにより粒界強度を高めることができます。

モリブデンロッドの靱性は、粒径と不純物含有量の影響を受けます。細粒・高純度化により、粒界すべりや亀裂の伝播を抑制し、破壊靱性を向上させます(K_{Ic} 約 $10 \sim 15 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)。高温($>1000^\circ\text{C}$)では、モリブデンロッドの延性が大幅に向上し、良好な塑性変形能力を示し、熱処理や複雑な形状の成形に適しています。

2.4.3 高温におけるモリブデンロッドのクリープ挙動

クリープは、高温および長期応力下でのモリブデンロッドの重要な性能指標です。純粋なモリブデンロッドは、 1000°C を超えると大幅にクリープし始め、温度と応力の増加とともにクリープ速度が加速します。例えば、 1200°C 、 50MPa の応力では、純粋なモリブデンのクリープ率は約 10°C/h です。TZM 合金と Mo-La 合金のクリープ速度は、降水強化によって大幅に減少し、 1500°C で TZM のクリープ速度は $10^{-6}/\text{h}$ 未満になることができました。

クリープ挙動は微細構造の影響を受け、粒径が大きいモリブデンロッドや粒界の不純物が多いモリブデンロッドはクリープフラクチャーを起こす可能性が高くなります。アニーリングなどの熱処理により、微細構造が最適化され、クリープ傾向が減少します。業界の調査によると、高温炉でモリブデンロッドを長期間使用するには、ドーピングやシリサイドコーティングなどの表面コーティングによるさらなる耐クリープ性が必要であることが示されています。

2.5 モリブデンロッドの化学的性質

モリブデンロッドの化学的性質は、腐食環境への適用性を決定し、耐酸化性と耐食性の2つの側面から以下を分析します。

2.5.1 モリブデンロッドの耐酸化性

モリブデンロッドは室温では酸化に対して安定ですが、高温($>600^\circ\text{C}$)の酸化性雰囲気では揮発性酸化物 MoO_3 が生成されやすく、材料の損失や性能低下の原因となります。例えば、 800°C の空気中では、モリブデンロッドの酸化速度は約 $0.1 \sim 0.5 \text{mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ です。抗酸化抵抗性を改善するために、業界では次の対策がよく採用されています。

表面コーティング:シリサイド(MoSi_2)またはアルミナコーティングは、酸化速度を大幅に低減する保護層を形成します。

ドーピング修飾:Mo-La 合金は、酸化ランタン分散液によって強化され、耐酸化性を向上させます。

環境制御の使用:真空または不活性雰囲気(アルゴン、窒素など)でモリブデンロッドを使用すると、酸化が回避されます。

2.5.2 モリブデンロッド(酸、アルカリ、溶融塩など)の耐食性

モリブデンロッドは、室温でさまざまな酸やアルカリに対して優れた耐食性を備えています。例えば、モリブデンロッドは、希硫酸、塩酸、フッ化水素酸では実質的に腐食しませんが、濃硝酸や NaOH などの高温アルカリ溶液では腐食速度が増加します。モリブデンロッドは、溶融塩(塩化ナトリウム、フッ化物溶融塩など)に対して優れた耐食性を持ち、ガラス溶融電極としての使用に適しています。

高温腐食性環境では、モリブデンロッドの性能は表面状態と周囲の媒体に依存します。研磨されたモリブデンロッドは、ブラックロッドよりも表面欠陥が少なく、耐食性に優れています。TZM 合金は、粒界が強化されて腐食感受性が低下するため、腐食性雰囲気(硫黄含有ガスなど)で純粋なモリブデンよりも優れた性能を発揮します。学術研究によると、モリブデンロッドは、ガラス溶融およびセラミック焼結における耐食性により化学的不活性の恩恵を受けることが示されていますが、強力な酸化媒体との長期接触は避ける必要があります。

2.6 モリブデンとモリブデン基合金の比較

モリブデンロッドは、その組成に応じて、純粋なモリブデンロッドとモリブデンベースの合金ロッド(TZM、Mo-La、Mo-W など)に分けることができます。次に、パフォーマンスとアプリケーションの観点からの比較を示します。

純粋なモリブデンロッド:純度 $\geq$ 、優れた電気伝導率と熱伝導率を備え、半導体および電子産業に適しています。ただし、その高温強度と耐酸化性は劣るため、極端な環境での用途が制限されます。

TZM 合金棒 (0.5%Ti、0.08%Zr、0.02%C):TZM の引張強度(約 1100 MPa)と耐クリープ性は、溶液強化と沈殿強化により純粋なモリブデンよりも大幅に優れているため、航空宇宙および高温炉部品に適しています。ただし、その処理難易度は高く、コストは高くなります。

Mo-La 合金ロッド(0.3–1%La₂O₃):分散強化により高温耐酸化性と粒界強度を向上させる延性と延性により、高温での長期使用に適しています。

Mo-W 合金ロッド:ドーパタングステン(5–30%)は融点と強度を増加させますが、導電率をわずかに低下させるため、特殊な高温用途に適しています。

TZM および Mo-La 合金ロッドは、高温性能では純粋なモリブデンよりも優れていますが、導電性と加工性はわずかに劣ります。選択は、アプリケーションシナリオに従って秤量する必要があります。例えば、半導体業界は高純度のモリブデンロッドを好みますが、航空宇宙産業は TZM を好みます。

2.7 モリブデンロッドと他の高温材料との比較

他の高温材料(タングステン、ニオブ、タンタル、セラミックなど)と比較したモリブデンロッドの性能は次のとおりです。

著作権および法的責任に関する声明

モリブデン対タングステン:タングステンはモリブデンよりも融点が高く(3422°C)、密度が高い(19.25 g/cm³)ため、高温環境に適しています。ただし、タングステンはモリブデンよりも加工が難しく、費用がかかり、モリブデンロッドは重量に敏感な用途でより有利です。

モリブデンとニオブ/タンタルの比較:ニオブとタンタルは、モリブデンよりも融点がわずかに低いかそれに近い(2468°C および 3017°C)が、特に強酸環境ではモリブデンよりも腐食に強いです。モリブデンロッドは低コストで、大規模な産業用途に適しています。

モリブデンとセラミックスの比較:セラミックス(アルミナ、炭化ケイ素など)は、耐酸化性と化学的安定性に優れていますが、機械的靱性が低く、脆性破壊を起こしやすいです。高温でのモリブデンロッドの延性と強度は、動的負荷環境により適しています。

モリブデンロッドの複合特性(高融点、低熱膨張、適度なコスト)は、高温炉、半導体、航空宇宙において独自の利点をもたらしますが、特定の用途には適切な材料の組み合わせを選択する必要があります。

2.8 CTIA GROUP LTD のモリブデンロッド MSDS

CTIA GROUP LTD は、中国のモリブデン製品の大手サプライヤーであり、モリブデンロッドの製品安全データシート(MSDS)を通じて、モリブデンロッドの安全な使用と取り扱いに関するガイダンスをユーザーに提供しています。以下は、CTIA GROUP LTD モリブデンロッド MSDS の主な内容の概要です。

パート I:化学名

化学 名:モリブデン
化学物質の英語名は Molybdenum です
CAS 番号:7439-98-7
分子式:Mo
分子量:99.95

パート II:構成/構成情報

内容量 99.95%モリブデン

パート III:ハザードの概要

健康被害:この製品は目や皮膚に刺激を与えません。
爆発の危険性:この製品は不燃性で刺激性がありません。

パート IV:応急処置

肌と肌の接触:汚染された衣服を脱ぎ、大量の流水ですすいでください。
アイコンタクト:まぶたを持ち上げ、流水または生理食塩水ですすいでください。医療。

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

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

摂取量:嘔吐を誘発するために、温かい水をたくさん飲んでください。医療。

パート V:防火対策

有害な燃焼生成物:自然分解生成物は不明です。

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

パート VI:流出の緊急対応

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

パート VII:取り扱い、取り扱い、保管

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

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

パート VIII:露出制御/個人保護

中国 MAC(mg / m3):6

ソ連 MAC(mg / m3):6

TLVTN:ACGIH 1mg/m3

TLVWN:ACGIH 3mg/m3

モニタリング方法:チオシアン化カリウム-塩化チタン分光光度法

エンジニアリング制御:生産プロセスはほこりがなく、完全に換気されています。

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

著作権および法的責任に関する声明

目の保護具:化学安全メガネを着用してください。

ボディプロテクション:毒物防止浸透オーバーオールを着用してください。

手の保護具:ゴム手袋を着用してください。

パート IX:物理化学的性質

主成分:ピュア

外観と特性:ソリッド、メタリックブライトホワイト。ブランク、ブラック仕上げ

融点(°C):2620

沸点(°C):5560

相対密度(水=1):9.4~10.2(20°C)

蒸気密度(空気=1):データなし

飽和蒸気圧(kPa):データなし

燃焼熱(kJ / mol):データなし

臨界温度(°C):データがありません

臨界圧力(MPa):データなし

水分配係数の対数:データなし

引火点(°C):データがありません

発火温度(°C):データなし

爆発限界%(V / V):データなし

爆発下限%(V / V):データなし

溶解性:硝酸、フッ化水素酸に可溶

主な用途:金型、モリブデン線、電子部品などの製造に使用

パート X:安定性と反応性

禁止物質:強酸とアルカリ。

パート XI:

急性毒性:データはありません

LC50:データなし

パート XII:生態学的データ

このセクションには利用可能な情報はありません

パート XIII:処分

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

パート XIV:配送情報

著作権および法的責任に関する声明

危険物番号:情報なし

包装カテゴリ:Z01

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

パート XV: 規制情報

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

パート XVI: サプライヤー情報

サプライヤー:CTIA GROUP LTD

電話番号:0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD モリブデンロッド

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3章 モリブデンロッドの準備と製造プロセス

モリブデンロッドの調製と製造は、モリブデン鉱石の採掘からバーの最終形状まで、複数のステップを含む複雑な技術的プロセスです。以下では、モリブデン原料の取得、粉末冶金、焼結、熱処理、表面処理、品質管理のプロセスフローを詳細に説明し、技術的な詳細、パラメータ範囲、影響要因、およびモリブデンロッド生産の科学的および工学的基礎を完全に反映するための最新の技術進歩の拡大に焦点を当てています。

3.1 モリブデン原料の取得

モリブデンロッド製造の出発点は、通常はモリブデン石(MoS_2)を主な供給源とする高純度モリブデン原料の取得です。原材料の取得には、鉱石の採掘、選鉱、精鉱精製が含まれますが、これらは複雑で、最終製品の品質に大きな影響を与えます。

3.1.1 モリブデン鉱石の採掘と選鉱

モリブデン鉱石の採掘は生産チェーンの最初のステップであり、モリブデン鉱はモリブデン含有量が高く(約 60%)、選鉱特性が優れているため、主要な工業原料です。世界のモリブデン鉱石資源の分布は集中しており、埋蔵量が豊富な地域にはアジア、北アメリカ、南アメリカが含まれます。鉱石のグレードは通常、0.05~0.5%Mo の範囲であり、関連する鉱物(銅、鉛、タングステンなど)が選鉱の難しさを増しています。

マイニング方法:

露天掘り:浅い鉱体に適しており、大型の掘削機や輸送車両を使用し、1日あたり数万トンの鉱石を処理します。このプロセスには、発破、積み込み、輸送が含まれ、低コストという利点がありますが、環境への影響が大きく、尾鉱処理が必要です。

地下採掘:道路掘削、削岩、発破および吊り上げ装置を使用した深部鉱体に適しています。地下採掘はより高価ですが、高品位の鉱体に適しています。採掘プロセスでは、地質学的安定性を監視し、地滑りを防ぐ必要があります。

混合採掘:一部の鉱山では、露天掘りと地下を組み合わせ、鉱体の深さと経済性に応じて採掘計画を最適化します。

選鉱プロセス:

モリブデンの自然な浮遊性は、破碎、粉碎、浮選、脱水、乾燥などの浮選プロセスに適しています。

破碎:原鉱石を粗破碎(ジョークラッシャー、粒度<150mm)、二次破碎(コーンクラッシャー、<50mm)、微粉碎(インパクトクラッシャー、<10mm)で処理し、モリブデン粒子を放出します。

粉碎:湿式ボールミルまたはロッドミルを使用して、モリブデンモノマーの解離を確実にするために、200 メッシュ(約 74 μm)で鉱石を 80%に粉碎します。研削媒体(鋼球など)は、汚染を避けるために定期的に交換する必要があります。

浮選:

大まかな分離:10~20%の Mo を含む粗濃縮物は、コレクター(灯油、キサントセート、0.1

〜0.5 kg / t 鉬石など)と発泡剤(ピネオール油、0.05〜0.2 kg / t など)を使用して pH 7〜9 で一次浮選することにより得られます。

選択:粗い濃縮物を 3〜5 回選択し、銅や鉛などの別々の不純物に抑制剤(硫化ナトリウム、0.5〜2 kg / t など)を添加し、最後に Mo を 40〜50%含むモリブデン濃縮物が得られます。

スィープ:残留モリブデンを回収するための尾鉬再浮選は、85〜95%の包括的な回収率で行われます。

脱水と乾燥:モリブデン精鉬は、濃縮器(固形分 60〜70%に濃縮)、フィルタープレス(水分 <10%)、ロータリードライヤー(水分<5%)で処理され、その後の焙煎のための原料が調製されます。

影響要因:

鉬石の特性:モリブデンの粒度と関連する鉬物の種類は、浮選効率に影響を与えます。細粒埋入鉬石は、エネルギー消費を増加させるためにより細かい粉碎を必要とします。

薬剤の選択:コレクターと阻害剤の比率は鉬石の組成に応じて最適化する必要があります。過剰な薬剤は濃縮物のグレードを低下させる可能性があります。

環境制御:浮遊選鉬廃水には重金属や化学物質が含まれており、中和、沈殿、リサイクルが必要であり、pH は排出量を減らすために 6.5〜7.5 に制御されています。

技術の進歩:

インテリジェントな選鉬:X 線分離(XRT)と近赤外分光法(NIR)を使用して鉬石を事前に分離し、粉碎グレードを上げ、エネルギー消費を 10〜15%削減します。

グリーンエージェント:環境汚染を減らすために、無毒または低毒性のコレクター(アルキルホスホン酸など)を開発します。

自動制御:浮選セルには、オンライングレードアナライザーと、プロセスパラメータをリアルタイムで調整して回収率を 1〜2%向上させる自動投与システムが装備されています。

3.1.2 モリブデン精鉬の精製

モリブデン精鉬精製は、40〜50%の Mo を含む精鉬を高純度酸化モリブデン(MoO_3)または金属モリブデン粉末に変換するプロセスであり、焙煎、化学精製、還元の 3 つの段階が含まれます。

焙煎:

ロータリーキルン、マルチチャンバー炉、流動床炉では、モリブデン石は 550〜650°C で

酸素と反応して MoO_3 を形成し、 SO_2 を放出します。

プロセスパラメータ:

温度: $550 \sim 650^\circ\text{C}$ 、高すぎる ($>700^\circ\text{C}$) と MoO_3 の揮発損失が発生し、低すぎると反応が不完全になります。

酸素濃度: 空気または酸素が豊富な (O_2 含有量 $20 \sim 30\%$)、適切な酸化を保證します。

焙煎時間: $2 \sim 4$ 時間 (炉の種類と濃縮物のサイズによって異なります)。

設備: ロータリーキルン (直径 $1 \sim 3\text{m}$ 、長さ $20 \sim 50\text{m}$) は大規模生産に適しており、流動床炉はより効率的ですが、厳密な粒子サイズ ($<0.1\text{mm}$) が必要です。

副産物処理: 酸洗塔により SO_2 を硫酸に変換し、排出基準 (SO_2 濃度 $<50\text{mg/m}^3$) に準拠するためにテールガスを脱硫 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸収) する必要があります。

製品: 焙煎後、 Mo を $55 \sim 60\%$ 含む工業用 MoO_3 が得られ、不純物には $\text{Cu} (<0.5\%)$ 、 $\text{Pb} (<0.1\%)$ 、 $\text{Si} (<1\%)$ が含まれます。

化学精製:

高純度モリブデンロッドの需要を満たすためには、 MoO_3 をさらに精製する必要があり、一般的な方法には以下のようなものがあります。

アンモニア浸出方法:

MoO_3 (モーム) はアンモニア水 (濃度 $5 \sim 10\%$) と反応してモリブデン酸アンモニウム溶液を形成します

不溶性不純物 (SiO_2 、 Fe_2O_3 など) をろ過により除去し、溶液を蒸発、結晶化、または酸沈殿 ($\text{pH } 2 \sim 3$) して、高純度のモリブデン酸アンモニウム (純度 $\geq 99.9\%$) を得ます。

利点: 成熟した技術、大規模生産に適しています。短所: アンモニアの揮発を回収して処分する必要があります。

酸浸出方法:

Cu や Pb などの不純物を希硝酸 ($10 \sim 20\%$) や塩酸に溶解し、 MoO_3 を固体状態として保持し、洗浄・乾燥することで高純度の MoO_3 が得られます。

重金属不純物の多い濃縮物に適していますが、廃酸処理のコストは高くなります。

イオン交換法:

モリブデン酸アンモニウム溶液は、陰イオン交換樹脂 (D301 または 717 タイプ) を介して

著作権および法的責任に関する声明

MoO₄²⁻を吸着し、溶出後、半導体業界に適した超高純度 MoO₃(純度≥99.99%)が得られます。
このプロセスは複雑で、樹脂の再生には定期的なメンテナンスが必要です。

溶媒抽出:

モリブデンは、抽出剤(トリオクチルアミンなど)を使用して酸性溶液から抽出され、Cu や Fe などの不純物を分離して高純度のモリブデン溶液が得られます。

複雑な濃縮物に適しており、抽出効率は 95%以上です。

戻す:

高純度の MoO₃(酸化水素)またはモリブデン酸アンモニウムは、水素雰囲気中で 2 段階で金属モリブデン粉末に還元されます。

一次還元(400~600°C):

炉タイプ:水素流量 100~200mL/min、露点<~50°C のプッシュボートまたはチューブ炉。

二次還元 (900~1100°C):

炉の温度は精密に制御されており(誤差±10°C)、モリブデン粉末の純度は 99.95~99.99%、

粒子サイズは 1~5μm です。

影響要因:

原料グレード:Cu などの不純物や濃縮物などの不純物の含有量は精製の難しさに影響を及ぼし、前処理(磁気分離など)が必要です。

還元性雰囲気:水素純度(>99.999%)と露点制御が重要であり、酸素含有量が多すぎるとモリブデン粉末が酸化します。

機器の気密性:還元炉は、空気の浸入を防ぐために高い気密性が必要です。

技術の進歩:

アンモニアフリー精製:MoO₃は酸性媒体(HCl-HNO₃など)で直接精製され、アンモニア室素廃水の排出を削減し、浄化効率は 98%に達します。

マイクロ波焙煎:マイクロ波加熱(電力 1~5 kW)により、焙煎効率が向上し、時間が 20~

30%短縮され、エネルギー消費が削減されます。

グリーン冶金:副産物を高付加価値の硫酸や硫黄に変換する SO₂触媒変換技術の開発。

3.2 モリブデンロッドの粉末冶金プロセス

粉末冶金はモリブデンロッド製造のコア技術であり、モリブデン粉末の調製、粒子サイズと純度の制御、およびバーの微細構造と特性を決定する圧縮成形が含まれます。

3.2.1 モリブデン粉末の調製(還元法、微粒化法)

削減方法:

著作権および法的責任に関する声明

還元法は、産業界でモリブデン粉末の調製に最も一般的に使用される方法であり、 MoO_3 またはモリブデン酸アンモニウムを水素によって段階的に還元します。詳細なプロセス:

原料:高純度 MoO_3 (純度 $\geq 99.9\%$)またはモリブデン酸アンモニウムをモリブデンまたはステンレス鋼のボート(厚さ 5~10mm)に装填。

一次還元:プッシュボート炉またはチューブ炉で、 $400\sim 600^\circ\text{C}$ 、 $400\sim 600^\circ\text{C}$ 、露点 $< -50^\circ\text{C}$ で粒子径 3~10 μm の MoO_2 (酸化容器)。

二次還元: $900\sim 1100^\circ\text{C}$ 、水素流量 200~400mL/min、金属モリブデン粉末の生成、粒子サイズ 1~5 μm 、純度 $\geq 99.95\%$ 。

設備 還元炉には、マルチゾーン温度制御(誤差 $\pm 5^\circ\text{C}$)と排ガス処理システム(H_2O と残留 MoO_3 の吸収)が装備されています。

プロセス制御:

温度勾配:粉末の凝集や焼結を避けてください。

ボート容量:ボートあたり 5~10 kg、高すぎると修復の均一性に影響します。

水素リサイクル:未反応の水素を回収し、コストを 10~15%削減します。

ネブライゼーション:

霧化法は、溶融したモリブデンを高圧媒体に噴霧して急速固化することにより、超微細またはナノモリブデン粉末を調製し、ハイエンドアプリケーションに適しています。プロセス:

溶融:高純度モリブデン($> 99.99\%$)は、プラズマアーク(出力 50~200 kW)または電気アーク炉を使用して、最大 $2700\sim 3000^\circ\text{C}$ の温度で溶解します。

噴霧:溶融物に高圧窒素(5~10 MPa)またはアルゴンをノズル(細孔径 0.5~2 mm)から $10^\circ\sim 10^\circ\text{C/s}$ の冷却速度で注入し、粒子径 40~100 nm の球状粉末を形成します。

収集と分類:粉末はサイクロンによって収集され、粒度分布($D_{50} < 100\text{ nm}$)は空気分級機によって制御されます。

設備:プラズマ霧化装置(APS-100 型など)で、酸化を防ぐための不活性ガス循環システムを装備しています。

利点:粉末の高い球形度($> 95\%$)、良好な流動性、3D 印刷およびスパッタリングターゲットに適しています。

著作権および法的責任に関する声明

デメリット:エネルギー消費量が多く(約 5~10kWh/kg)、設備投資が大きいため、大規模な用途には限界があります。

その他の方法:

電気分解: ナノモリブデン粉末は、粒子サイズが 20~50 nm で純度が低い(<99.9%)電解モリブデン溶液によって調製されます。

マイクロ波プラズマ法: 粒子径 10~30 nm の MoO_3 のマイクロ波プラズマ(2.45 GHz)気相還元法で、実験室での研究に適しています。

影響要因:

原材料の純度: MoO_3 中の Fe や C などの不純物はモリブデン粉末の品質に影響を与えるため、事前に精製する必要があります。

還元温度:高すぎると穀物の成長につながり、低すぎると還元効率に影響します。

気流制御:霧化法では、ガス圧と流量によって粉末の粒度分布が決まります。

技術の進歩:

ナノモリブデン粉末:プラズマ化学気相成長法(P-CVD)技術を開発し、粒径<50nm のモリブデン粉末を調製して焼結活性を向上させました。

低酸素モリブデン粉末:超高純度水素(>99.9999%)と低温還元(800~900°C)により、酸素含有量を<0.001%に低減します。

効率的な噴霧:超音波アシスト噴霧を使用して、粉末の均一性を向上させ、粒度分布の標準偏差を 20%低減します。

3.2.2 粉末の粒度と純度の制御

モリブデン粉末の粒子サイズと純度は、プレスブランクの密度と焼結性能に直接影響します。制御方法には、次のものがあります。

粒度制御:

ふるい分け:粒子径が 1~10 μm の粉末をシェーカー(100~400 メッシュ)または超音波ふるい機で分離します。

気流の分類:サイクロン分級機またはタービン分級機により、D50 は 1~5 μm に制御され、粒度分布の標準偏差は 0.5 μm <です。

粉碎:遊星粉碎機(200~400 rpm)またはジェットミル(圧力 0.5~1 MPa)を使用して粉末を精製し、ボールフライス媒体は汚染を防ぐために超硬合金です。

還元条件:低温の低速還元(900~950°C、4~6 時間)で微粒子を得る、高温の急速な還元(1050

著作権および法的責任に関する声明

〜1100℃、1〜2時間)でより大きな粒子を生成します。

純度管理:

原料の選定:超高純度 MoO_3 ($\geq 99.99\%$) を使用し、 Fe ($< 50\text{ppm}$) や C ($< 30\text{ppm}$) などの不純物を低減します。

還元環境:水素露点 $< -60^\circ\text{C}$ 、炉内の酸素含有量 $< 10\text{ppm}$ で粉末の酸化を防ぎます。

機器の清掃:残留不純物を除去するための還元ボートとパイプの定期的な酸洗い ($5\%\text{HNO}_3$)。

包装と保管:モリブデン粉末は、吸湿と酸化を防ぐために、不活性雰囲気 (N_2 または Ar) で真空パックされています。

検出方法:

粒度分析:レーザー粒度分析装置(測定範囲 $0.01 \sim 100\mu\text{m}$)、 D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90} の検出。

純度分析:誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)を使用して、不純物を ppb 精度で検出しました。

酸素含有量:不活性ガス溶解法、酸素含有量は $< 0.005\%$ です。

影響要因:

粉末形態:球状粉末(噴霧法)の流動性は、不規則な粉末(還元法)の流動性よりも優れており、圧縮の均一性に影響を与えます。

凝集:微粉末 ($< 1\mu\text{m}$) は凝集しやすく、分散剤(ポリエチレングリコールなど、 $0.1 \sim 0.5\text{wt}\%$) を添加します。

周囲湿度:高湿度 ($> 60\%$) により、粉末は水分を吸収し、酸素含有量を増加させます。

技術の進歩:

オンラインモニタリング:レーザー散乱技術は、粒子径分布をリアルタイムで検出し、還元パラメータを調整し、一貫性を向上させるために使用されます。

超微粉末:ナノコンポジット用 $\text{D}_{50} < 50\text{nm}$ モリブデン粉末を調製するための化学還元法と組み合わせたメカニカルアロイ化の開発。

純度の向上:多段階の還元と血漿精製により、モリブデン粉末の純度は 99.999% に達し、半導体ターゲットのニーズを満たします。

3.2.3 コンプレッションモールディング(冷間静水圧プレス、モールディング)

圧縮成形は、モリブデン粉末を棒状のブランクに圧縮し、その後の焼結の基礎を提供します。一般的な方法には、冷間静水圧プレスと成形が含まれます。

冷間静水圧プレス(CIP):

プロセス:モリブデン粉末をゴムまたはポリウレタンの型(壁厚 $2 \sim 5\text{mm}$) に装填し、高圧

液体(水または油、圧力 100~400 MPa)に入れ、1~5 分間均一にプレスします。

機器:最大圧力 600MPa、ダイ径 50~500mm のウェットバッグまたはドライバッグ冷間静水圧プレス。

ピレット特性:理論密度 60~70%、均一なサイズ、大口径(>50 mm)または長いロッド(> 1 m)に適しています。

利点: 均一な圧力分布、ラミネート亀裂の低減、密度勾配。

短所:金型コストが高く、プレスサイクルが長い。

成形:

プロセス:モリブデン粉末を鋼ダイ(硬度 HRC 60~65)に装填し、油圧プレス(圧力 50~200 MPa)で 0.5~2 mm/s のプレス速度で一方向または両方向にプレスします。

機器:金型用の潤滑剤(ステアリン酸亜鉛など)を備えた 4 列油圧プレス(トン数 100~1000 トン)。

ピレット特性:理論密度 50~60%、小径(<20 mm)またはプロファイルバーに適しています。

短所:一方向プレスは密度勾配を生成しやすく、複数のフリッププレスが必要です。

プロセスの詳細:

バインダー:ポリビニルアルコール(PVA、0.5~2wt%)またはパラフィンワックスを添加してピレットの強度を高め、バインダーを揮発(400~600°C)してから焼結します。

金型設計:CIP 金型は高弾性(伸び>200%)、成形金型は高い耐摩耗性(WC-Co コーティング)が必要です。

離型:ブランクの変形を防ぐために、空気圧または油圧の離型装置が使用されます。

影響要因:

粉末の流動性:球状の粉末(見かけの密度>3 g/cm³)は、不規則な粉末よりもプレス性が優れています。

圧力分布:CIP 圧力の均一性は金型の形状に影響されるため、パンチの設計は成形用に最適化する必要があります。

環境制御:プレス工場の湿度は、粉末が水分を吸収するのを防ぐために<50%です。

技術の進歩:

サーモスタットプレス:100~200°C でプレスすると、ピレット密度が 5~10%増加し、焼結収縮が減少します。

著作権および法的責任に関する声明

自動プレス:ロボットによる粉体装填と金型洗浄システムにより、生産効率を 20%向上させています。

高精度金型:3D 印刷技術は、特殊形状のモリブデンロッドのニーズを満たすために複雑な金型を製造します。

3.3 モリブデンロッドの焼結プロセス

焼結は、プレスされたブランクを高密度のモリブデンバーブランクに硬化させるための重要なステップであり、高温による粒子結合を促進し、バーの機械的特性と微細構造に大きな影響を与えます。

3.3.1 真空焼結

真空焼結は、酸化や不純物の汚染を減らすために、高真空環境で行われます。

過程:

温度:5~10°C/分~1000°C、1~2 時間加熱、揮発性バインダー、吸着ガス。

高温焼結:1800~2200°C、2~4 時間保持、ピレット密度最大 90~95%の理論密度(9.2~9.7 g/cm³)。

冷却:熱応力亀裂を防ぐために室温まで 10~20°C /分。

真空: 10^{-3} ~ 10^{-5} Pa、機械式ポンプと拡散ポンプの組み合わせを使用して MoO₃の揮発を防ぎます。

備品:

真空誘導炉:50~200kW、炉室はモリブデンまたはグラファイト製、耐熱性>2300°C。

温度制御システム:熱電対(W-Re タイプ)と赤外線温度計、誤差±5°C。

排気処理:コンデンサーは揮発性の MoO₃を回収し、汚染を減らします。

価値:

酸素含有量は低く(<0.003%)、高純度のモリブデンロッドの製造に適しています。

穀物の成長は制御可能で、微細構造は均一です。短所:

高エネルギー消費(約 2~3kWh/kg)。

装置のメンテナンスには費用がかかり、真空ポンプは定期的にシールを交換する必要があります。

影響要因:

焼結温度:高すぎる(>2200°C)と、粒子の過成長(>50μm)と強度の低下につながります。

保持時間:長すぎるとエネルギー消費が増加し、短すぎると密度に影響します。

ピレット密度:初期密度が 50%<と、過度の焼結収縮と簡単な亀裂につながります。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

3.3.2 水素保護焼結

水素保護焼結は、高純度の水素雰囲気中で行われ、酸化を防ぎ、 MoO_3 (酸化)還元を促進します。プロセスフロー:

温度: バインダーを除去するための $5 \sim 15^\circ\text{C} / \text{min} \sim 800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 。

高温焼結: $1800 \sim 2100^\circ\text{C}$ 、2～5 時間保持、密度 90～94%理論密度。

冷却: 水素の脆化を防ぐために、水素流量 $50 \sim 100 \text{ mL} / \text{min}$ で $10 \sim 30^\circ\text{C} / \text{min}$ 。

雰囲気: 水素露点 $< -40^\circ\text{C}$ 、純度 $> 99.99\%$ 、炉内酸素含有量 $< 5 \text{ ppm}$ 。

備品:

水素焼結炉: 水平または垂直、モリブデンまたはステンレス鋼製の炉室で、水冷ジャケットが装備されています。

安全システム: 安全な操作を確保するための水素漏れ検知器と緊急排気装置。

排ガス処理: 排ガス中の残留水素を燃焼させ、基準(H_2 濃度 $< 0.1\%$)に従って排出する。

価値:

焼結速度が速く、生産効率が高く、大規模生産に適しています。

表面仕上げは真空焼結よりも優れているため、その後の研磨作業の量が減ります。短所: 水素の安全性リスクは厳重に管理する必要があります。

TZM などの合金ロッドは水素に敏感であり、微量の水素脆化をもたらす可能性があります。

影響要因:

水素の流れ: 高すぎるとコストが増加し、低すぎると削減効果に影響します。

炉の気密性: 空気漏れによる酸化、およびシーリングは定期的にチェックする必要があります。

ブランクサイズ: 大きなブランク ($> 100 \text{ mm}$) は、長時間保温する必要があります。

3.3.3 高温焼結装置とパラメータ最適化

デバイスタイプ:

真空誘導炉: 高純度モリブデンロッドに適しており、炉容積 $0.1 \sim 1 \text{ m}^3$ 、出力 $100 \sim 500 \text{ kW}$ 。

水素保護炉: 大規模生産、炉長 $2 \sim 5 \text{ m}$ 、マルチゾーン温度制御に適しています。

抵抗炉: 中小規模の生産に使用され、コストは低くなりますが、温度の均一性はわずかに劣ります。

機器要件:

耐高温材料: 炉はモリブデン板またはグラファイトフェルトで裏打ちされており、断熱層はアルミナ繊維です。

著作権および法的責任に関する声明

温度制御精度:熱電対および PID コントローラー、温度変動 $\pm 3 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

雰囲気モニタリング:酸素分析装置(検出範囲 $0 \sim 100\text{ppm}$)および露点計($< -80^{\circ}\text{C}$)。

パラメータの最適化:

温度プロファイル:熱ストレスを軽減するためのセクショナルヒーティング ($200^{\circ}\text{C/h} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C/h} \sim 2000^{\circ}\text{C}$)。

保持時間:直径 $< 50\text{ mm}$ のピレットで $2 \sim 3$ 時間、 $100\text{ mm} > 4 \sim 6$ 時間。

冷却速度:急速冷却($> 20^{\circ}\text{C/min}$)はマイクロクラックを引き起こす可能性があるため、 $10 \sim 15^{\circ}\text{C/min}$ に最適化する必要があります。

雰囲気制御:真空焼結の初期真空度 $< 10^{-2}\text{ Pa}$ 、 $< \text{高温で } 10^{-4}\text{ Pa}$ 。水素焼結流量 $100 \sim 300\text{ mL/min}$

影響要因:

ブランクの均一性:プレス密度が不均一になると、焼結収縮の差が生じ、寸法精度に影響が及びます。

炉の汚染:残留 MoO_3 (約 300 万円)または超硬合金がブランクを汚染するため、炉は定期的に清掃する必要があります。

エネルギー管理:高温焼結のエネルギー消費は製造コストの $30 \sim 40\%$ を占めており、保持時間と炉の設計を最適化する必要があります。

技術の進歩:

マイクロ波焼結:マイクロ波加熱(2.45 GHz 、 $10 \sim 50\text{ kW}$)により、焼結時間が $30 \sim 50\%$ 短縮され、粒径が 20% 短縮されます。

放電プラズマ焼結法(SPS):密度 98% のパルス電流($1000 \sim 5000\text{ A}$)による急速焼結で、高性能モリブデンロッドの小ロットに適しています。

インテリジェントな温度制御:AI アルゴリズムを使用して、温度プロファイルを最適化し、エネルギー消費を $5 \sim 10\%$ 削減し、ピレットの一貫性を向上させます。

3.4 モリブデンロッドの熱処理技術

焼結ブランクを最終的なモリブデンバー形状に加工する熱間加工には、鍛造、圧延、絞りが含まれ、バーの機械的特性と表面品質に大きな影響を与えます。

著作権および法的責任に関する声明

3.4.1 鍛造プロセス

鍛造は、高温塑性変形によって粒子を微細化し、モリブデンロッドの強度を向上させます。

過程:

加熱:抵抗炉または誘導炉で 1200~1600°C、水素または真空(<10⁻²Pa)の雰囲気中で 30~60 分間加熱。

鍛造:1 回のショットで 20~30%の変形、1 回のハンマー(衝撃力 50~2000kN)または油圧鍛造機(圧力 500~2000t)で合計 60~80%の変形(衝撃力 50~200kN)空気圧ハンマー(衝撃力 50~200kN)を使用。

中間焼鈍:1000~1200°C、1~2 時間保持し、加工硬化を解消します。

冷却:空気または不活性雰囲気中で 10~20°C/分の速度で冷却します。

備品:

鍛造機:小ロット用空気圧ハンマー、大径バー(>50mm)用油圧プレス。

炉:チャンバーまたは連続式、水素保護または真空システムを装備。

プロセスの詳細:

変形率:0.1~1 s⁻¹、速すぎると亀裂が発生し、遅すぎると効率に影響します。

金型材料:超合金(インコネル 718 など)または表面に MoS₂潤滑剤を塗布したモリブデン合金。

グレインコントロール:鍛造後、粒径は 10~30μm、引張強度は 800~1000MPa に増加します。

影響要因:

加熱温度:高すぎる(>1700°C)と穀物の成長を引き起こし、低すぎる(<1100°C)と変形抵抗が増加します。

ピレットの品質:亀裂は、焼結ピレットの多孔性または介在物によって引き起こされます。

潤滑条件:不十分な場合、金型の摩耗や表面不良につながります。

技術の進歩:

等温鍛造:1400~1500°C の一定温度で鍛造すると、変形均一性が 15%向上します。

数値シミュレーション:有限要素ソフトウェア(DEFORM など)を使用して、鍛造パラメータを最適化し、試行錯誤のコストを削減します。

自動鍛造:マニピュレーターがブランクを操作して、生産効率と安全性を向上させます。

著作権および法的責任に関する声明

3.4.2 ローリングプロセス

ローリングは、高い表面仕上げと寸法精度で連続変形することにより、中径のモリブデンロッドを製造します。

過程:

加熱:1000~1400°C、20~40 分間インキュベート、水素または真空。

圧延:2 つまたは 4 つの高さの熱間圧延機を使用して、5~15%の単一変形と 50~70%の全変形。

アニーリング:800~1000°C、1~2 時間インキュベートして内部ストレスを緩和します。

冷却:不活性雰囲気ですくなく冷却します(5~10°C / min)。

備品:

ミル:4 段ミル(直径 200~500 mm)は、2 段ミルよりも精度が高く、直径 5~20 mm のバーに適しています。

ロール:炭化タングステン(WC-Co)または高温鋼、表面研磨(Ra<0.4μm)。

プロセスの詳細:

圧延速度:0.5~2 m/s、速すぎると表面の亀裂につながる可能性があります。

潤滑:グラフアイトエマルジョンまたは高温潤滑油を使用して、摩擦係数を 0.1~0.2 に低減します。

寸法制御:±0.01mm の精度を持つインラインレーザーキャリパー。

影響要因:

温度勾配:ブランクの表面とコアの温度差>100°C で、亀裂が発生します。

ロールウェア:耐用年数を延ばすために定期的に修理する必要があります。

変形:単一のくぼみの量が 20%>と、微小亀裂のリスクが高まります。

技術の進歩:

精密圧延:寸法偏差<0.005mm のサーボ制御圧延機で、半導体ターゲットに適しています。

インラインアニーリング:圧延後すぐにインダクションアニーリングを行い、プロセス時間を 30%短縮します。

グリーン潤滑:環境汚染を減らすために水性潤滑剤を開発します。

3.4.3 描画プロセス

絞り加工により、小径のモリブデン棒(<5mm)を高精度で表面が平滑なものに仕上げます。

過程:

前処理:圧延棒酸洗い(10% HNO_3)により、酸化物層を除去し、グラファイト潤滑剤を塗布します。

絞り加工:800~1200°C、超硬金型(穴径 0.5~5mm)、絞り速度 0.1~1m / s、単一変形 10~20%。

中間焼鈍:800~1000°C、30~60 分間保持し、可塑性を回復させます。

マルチパス描画:5~10 回引っ張って目標サイズ($\pm 0.01 \text{ mm}$)を取得します。

備品:

プーラー:10~50kN の引っ張り力を持つチェーンまたは油圧プーラー。

金型:WC-Co またはダイヤモンドコーティング、穴精度 $\pm 0.001 \text{ mm}$ 。

プロセスの詳細:

潤滑剤:コーティング厚さ 0.1~0.5mm のグラファイトエマルジョンまたは MoS_2 。

温度制御:誘導加熱または抵抗加熱、誤差 $\pm 10^\circ\text{C}$ 。

表面品質:延伸後 $\text{Ra} < 0.2 \mu\text{m}$ 、電極材料に適しています。

影響要因:

金型の摩耗:図面の 1000 m ごとにダイ交換します。

ブランクの欠陥:表面の亀裂や介在物は破壊を引き起こします。

描画速度:応力集中を急激に増加させます。

技術の進歩:

超微細絞り:直径 $< 1 \text{ mm}$ のモリブデンロッドを製造するためのナノダイヤモンドコーティングモールドの開発。

連続描画:マルチモード連続描画機、効率が 50%向上します。

インテリジェントな監視:オンラインの直径と張力センサー、リアルタイムのパラメータ調整。

3.5 モリブデンロッドの表面処理技術

表面処理は、機械研磨、化学洗浄、抗酸化コーティングなど、モリブデンロッドの耐食性、仕上げ、および高温性能を向上させます。

3.5.1 機械研磨

機械研磨は、研削と研磨によって表面の欠陥を取り除き、高い仕上がりを実現します。

過程:

著作権および法的責任に関する声明

粗研削:1000~2000rpm の炭化ケイ素砥石(60~120 メッシュ)を使用して、酸化物層と粗い傷を除去します。

微粉碎:ダイヤモンド砥粒ベルト(粒度 400~800 メッシュ)、Ra 0.8~1.6 μ m。

研磨:フェルトホイールとアルミナ研磨ペースト(粒子径 0.5~1 μ m)、回転速度 1500~3000rpm、Ra<0.2 μ m。

クリーニング:超音波洗浄(周波数 40 kHz、脱イオン水)により、研磨残留物を除去します。

備品:

研磨機:自動供給システムを装備した CNC フラットまたは円筒形研磨機。

検出器:表面粗さ計(精度 0.01 μ m)、Ra 値を確認してください。

プロセスの詳細:

研磨剤の選択:ダイヤモンドは高硬度のモリブデンロッドに適しており、アルミナのコストは低くなっています。

クーラント:過熱を防ぐための水性クーラント(pH 7~8)。

研磨時間:直径 10mm のロッドの研磨は約 5~10 分/m です。

影響要因:

研磨粒子サイズ:粗すぎると傷がつき、細かすぎて効率が低くなります。

圧力制御:高すぎる(>0.5MPa)とマイクロクラックが発生する。

バー硬度:TZM 合金は純粋なモリブデンよりも研磨が困難です。

技術の進歩:

電解研磨:機械研磨との組み合わせにより、Ra<0.1 μ m となり、効率が 20%向上します。

レーザー研磨:非接触研磨で、複雑な形状のバーに適しています。

自動研磨:ロボット研磨システムにより、人件費を 30%削減します。

3.5.2 化学洗浄

化学洗浄は、表面の酸化物、油、不純物を除去し、耐食性と導電性を向上させます。

過程:

酸洗い:硝酸-硫酸混合物($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4 = 1:3$ 、濃度 10~20%)を 5~15 分間浸し、温度 20~40°C で酸化物層を除去します。

苛性ソーシャ洗浄:5~10%NaOH 溶液、50~70°C、3~10 分間浸漬して有機汚染物質を除去します。

超音波洗浄:脱イオン水と中性洗剤(0.1~0.5%)を 28~40 kHz で 5~10 分間使用して、微粒子を除去します。

乾燥:熱風乾燥(80~100°C)または二次酸化を防ぐための真空乾燥。

備品:

酸洗浴:PP または PTFE、加熱および攪拌システム付き。

超音波洗浄機:電力 500~2000 W、タンク容量 10~100 L。

プロセスの詳細:

廃棄物処理:酸洗廃棄物の中和($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、pH 6.5~7.5)、重金属の沈殿、排出。

クリーニング順序:酸洗い-洗浄-アルカリ洗浄-表面に残留物がないことを確認するための超音波洗浄。

保護対策:洗濯後すぐに窒素を包装し、吸湿を防ぎます。

影響要因:

酸濃度:マトリックスを腐食させるには高すぎる、完全に洗浄するには低すぎる。

温度制御:高すぎると排気ガスの揮発が増加し、低すぎると効率が低下します。

表面状態:黒色のロッドは、研磨ロッドよりも洗浄に時間がかかります。

技術の進歩:

グリーンクリーニング:環境汚染を減らすためのクエン酸ベースのクリーナー、pH 4~6 の開発。

プラズマ洗浄:低温プラズマ(出力 100~500 W)により有機物が除去され、高純度のモリブデンロッドに適しています。

自動洗浄:マルチタンク連続洗浄ライン、効率が 40%向上します。

3.5.3 表面コーティング(酸化防止コーティングなど)

酸化防止コーティング(MoSi_2 、 Al_2O_3 など)は、高温酸化環境下でのモリブデンロッドの寿命を延ばします。

プロセス方法:

化学気相成長法(CVD):

プロセス:800~1200°C で、 SiCl_4 と CH_4 が反応して、厚さ 10~50 μm の MoSi_2 コーティングを形成します。

装置:真空 10^{-1} - 10^{-2} CA、ガス流量 50°C-200mL/min の CVD 炉

利点:緻密なコーティングと強力な接着性(>50MPa)。

プラズマ溶射:

プロセス:プラズマアーク(出力 20~50 kW)に、厚さ 50~200 μm の Al_2O_3 または ZrO_2 粉末を噴霧します。

機器:ガンの移動速度が 0.1~0.5 m/s の大気圧または低圧プラズマ溶射システム。

利点:大型バー、簡単なプロセスに適しています。

ゾルゲル法:

プロセス: SiO_2 または Al_2O_3 によるゾルコーティングと 500~800°C での熱処理により、5~20 μm のコーティングを形成します。

利点:低コスト、複雑な形状に適しています。

プロセスの詳細:

前処理:コーティングの密着性を向上させるためのバー酸洗いとサンドブラスト(SiC 粒子、0.1~0.5 mm)。

コーティング性能:1700°C までの MoSi_2 コーティング酸化温度、 Al_2O_3 コーティングは優れた耐摩耗性。

検査:コーティングの微細構造の SEM 分析、密着性をテストするためのスクラッチ法。

影響要因:

膜厚:厚すぎる(>100 μm)は剥がれやすく、薄すぎると抗酸化効果が悪い。

基板温度:CVD 中の基板の過熱(>1300°C)により、結晶粒が成長します。

雰囲気制御:酸素の侵入により、コーティングの品質が低下します。

技術の進歩:

複合コーティング: $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 二重層コーティング、酸化寿命が 50% 向上。

ナノコーティング:耐摩耗性と耐酸化性を兼ね備えた PVD 成膜ナノ SiC コーティング(厚さ 1~5 μm)。

自己修復コーティング:希土類元素(CeO_2 など)をドーピングした MoSi_2 コーティングで、高温での自己修復亀裂を実現します。

3.6 モリブデンロッドの品質管理とプロセスの最適化

品質管理は、モリブデンロッドの一貫した信頼性の高い性能を保証し、欠陥制御とプロセスパラメータの最適化を含みます。

3.6.1 生産プロセスにおける欠陥管理

一般的な欠陥には、亀裂、多孔性、介在物、表面酸化などがあり、以下によって制御されます。

著作権および法的責任に関する声明

原材料の品質:

高純度の MoO_3 ($\geq 99.9\%$) を使用し、ICP-MS を使用して Fe や C ($< 50\text{ppm}$) などの不純物を検出しました。

モリブデン粉末の酸素含有量 $< 0.005\%$ であり、不活性ガスの貯蔵により酸化が回避されます。

焼結欠陥:

焼結温度の最適化 ($1800 \sim 2000^\circ\text{C}$) と空隙率の低減 (空隙率 $< 2\%$)。

温度差が $< 10^\circ\text{C}$ のマルチゾーン炉により、ブランクの均一な収縮が保証されます。

処理上の欠陥:

鍛造と圧延の変形 $< 30\%$ で、微小な亀裂を防ぎます。

非破壊検査(NDT):

超音波探傷: $5 \sim 10\text{MHz}$ の周波数で 0.1mm の内部亀裂を検出されました。

X 線検査: $100 \sim 200\text{kV}$ で介在物 ($> 0.05\text{mm}$) を確認します。

表面の欠陥:

研磨により、酸化物層 (厚さ $0.01 \sim 0.05\text{mm}$) と傷が除去されます。

表面粗さ計は、ASTM B387 に従って $R_a < 1.6\mu\text{m}$ を検出します。

検出技術:

顕微鏡分析: 粒径 ($10 \sim 50\mu\text{m}$) と欠陥分布の SEM および EBSD 分析。

化学分析: GD-MS は ppb 精度で不純物を検出します。

機械的試験: 引張強度 ($> 600\text{MPa}$) をテストするための引張試験機 (荷重 $50 \sim 200\text{kN}$)。

影響要因:

プロセスの安定性: 温度と圧力の変動は、不良率の増加につながります。

機器の経年劣化: 炉室の汚染やカビの摩耗により、介在物が増加します。

操作仕様: 手動操作のエラーは、トレーニングを通じて減らす必要があります。

技術の進歩:

オンライン NDT: リアルタイムの超音波画像診断、欠陥検出率が 20% 向上。

AI 欠陥認識: マシンビジョンは、 $> 95\%$ の精度で表面欠陥を分析します。

予防保守: センサーで機器の故障を予測することで、ダウンタイムを最大 30% 削減します。

著作権および法的責任に関する声明

3.6.2 プロセスパラメータの監視と最適化

プロセスパラメータのリアルタイム監視と最適化により、生産効率と製品品質が向上します。方法には以下が含まれます。

監視技術:

温度:熱電対(タイプ K または W-Re)および $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の精度の赤外線温度計。

雰囲気:酸素分析装置($0\sim 100\text{ppm}$)および露点計($< -80^{\circ}\text{C}$)。

圧力:ピエゾメーター($10^{-5}\sim 10^5\text{Pa}$)および流量計($0\sim 500\text{mL/min}$)。

寸法:レーザーキャリパー(精度 $\pm 0.001\text{mm}$)とインライン計量システム。

データ取得:

インダストリアル・インターネット・オブ・シングス(IIoT)は、温度、圧力、気流などのデータを 1Hz のサンプリング周波数で収集します。

SCADA システムは、プロセスステータスをリアルタイムで表示し、異常アラームの応答時間 < 1 秒です。

パラメータの最適化:

回帰分析:温度、圧力、ピレット密度の数学的モデルを確立し、焼結温度を $10^{\circ}\text{C}\pm$ 最適化します。

機械学習:ニューラルネットワークは、欠陥率を予測し、プレス圧力と圧延速度を調整し、欠陥率を $5\sim 10\%$ 削減します。

シミュレーション:CFD は、炉内のガス流量分布をシミュレートして、水素の流量を最適化し、ガスを $10\sim 15\%$ 節約します。

影響要因:

センサーの精度: 10°C >温度偏差はプロセスの安定性に影響します。

データ品質:ノイズ干渉によりモデルの精度が低下し、フィルタリングが必要になります。
デバイスの互換性:古いデバイスは、IIoT システムに統合するのが困難です。

技術の進歩:

デジタルツイン:モリブデンロッド製造の全プロセスのデジタルモデルを確立し、リアルタイムでパフォーマンスを予測し、効率を $10\sim 15\%$ 最適化します。

5G+IIoT:高帯域幅のデータ伝送、10 ミリ秒<遅延の監視、マルチブランドコラボレーションに適しています。

グリーン製造:プロセスパラメータを最適化して、エネルギー消費と排出量を削減し、二酸化炭素排出量を 20% 削減します。

著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD モリブデンロッド

第4章 モリブデンロッドの種類と仕様

高性能の高融点金属製品として、モリブデンロッドは、その種類と仕様の多様性により、航空宇宙、電子機器、ガラス産業などの多くの分野の特定のニーズを満たすことができます。この章では、モリブデンロッドを組成、表面状態、サイズと形状、カスタマイズされた設計の4つの側面から詳細に分類し、その特性、準備プロセス、アプリケーションシナリオ、および関連規格について説明します。

4.1 構成による分類

モリブデンロッドは、化学組成に応じて、高純度モリブデンロッドとドーピングモリブデンロッドの2つのカテゴリに分類できます。高純度モリブデンロッドは、その優れた電気伝導性と熱伝導性によりエレクトロニクス業界で重要な位置を占めており、ドーピングされたモリブデンロッドは、合金元素を添加することで高温性能を大幅に向上させ、より要求の厳しい環境に適しています。

4.1.1 高純度モリブデンロッド(純度≥99.95%)

高純度モリブデンロッドとは、モリブデン含有量が 99.95%以上のバーを指し、通常は粉末冶金プロセスによって製造され、不純物元素(Fe、C、O、N など)の含有量は ppm レベルで厳密に制御されています。典型的な不純物限界には、鉄(Fe)≤0.01%、炭素(C)≤0.005%、酸素(O)≤0.003%、窒素(N)≤0.002%が含まれます。高純度の達成は、高純度の酸化モリブデン(MoO_3 、≥99.99%)原料と真空/水素還元プロセスに依存して、バーの優れた物理的および化学的特性を確保します。

特性:

物理的性質:高純度モリブデンロッドの密度は理論値(10.28 g/cm^3)に近く、融点は 2623°C 、

著作権および法的責任に関する声明

熱伝導率は $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (20°C)、熱膨張係数は $4.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($20 \sim 1000^\circ\text{C}$) です。

電気的特性:抵抗率 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (20°C)、高導電性、電極および導電性部品に適しています。

機械的特性:室温での引張強度は約 $600 \sim 800 \text{ MPa}$ 、伸びは $10 \sim 20\%$ 、高温 ($>1000^\circ\text{C}$) での延性は大幅に向上します。

化学的安定性:室温での酸およびアルカリ腐食に耐性がありますが、高温 ($>600^\circ\text{C}$) の酸化性雰囲気では揮発性の MoO_3 が発生しやすく、真空または不活性雰囲気で保護する必要があります。

準備プロセス:

原材料:モリブデン粉末(純度 $\geq 99.95\%$ 、粒径 $1 \sim 5 \mu\text{m}$)を超高純度 MoO_3 を用いた多段水素還元により調製した。

成形と焼結:冷間静水圧プレス ($100 \sim 400 \text{ MPa}$) 成形、真空焼結 ($1800 \sim 2200^\circ\text{C}$) により高密度ブランク (密度 $>$ 理論値 90%) が得られます。

加工:熱間鍛造 ($1200 \sim 1600^\circ\text{C}$) または圧延 ($1000 \sim 1400^\circ\text{C}$) で棒状にすると、表面を $\text{Ra} < 0.2 \mu\text{m}$ に研磨できます。

品質管理:不純物は ICP-MS で検出され、内部欠陥は超音波で検出され、表面粗さ計は仕上げを保証します。

申し込む:

エレクトロニクス&半導体:スパッタリングターゲットとして、集積回路、太陽電池、フラットパネルディスプレイ用の薄膜。高純度によりフィルム品質が保証され、表面仕上げにより不良率が低下します。

真空管・イオン源:電極材料として使用され、高い導電性と低い電子働き (約 4.6 eV) により、他の金属よりも優れています。

高温実験装置:実験室の高温炉の支持棒または電極として使用され、科学研究のニーズを満たすために高温耐性と化学的安定性を備えています。

標準:

国際:ASTM B387-18、高純度モリブデンロッドの化学組成、機械的特性、および寸法公差を規定しています。

国内:GB/T 3462-2017、純度 $\geq 99.95\%$ 、電子業界標準に沿った不純物含有量。

技術的な課題:

酸素含有量の管理には、超高純度の水素 (露点 $< -60^\circ\text{C}$) と真空環境 ($< 10^\circ\text{C} \cdot \text{Pa}$) が必要です。

著作権および法的責任に関する声明

高純度モリブデンロッドの耐クリープ性は高温で弱いため、長期間の高温負荷下での用途が制限されます。

4.1.2 ドープされたモリブデンロッド(TZM、Mo-La、Mo-W など)

ドープされたモリブデンロッドは、微量元素または合金を添加することによりモリブデンベースの合金を形成し、高温強度、耐クリープ性、耐酸化性を大幅に向上させます。一般的なタイプには、TZM(チタン-ジルコニウム-モリブデン)、Mo-La(モリブデン-ランタン)、Mo-W(モリブデン-タングステン)などがあります。

TZM モリブデンロッド:

組成:0.4~0.55%Ti、0.06~0.12%Zr、0.01~0.04%C、Mo のバランス。

特性:

溶液強化と炭化物(TiC、ZrC)の析出強度により、引張強度は 1100 MPa(20°C)に達し、高温(1500°C)の引張強度は約 400 MPa で、純粋なモリブデンよりもはるかに優れています。クリープ率は低く、例えば、1200°C、50MPa で約 10^{-6} /h です。

熱伝導率は純粋なモリブデンよりもわずかに低く(約 120W/m·K)、熱膨張係数は同程度($5.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)です。

耐酸化性は純粋なモリブデンよりもわずかに優れていますが、それでも<600°C または保護雰囲気を使用する必要があります。

準備:

モリブデン粉末に Ti、Zr、C 粉末を混合(遊星ミル、200~400 rpm)、冷間静水圧プレス成形、水素保護焼結(1800~2100°C)。

熱間加工(鍛造 1400~1700°C、圧延 1200~1500°C)は、硬度の増加(HV 270~300)により難しくなります。

申し込む:

航空宇宙:高強度で密度が低い(10.16 g/cm³)ため、高温構造部品(ジェットエンジンのノズルなど)。

高温炉:発熱体と支持棒、1800°C に耐え、長期間使用できます。

金型製作:高温摩耗に強い熱間押出金型。

Mo-La モリブデンロッド:

組成:0.3~1.0%La₂O₃(酸化ランタン)、残留量の Mo。

特性:

La_2O_3 分散液は、結晶粒の微細化(10–20 μm)を強化し、伸びが 25 (20°C)すると結晶粒界強度が増加します。

高温での耐酸化性は純粋なモリブデンよりも優れており、酸化速度は 800°C で約 0.05mg / $\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ です。

優れた耐クリープ性、クリープ率は 1500°C で 10⁻⁶/h 未満。

熱伝導率は約 130W/m · K で、高温の熱伝導部品に適しています。

準備:

モリブデン粉末に La_2O_3 粉末液(pH 7–8)をドープし、噴霧乾燥して複合粉末を調製しました。

真空焼結(1900–2200°C)、熱間加工(鍛造 1300–1600°C)。

表面の研磨やコーティング(MoSi_2 (モ Si_2 など))は、性能をさらに向上させます。

申し込む:

高温炉:長期の高温(>1500°C)で使用される発熱体とホットスクリーン。

ガラス産業:溶融電極、高温腐食に強い。

科学研究:靱性と強度を考慮した高温実験装置。

Mo-W モリブデンロッド:

組成:5–30%W(タングステン)、Mo のバランス。

特性:

タングステンを添加すると、融点(3422°C に近い)と強度が増加し、引張強度は 1200MPa(20°C)に達することがあります。

熱伝導率は減少し(約 100–120 W / m · K)、抵抗率は増加します($6–8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)。

純粋なモリブデンよりも耐食性に優れ、酸性または溶融塩の環境に適しています。

準備:

モリブデン粉末は、タングステン粉末と機械的に合金化され、プレス成形され、次いで真空焼結(2000–2300°C)されます。

高温鍛造(1500–1800°C)または絞り(1000–1400°C)。

申し込む:

原子力産業:融点が高く、耐放射線性が高いため、高温反応器の部品。

特殊電極:過酷な化学環境に対応する耐食電極。

著作権および法的責任に関する声明

比べる:

TZM:航空宇宙に適した最高の高温強度と耐クリープ性。

Mo-La:優れた耐酸化性と延性、高温炉やガラス産業に適しています。

Mo-W:優れた融点と耐食性で、原子力産業や特殊な環境に適しています。

標準:

ASTM B387-18:TZM および Mo-La の組成、機械的特性、および公差を指定します。

GB/T 4188-2015:TZM バー規格、不純物とドーピング元素の限界は明確です。

技術的な課題:

ドーピングされた元素の分布の均一性は、偏析を避けるために正確に制御する必要があります。

合金棒は加工が難しく、高温装置と最適化されたプロセスが必要です。

4.2 表面状態による分類

モリブデン棒の表面状態は、その性能と用途に重要な影響を与え、加工技術と使用要件に応じて、黒色モリブデン棒、研磨モリブデン棒、洗浄モリブデン棒に分けることができます。

4.2.1 ブラックモリブデンロッド

ブラックモリブデンロッドとは、研磨や化学処理が行われていないバーを指し、熱間加工(鍛造、圧延)後も表面は酸化物層を保持し、黒色またはダークグレーです。表面粗さは通常、Ra 3.2~6.4 μ m です。

特性:

表面:酸化モリブデン($\text{MoO}_2/\text{MoO}_3$)層の厚さは 0.01~0.05 mm で、耐食性はわずかに低下しますが、非酸化環境(真空など)では大きな影響はありません。

性能:機械的特性は研磨ロッドと同じですが、マイクロクラックなどの表面欠陥が疲労寿命に影響を与える可能性があります。

コスト:追加の表面処理が不要なため、製造コストが低くなります。

準備:

焼結ピレットは、熱間鍛造(1200~1600°C)または圧延(1000~1400°C)によって形成され、直接冷却されて黒い棒を形成します。

表面の酸化皮膜は、高温処理の際に微量の酸素と反応させることで形成され、雰囲気(水素や真空)を制御することで膜厚を薄くすることができます。

申し込む:

高温炉:支持棒または発熱体として、表面の酸化物層は真空または不活性雰囲気下での性能に影響を与えません。

著作権および法的責任に関する声明

荒削り:その後の研磨または機械加工のための半製品として。

コストに敏感な領域:セラミック焼結、黒色モリブデンロッドなどは、コストを削減するために好まれます。

標準:

ASTM B387-18:黒色モリブデンロッド表面は、粗さ $Ra \leq 6.4\mu m$ でわずかな酸化を可能にします。

GB/T 3462-2017:表面に亀裂やスラグの混入などの重大な欠陥はありません。

技術的な課題:

表面の酸化物層は、一部の用途で MoO_3 ガスを放出し、環境を汚染する可能性があります。

表面が粗いと耐食性が低下し、使用環境の評価が必要です。

4.2.2 モリブデンロッドの研磨

研磨されたモリブデンロッドは、機械的に研磨または電解的に研磨され、高い表面仕上げ(通常は $Ra 0.1 \sim 0.8\mu m$)で、銀白色の金属光沢があります。

特性:

表面:酸化物層がなく、微細な欠陥(傷、亀裂)が非常に少なく、耐食性は黒色モリブデンロッドよりも優れています。

性能:電気伝導率と熱伝導率がわずかに向上し(表面欠陥の減少による)、高精度のアプリケーションに適しています。

美学:滑らかな表面は、電子および光学業界のニーズを満たすために外観を向上させます。

準備:

機械研磨:炭化ケイ素砥石(60~800 メッシュ)による荒研削と、1000~3000rpm のダイヤモンド研磨ペースト($0.5 \sim 1\mu m$)による微研磨。

電解研磨:電流密度 $0.5 \sim 2 A/cm^2$ のリン酸-硫酸電解質(pH 2~3)で研磨し、5~10 分間研磨し、 $Ra < 0.1\mu m$ で研磨します。

クリーニング:超音波洗浄(40 kHz、脱イオン水)で研磨残留物を除去し、窒素乾燥で酸化を防ぎます。

申し込む:

半導体:高い仕上げと低い不良率が求められるスパッタリングターゲットや電極。

光学機器:光の散乱を減らす滑らかな表面を持つサポートロッドまたは反射部品。

医療:高純度で仕上げられた X 線管ターゲットは、画質を確保します。

標準:

ASTM B387-18:ポリッシュ仕上げのモリブデンロッドの粗さ $Ra \leq 0.8\mu m$ で、目に見える傷

著作権および法的責任に関する声明

はありません。

GB/T 3462-2017:表面仕上げは、エレクトロニクス業界の要件を満たしています。

技術的な課題:

研磨プロセスでは、微量の研磨剤汚染が発生する可能性があり、厳密な洗浄が必要です。高仕上げは生産コストを増加させ、アプリケーションのニーズ間でトレードオフを必要とします。

4.2.3 モリブデンロッドのクリーニング

モリブデンロッドの洗浄は、表面の酸化物、油、不純物を除去するために化学的に洗浄されたロッドであり、表面状態は黒色のロッドと研磨されたロッドの間にあり、粗さは通常 $Ra\ 1.6\sim 3.2\mu m$ です。

特性:

表面:酸化物層と有機汚染物質、オフホワイト、耐食性は黒色モリブデンロッドよりも優れています。

性能:研磨ロッドに近いですが、より微細な表面欠陥があり、中精度のアプリケーションに適しています。

コスト:磨かれたロッドよりも低く、黒いモリブデンロッドよりも高い。

準備:

酸洗い:硝酸-硫酸混合物($HNO_3:H_2SO_4=1:3$ 、10~20%)を 5~15 分間、20~40°C に浸して、酸化物層を除去します。

苛性ソーシャ洗浄:5~10%NaOH 溶液、50~70°C、3~10 分間浸漬して油分を除去します。

超音波洗浄:脱イオン水と中性洗剤(0.1~0.5%)、40 kHz、5~10 分。

乾燥:真空または熱風乾燥(80~100°C)、窒素包装により二次酸化を防ぎます。

申し込む:

ガラス産業:電極を溶かし、表面を洗浄して不純物汚染を減らします。

高温炉:サポートロッド、不活性雰囲気要件を満たすための耐食性。

前処理:研磨ロッドの中間製品として、さらなる加工を行います。

標準:

ASTM B387-18:酸化物を含まないモリブデンロッド表面の洗浄、粗さ $Ra\leq 3.2\mu m$ 。

GB/T 3462-2017:表面に残留化学物質はありません。

技術的な課題:

著作権および法的責任に関する声明

酸洗廢液は、環境要件を満たすために中和(pH 6.5〜7.5)する必要があります。

不完全なクリーニングは、微量汚染物質を残し、パフォーマンスに影響を与える可能性があります。

4.3 サイズと形状による分類

モリブデンロッドは、丸型、角型、プロファイル型、マイクロロッドから大型ロッドまで、用途に合わせたサイズと形状で入手可能です。

4.3.1 丸いモリブデンロッド

丸型モリブデンロッドは、モリブデンロッドの最も一般的な形態で、直径は 0.5 mm から 100 mm、長さは通常 100 mm から 3000 mm です。

特性:

寸法精度:直径公差 $\pm 0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$ 、長さ公差 $\pm 1 \sim 5 \text{ mm}$ で高精度なアプリケーションに対応します。

機械的特性:軸方向に沿った一貫した粒子配向、均一な引張強度。

加工性:旋削、穴あけ、溶接が簡単で、複雑な部品製造に適しています。

準備:

小径(<5mm):絞り加工(800〜1200°C)で、金型精度は $\pm 0.001 \text{ mm}$ 。

中径(5〜20 mm):熱間圧延(1000〜1400°C)、公差を確保するためのインライン直径測定。

大径(>20mm):熱間鍛造(1200〜1600°C)、マルチパス変形。

申し込む:

電子機器:電極とスパッタリングターゲット、最も一般的には直径 5〜20 mm。

高温炉:発熱体と支持棒、直径 20〜50mm。

航空宇宙:構造部品、直径 50〜100 mm、高強度。

標準:

ASTM B387-18:直径公差 $\pm 0.05 \text{ mm}$ (<10 mm)、 $\pm 0.1 \text{ mm}$ (>10 mm)。

GB / T 3462-2017:真円度偏差<0.02mm。

技術的な課題:

小径のバーは破損しやすいため、絞り速度(0.1〜1 m/s)を最適化する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

大径棒鍛造は高温の設備が必要で、コストもかかります。

4.3.2 角型およびその他の特殊形状のモリブデンロッド

角型モリブデンロッドと特殊形状のモリブデンロッド(長方形、六角形など)は、通常、辺の長さまたは断面積が 5~50 mm、長さが 100~2000 mm の特殊な構造または金型で使用されます。

特性:

幾何学的精度:エッジ長の公差 $\pm 0.05 \sim 0.2\text{mm}$ 、エッジの真直度 $< 0.1\text{mm/m}$ 。

性能:機械的特性は丸棒と似ていますが、処理の難易度が高くなります。

適用性:複雑な設置または機能要件を満たすための特別な形状の設計。

準備:

成形:冷間静水圧プレスは特殊形状の金型を使用し、ブランクは焼結後の最終形状に近くなります。

機械加工:熱間鍛造($1200 \sim 1600^{\circ}\text{C}$)または機械加工(CNC 旋盤、切削速度 $10 \sim 50 \text{ m/min}$)。

表面処理:研磨または洗浄、粗さ $Ra 0.8 \sim 3.2\mu\text{m}$ 。

申し込む:

金型製作:正方形のモリブデンロッドは、高温摩耗に耐性のある熱間押出ダイに使用されます。

高温炉:熱場分布を最適化するための特殊形状のサポートロッド。

研究:実験装置のニーズに合わせてカスタマイズされた形状。

標準:

ASTM B387-18:プロファイルバーの断面公差 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

GB/T 3462-2017:エッジに亀裂はなく、表面品質は丸棒と同じです。

技術的な課題:

特殊形状の金型の設計は複雑で、製造コストが高くなります。

加工は応力が集中しやすいため、切削データの最適化が必要です。

4.3.3 マイクロモリブデンロッドと大型モリブデンロッド

マイクロモリブデンロッド:直径 $< 1 \text{ mm}$ 、長さ $10 \sim 500 \text{ mm}$ 。

特徴:高精度(直径公差 $\pm 0.005\text{mm}$)、表面仕上げ $Ra < 0.1\mu\text{m}$ 、マイクロエレクトロニクスや精密機器に適しています。

調製: ナノダイヤモンド型を用いた超微細絞り ($600 \sim 1000^{\circ}\text{C}$)、多重アニーリング ($800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$)。

著作権および法的責任に関する声明

申し込む:

マイクロエレクトロニクス:電極とプローブ、直径 0.1~0.5mm。

医療:X 線管部品、高純度と精度が必要です。

課題:高い引き抜き破損率、速度(0.05~0.5 m/s)と潤滑(MoS₂)の正確な制御。

大型モリブデンロッド:直径>50 mm、長さ 500~3000 mm。

特徴: 高強度(引張強度>800MPa)、密度>9.7g/cm³、ヘビーデューティ用途に適しています。

準備: 大トン数の鍛造(2000~5000 トン、1400~1700°C)、真空焼結(>2200°C)により、内部の多孔性を確保しません。

申し込む:

航空宇宙:ロケットノズルなどの高温構造部品。

ガラス産業:高温腐食に強い大型電極。

課題: 鍛造設備は要求が厳しく、粒度(>50μm)の管理が困難です。

標準:

ASTM B387-18:公差±マイクロロッドの場合は 0.01 mm、大型ロッドの場合は 0.2 mm±。

GB/T 3462-2017:内部欠陥は超音波(<0.1 mm)によってテストされます。

技術の進歩:

マイクロスティック:レーザーアシスト引っ張り、精度が 20%向上。

大型ロッド:等温鍛造(1500°C)、粒の均一性が 15%向上。

4.4 カスタマイズされたモリブデンロッドの設計

カスタマイズされたモリブデンロッドは、顧客固有のニーズに応じて設計されており、組成、サイズ、表面状態、および性能の最適化が含まれます。顧客の需要分析は、カスタマイズの出発点であり、製品がアプリケーションシナリオを満たしていることを確認します。

4.4.1 顧客需要分析

顧客の需要分析は、カスタマイズされた設計の中核的なステップであり、顧客との技術的なコミュニケーション、アプリケーションシナリオの評価、およびパフォーマンス要件が含まれます。詳細なプロセスは次のとおりです。

要件の収集:

アプリケーションシナリオ:お客様は、高温炉(1500~1800°C、真空/水素)、半導体スパッタリング(高純度、Ra<0.1μm)、航空宇宙(引張強度>1000MPa)など、モリブデンロッドが使

著作権および法的責任に関する声明

用される環境を知る必要があります。

性能要件:機械的特性(強度、靱性)、熱特性(熱伝導率、熱膨張係数)、電気的特性(抵抗率)、化学的特性(耐酸化性、耐食性)が含まれます。

サイズと形状:直径、長さ、断面形状(円、正方形など)、および公差要件。たとえば、マイクロエレクトロニクス用のロッドの直径は 0.5 mm<、公差は 0.005 mm±。

表面状態:黒色、研磨またはクリーニングバー、粗さ要件(例:Ra<0.2μm)。

数量と納期:バッチ(10~1000 個)または小ロットの試作、リードタイム(2~12 週間)。

技術評価:

材料の選択:ニーズに応じて、高純度のモリブデンまたはドーピング合金を選択してください。

例えば、高温炉用の Mo-La ロッドや半導体用の高純度モリブデンロッドなどです。

プロセスの実現可能性:製造プロセス(絞り、鍛造、焼結など)が寸法と性能の要件を満たしているかどうかを評価します。例えば、マイクロロッドは超微細に引き抜く必要があり、大きなロッドは大きなトン数で鍛造する必要があります。

規格への準拠:製品が ASTM B387、GB/T 3462、またはお客様指定の規格に準拠していることを確認します。

コスト分析:高純度、複雑な形状、または特殊な表面処理のコストへの影響を比較検討して、費用対効果の高いソリューションを提供します。

コミュニケーションと謝辞:

技術提案:組成、サイズ、表面処理、性能パラメータを含む設計提案を顧客に提出します。

サンプル試作:サンプルの小ロット生産、テスト後の顧客フィードバック(機械的特性、耐食性など)。

契約の締結:納期、品質基準、受け入れプロセスを明確にします。

技術的な課題:

超小型ロッドや超大型ロッドなどの複雑な要件には、カスタマイズされた機器が必要であり、コストが増加します。

性能(耐酸化性など)に対する顧客の要求は、既存の技術を超える場合があり、新しいプロセス(ナノコーティングなど)の開発が必要になります。

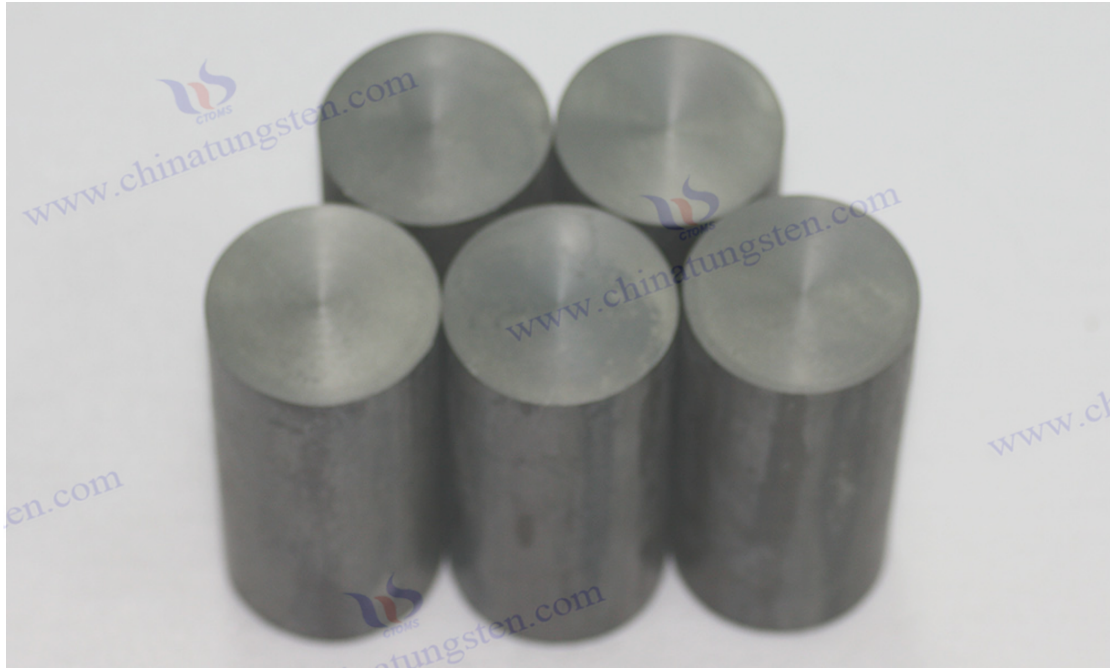
技術の進歩:

デジタル設計:CAD/CAE ソフトウェアを使用してモリブデンロッドの性能をシミュレーションし、最適化された設計サイクルを 30%短縮します。

ラピッドプロトタイプリング:モリブデン粉末ブランクを 3D プリントし、試作サイクルを 50%短縮します。

顧客とのコラボレーション:オンライン プラットフォームは、注文の進行状況をリアルタイムで追跡し、コミュニケーション効率を向上させます。

著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンロッド

第5章 モリブデンロッドの性能試験と評価

高性能高融点金属材料として、モリブデンロッドの性能試験と評価は、航空宇宙、電子機器、ガラス産業などの需要の高い分野での信頼性の高いアプリケーションを確保するための重要なリンクです。この章では、モリブデンロッドの試験方法と評価技術について、機械的特性、高温特性、微細構造、化学的特性、故障解析の5つの側面から詳しく説明します。体系的な試験プロセスと高度な分析方法により、モリブデンロッドの機械的挙動、高温安定性、微細構造特性、化学的安定性を完全に明らかにすることができ、材料の最適化、品質管理、寿命予測のための科学的根拠を提供します。これらの試験は、モリブデンロッドの性能を検証するだけでなく、特定のアプリケーションニーズを満たすための技術サポートも提供します。

5.1 モリブデンロッドの機械的性質の試験

機械的特性試験は、応力条件下でのモリブデンロッドの性能を評価するための主要な手段であり、引張試験、圧縮試験、曲げ試験、せん断試験をカバーしています。これらの試験により、モリブデンロッドの強度、靱性、変形能力が明らかになり、構造部品、電極材料、その他の分野でのアプリケーションに対するデータサポートが提供されます。テストは通常、標準化された条件下で実行され、高度なテスト機器とデータ分析技術を組み合わせて、正確で再現性のある結果を保証します。

5.1.1 モリブデンロッドの引張試験

引張試験は、モリブデンロッドの引張強度、降伏強度、延性を評価するための主要な方法であり、品質管理や性能検証に広く使用されています。引張試験では、破壊が発生するまで軸方向の引張力を加えることにより、力によるモリブデンロッドの変形挙動を測定します。万能試験機は通常、試験に使用され、高精度のひずみゲージとグリップが装備されて

著作権および法的責任に関する声明

おり、サンプルが均等に強制されていることを確認します。サンプルは通常、円筒形に処理され、表面は研磨されてマイクロクラックや表面欠陥の影響を排除します。テスト環境は、高温炉や航空宇宙部品などの実際の使用条件をシミュレートするために、室温または高温にすることができます。

引張プロセス中、テスターは、材料の弾性相、塑性変形相、および破壊挙動を反映する応力-ひずみ曲線を記録します。高純度のモリブデンロッドは室温で高い強度を示しますが、靱性は限られています。ドーピングされたモリブデンロッド(TZM など)は合金元素を添加することで強度と耐破壊性が大幅に向上します。高温では、モリブデンロッドの延性は大幅に増加しますが、強度は低下するため、酸化干渉を避けるために真空または不活性雰囲気中で試験する必要があります。破壊後、光学顕微鏡で破壊形態を観察し、延性破壊(ディンプルとして現れる)か脆性破壊(劈開面として現れる)かを判断し、材料の微視的な欠陥または処理状態を分析できます。

引張特性に影響を与える要因には、材料の組成、粒度、加工技術、試験環境などがあります。たとえば、細粒構造は強度を高めることができますが、粒子が大きすぎると脆性破壊につながる可能性があります。加工中に導入される残留応力も試験結果に影響を与える可能性があるため、アニーリングによって除去する必要があります。近年、技術の進歩により、引張試験の精度は大幅に向上しています。例えば、走査型電子顕微鏡と組み合わせたin-situ 引張試験では、亀裂の発生と伝播をリアルタイムで観察することができます。デジタル画像相関技術は、高解像度カメラでひずみ分布を記録することにより、より正確な変形解析を提供します。これらの技術を適用することで、引張試験は巨視的な特性を超えて、微視的なメカニズムを明らかにすることができます。

5.1.2 モリブデンロッドの圧縮試験

圧縮試験は、特に航空宇宙ノズルや高温炉サポートロッドなどの高温構造部品の設計において、加圧下でのモリブデンロッドの圧縮強度と塑性変形を評価するために使用されます。圧縮試験では、両端に圧力を加えることにより、サンプルの変形挙動と破壊限界を測定します。試験装置は通常、小さな変形を確実に記録する高精度変位センサーを備えた油圧試験機です。サンプルは円筒形に加工され、不均一な応力を避けるために端面が平らになり、摩擦効果を減らすために表面に潤滑剤(グラファイトなど)が塗布されます。圧縮試験中、サンプルは、材料の種類と試験条件に応じて、降伏または塑性変形、またはバレル変形する可能性があります。高純度モリブデンロッドは、常温では高い圧縮強度を持ちますが、高温では可塑性が増し、大きな変形を起こしやすくなります。ドーピングされたモリブデンロッド(Mo-La など)は、特に高温での圧縮能力を向上させるために、分散によって強化されます。試験が完了したら、圧縮セクションを顕微鏡で分析して、粒子の変形、亀裂分布、微細な欠陥を観察し、材料の圧縮性能を判断できます。

圧縮性能に影響を与える要因には、端面の摩擦、温度、荷重率などがあります。高摩擦はサンプルの不均一な変形につながり、試験結果に影響を与える可能性があるため、潤滑剤の選択と塗布の均一性が重要です。高温試験は、酸化干渉を防ぐために真空中で行われます。近年の技術の進歩としては、高温での試験が可能な高温圧縮治具の開発や、微量モリブデン棒の性能評価のための微小圧縮試験の応用などが挙げられます。さらに、有限要素

シミュレーションソフトウェアは、圧縮変形挙動の予測に広く使用されており、試験条件とサンプル設計の最適化に役立ちます。

5.1.3 曲げおよびせん断試験

曲げ試験とせん断試験は、複雑な応力条件下でのモリブデンロッドの曲げ強度とせん断強度を評価するもので、高温の炉サポートロッドや金型材料などの用途に適しています。曲げ試験では、通常、3点曲げ法または4点曲げ法を使用して、サンプルに垂直荷重を加えることにより、サンプルの曲げ抵抗とたわみを測定します。試験装置は特殊な曲げ試験機であり、サンプルは長方形または円形の断面に加工され、表面は研磨されて欠陥の影響を軽減します。試験中、力-変形曲線を記録し、亀裂の発生位置と破壊形態を観察して、材料の曲げ性能を評価しました。

せん断試験では、通常は特殊なせん断固定具を使用して、横荷重を加えることにより、モリブデンロッドのせん断強度を測定します。サンプルは断面である必要があり、カッターギャップは追加の応力を避けるために正確に制御されます。TZMなどのドーピングされたモリブデンロッドは、粒界の強化により、通常、高純度のモリブデンロッドよりも高いせん断抵抗を示します。試験結果は、サンプルの形状、表面状態、および負荷率の影響を受けるため、一貫性を確保するために試験条件を厳密に制御する必要があります。

曲げ性能とせん断性能に影響を与える要因には、スパン比、表面欠陥、試験温度などがあります。スパンが小さすぎると、せん断効果が発生し、曲げ強度が低下する可能性があります。高温は強度を大幅に低下させますが、靱性は向上させます。技術の進歩には、より均一で試験結果の信頼性が高い4点曲げ試験の広範な使用が含まれます。In-situX線イメージング技術により、亀裂の伝播をリアルタイムで監視し、より詳細な故障解析を行うことができます。また、自動試験システムの導入により、データ集録の効率化と試験精度の向上も実現しました。

5.2 モリブデンロッドの高温性能試験

高温性能試験は、クリープ、熱疲労、耐酸化性を含む極端な温度でのモリブデンロッドの性能を評価するための鍵であり、これは高温炉、航空宇宙、その他の分野でのアプリケーションの信頼性に直接関係しています。これらの試験は通常、酸化干渉を避けるために真空または不活性雰囲気で行われます。

5.2.1 モリブデンロッドのクリープ試験

クリープ試験は、高温環境での安定性を反映して、高温で一定の応力下でのモリブデンロッドの長期変形挙動を評価します。この試験では、高温真空炉を備えた特殊なクリープ試験機を使用して、試験環境に酸素干渉がないことを確認します。試料を円筒形に加工し、表面を研磨して応力集中を抑えます。試験中、サンプルは数百時間から数千時間一定の温度と応力に保たれ、時間の経過に伴う変形変化が記録され、クリープ曲線が生成され、これは一次クリープフェーズ、定常状態フェーズ、および加速クリープフェーズに分割されます。

高純度モリブデンロッドのクリープ率は高温で高くなりますが、ドーピングされたモリブデン

ロッド(TZM、Mo-La など)はクリープ率を大幅に低減し、合金元素を添加することで耐用年数を延ばします。試験終了後、クリープ破壊を顕微鏡で解析し、粒界すべりやボイド形成などの微視的な現象を観察することで、クリープのメカニズムを明らかにすることができます。クリープ特性に影響を与える要因には、温度、応力、微細構造などがあります。高温は原子の拡散を加速し、クリープの増加につながります。微粒子とドーブ元素は、粒界の滑りを効果的に抑制できます。

技術の進歩には、複雑な応力状態をシミュレートし、予測精度を向上させることができる多軸クリープ試験システムの開発が含まれます。高温デジタル画像関連技術は、赤外線カメラでひずみ場を記録し、より正確な変形データを提供します。さらに、加速クリープ試験法は、温度と応力を上昇させ、試験時間を短縮し、長期的な挙動を予測するための数学的モデルを組み込むことにより、試験効率を大幅に向上させます。

5.2.2 モリブデンロッドの熱疲労試験

熱疲労試験は、周期的な熱応力下でのモリブデンロッドの耐亀裂性を評価するもので、高温炉の発熱体や航空宇宙部品に適しています。この試験では、サンプルを急速に加熱および冷却することにより、実際の動作条件下での温度サイクルをシミュレートします。この装置には、誘導加熱と急激な温度上昇と急激な温度低下が可能な水冷システムを備えた熱疲労試験機が含まれています。サンプルの表面は、初期亀裂を減らすために研磨され、試験は酸化を避けるために真空または不活性雰囲気で行われます。

試験中、サンプルは数回の高温-低温サイクルを経て、亀裂の開始時間と伝播速度が記録されました。ドーブされたモリブデンロッドは、通常、優れた耐亀裂性と高温強度により、より長い熱疲労寿命を示します。試験終了後、亀裂トポグラフィーを顕微鏡または超音波試験で解析し、疲労フリンジと酸化損傷を特徴付けます。熱疲労性能に影響を与える要因には、温度差、表面状態、サイクル周波数などがあります。温度差が大きいと、熱応力が増加し、亀裂の伝播が加速します。研磨された表面は効果的に寿命を延ばすことができます。

技術の進歩には、赤外線カメラを介して温度分布をリアルタイムで記録し、試験条件を最適化する in-situ サーマルイメージング技術の適用が含まれます。MoSi₂(モシ)などの酸化防止コーティングを施すことで、熱疲労寿命が大幅に伸びます。さらに、数値シミュレーション技術は、熱応力場をシミュレートすることにより、亀裂の発生位置を予測し、試験の科学的性質を向上させます。

5.2.3 モリブデンロッドの耐酸化性試験

耐酸化性試験は、高温炉や航空宇宙用途に重要な高温酸化環境におけるモリブデンロッドの安定性を評価します。この試験では、高温酸化剤を使用して、サンプルを空气中または酸素雰囲気中に置いて、質量変化と酸化物の形成を測定します。サンプルの表面は一貫性を確保するために研磨されており、試験温度範囲はモリブデンロッドを使用できる条件をカバーしています。上皿天びんは、質量増加を記録し、酸化速度を反映するために使用されます。

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

高純度のモリブデンロッドは高温で揮発性酸化物(MoO_3)が発生しやすく、質量損失が生じますが、ドーパされたモリブデンロッド(Mo-La など)は保護酸化物層を形成することで耐酸化性を向上させます。試験終了後、酸化物層の形態と組成を顕微鏡とエネルギー分光法で分析し、その保護効果を評価します。耐酸化性に影響を与える要因には、温度、雰囲気、表面コーティングなどがあります。高温と酸素濃度が高いと酸化が加速し、 SiC などのコーティングは耐酸化温度を大幅に上昇させる可能性があります。

技術の進歩には、実際の動作条件下での周期的酸化条件をシミュレートする動的酸化試験が含まれます。ナノコーティング技術は、物理蒸着によって緻密な保護層を準備し、抗酸化寿命を大幅に延ばします。さらに、熱重量分析装置のリアルタイム品質モニタリングにより、試験精度が向上し、コーティング設計のデータサポートが提供されます。

5.3 モリブデンロッドの組織解析

微細構造解析では、高度な顕微鏡法と分光法を使用して、モリブデンロッドの粒径、相分布、欠陥特性を明らかにし、性能の最適化と故障解析の基礎を提供します。

5.3.1 走査型電子顕微鏡(SEM)分析

走査型電子顕微鏡(SEM)分析は、モリブデンロッドの表面形態、破壊特性、および結晶粒構造を観察するために使用され、これは微細構造分析のコアメソッドです。この試験では、二次電子検出器と反射電子検出器を備えた電界放出型 SEM を使用し、高分解能イメージングが可能です。サンプルを鏡面状態まで研磨するか、破壊解析のために亀裂を開いたままにしておく必要があります。試験に先立ち、サンプルを超音波洗浄し、金やカーボンなどの導電層を噴霧してイメージングを強化します。

SEM 分析により、粒径、粒界特性、多孔性、介在物、および破壊トポグラフィーを明らかにすることができます。高純度のモリブデンロッドは通常、より大きな結晶粒を示し、ドーパされたモリブデンロッドは、沈殿相(TiC 、 La_2O_3 など)によりより微細な結晶粒構造を示します。破壊解析では、延性破壊と脆性破壊を区別し、材料の最適化をガイドできます。分析結果に影響を与える要因には、サンプル調製の品質や処理プロセスなどがあります。研磨ムラはアーチファクトにつながることもあり、熱処理は粒子を微細化し、性能を向上させます。

技術の進歩には、低真空下での酸化物の動的形成の観察を可能にする環境 SEM の応用が含まれます。集束イオンビーム(FIB)と SEM を組み合わせることで、3次元構造の再構築が可能になり、より包括的な顕微鏡情報が得られます。人工知能技術の導入により、粒界や欠陥を自動的に特定することで、解析の効率化が図れました。

5.3.2 X 線回折(XRD)解析

X 線回折(XRD)分析は、モリブデン棒の結晶構造、相組成、残留応力を決定するために使用され、材料の微視的特性を評価するための重要な方法です。この試験では、X 線回折計を使用して $\text{Cu K}\alpha$ 放射でサンプルをスキャンし、回折スペクトルを生成します。回折信号が明確になるように、サンプルの表面を高い仕上げに研磨する必要があります。試験結果を標準カードと照合して、モリブデンの体心立方構造とドーピングフェーズ(TiC 、 ZrC

著作権および法的責任に関する声明

など)を決定しました。

XRD 解析により、モリブデンロッドの機械的特性に影響を与える加工プロセス中に導入される残留応力を明らかにすることができます。ドーピングされたモリブデンロッドの沈殿相は、粒界強度を高め、高温性能を向上させます。分析結果に影響を与える要因には、表面の酸化と処理応力が含まれます。酸化物層は回折ピークに干渉する可能性があるため、酸洗いによって除去する必要があります。冷間加工によってもたらされる応力は、ピーク位置を変化させ、アニーリングを必要とする可能性があります。

技術の進歩には、より高解像度の位相分析を提供するための放射光 XRD の適用が含まれます。In-situ XRD は、高温での相転移と応力変化のリアルタイムモニタリングを可能にします。さらに、2次元応力マッピング手法により、残留応力分布の解析の精度が向上します。

5.3.3 エネルギー分光法(EDS)

SEM と組み合わせた分光法(EDS)を使用して、モリブデンロッドの元素分布と不純物含有量を定量的に決定し、材料の純度とドーピングの均一性を評価しました。このテストでは、サンプルから放出される特性 X 線を検出し、要素を特定し、その含有量を計算します。サンプルは、表面に汚染がないことを確認して、研磨および洗浄されます。EDS 分析では、モリブデンロッド中の微量不純物(Fe、C、O など)とドーピング元素(Ti、La など)の分布を検出できます。

高純度モリブデンロッドの EDS 分析では、通常、単一のモリブデン元素が示され、ドーピングされたモリブデンロッドでは合金元素の均一な分布が示されています。試験結果は、サンプルの表面状態とプローブ深度の影響を受け、加速電圧とプローブ時間を最適化する必要があります。技術の進歩には、元素検出の感度を向上させる高分解能 EDS 検出器の応用が含まれます。電子線後方散乱回折(EBSD)と組み合わせることで、元素分布と結晶方位の両方を解析することができ、微細構造の最適化のためのさらなる情報を得ることができます。

5.4 モリブデンロッドの化学的性質試験

化学的性能試験は、ガラス産業の電極や高温炉部品で使用するための腐食性環境におけるモリブデンロッドの耐久性と化学的安定性を評価します。

5.4.1 モリブデン棒の耐食性試験

耐食性試験は、酸性、アルカリ、または熔融塩の環境でのモリブデンロッドの安定性を評価します。試験は通常、浸漬法または電気化学的方法によって行われ、サンプルを特定の腐食性媒体に入れ、質量損失または表面変化が観察されます。試験装置には、サーモスタットウォーターバスとポテンショスタットが含まれており、サンプル表面は一貫性を確保するために研磨されています。一般的な腐食性媒体には、硝酸、塩酸、水酸化ナトリウム溶液、高温熔融塩などがあります。

高純度モリブデンロッドは、室温では酸やアルカリに対して良好な耐食性を持っています

が、高温の溶融塩では局所的な腐食が発生する可能性があります。ドーブされたモリブデンロッド(Mo-W など)は、粒界安定性を向上させることにより、耐食性を大幅に向上させます。試験終了後、腐食トポグラフィーを顕微鏡で観察し、孔食や均一腐食の特性を分析します。耐食性に影響を与える要因には、媒体の濃度、温度、表面状態などがあります。高温は腐食を加速させる可能性があり、表面を研磨すると腐食の発生が減少します。

技術の進歩には、腐食速度をリアルタイムで監視するための電気化学インピーダンス分光法(EIS)の応用が含まれます。実際の作業条件をシミュレートする高温腐食試験装置の開発。クエン酸などの緑色の腐食性媒体を使用すると、環境への影響が軽減されます。

5.4.2 モリブデンロッドの化学的安定性評価

化学的安定性評価は、特定の化学環境におけるモリブデンロッドの反応性を、多くの場合、耐酸化性試験および耐食性試験と組み合わせて試験します。この試験では、サンプルを高温の気体、液体、または固体環境にさらして、その化学反応と特性の変化を観察します。試験装置には、高温炉と化学反応器があり、サンプルは制御された雰囲気下で試験されます。

モリブデンロッドは、不活性雰囲気または還元性雰囲気で優れた化学的安定性を示しますが、酸化性または腐食性の環境では反応性になりやすいです。ドーブされたモリブデンロッドは、保護酸化物または合金層を形成することにより安定性を向上させます。試験結果は、品質変動、表面分析、組成試験の組み合わせによって評価されます。化学的安定性に影響を与える要因には、周囲の雰囲気、温度、および材料の組成が含まれます。技術の進歩には、反応生成物のリアルタイムモニタリングのためのラマン分光法などの in-situ 化学分析技術の適用が含まれます。複合コーティングの開発により、化学的安定性が向上しました。

5.5 モリブデンロッドの故障解析

故障解析は、モリブデンロッドの破壊、疲労、摩耗挙動を研究することで故障メカニズムを明らかにし、材料の最適化と寿命予測の基礎を提供します。

5.5.1 モリブデンロッドの破壊メカニズムの解析

破壊メカニズム解析は、力下でのモリブデンロッドの破壊プロセスを研究し、破壊の種類と原因を特定します。破壊形態は SEM によって観察され、機械的試験データを組み合わせて、延性破壊、脆性破壊、疲労破壊のいずれであるかを判断しました。高純度モリブデンロッドは、室温で脆性破壊を示すことが多く、高温では延性破壊に変わります。ドーブされたモリブデンロッドは、粒界強化により脆性を低減します。解析には、亀裂の発生位置、伝播経路、および微視的欠陥の役割も含まれます。

フラクチャーに影響を与える要因には、粒径、不純物含有量、加工欠陥などがあります。より大きな粒子と微量の酸素は脆性骨折を引き起こす可能性があり、冷間加工によってもたらされる脱臼は骨折のリスクを高めます。技術の進歩には、亀裂伝播のリアルタイム観察のための in-situ SEM 分析が含まれます。亀裂成長速度を予測するための破壊力学モデルの適用。

5.5.2 モリブデンロッドの疲労と摩耗の解析

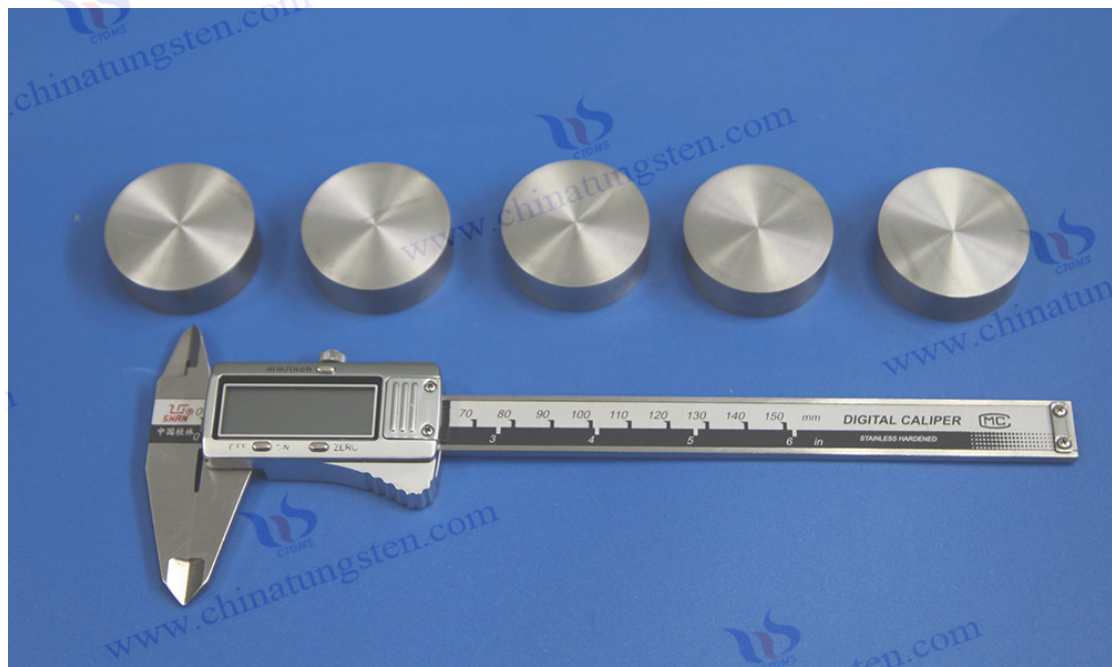
疲労・摩耗解析では、高温炉支持棒や金型材料について、繰返し荷重・摩擦条件下でのモリブデン棒の耐久性を評価します。疲労試験では、繰返し応力を加えることにより、亀裂の発生と伝播を記録します。摩耗試験では、トライボメータを使用して質量損失と表面トポグラフィーを測定します。ドーブされたモリブデンロッドは、硬度と強度が高いため、より優れた耐疲労性と耐摩耗性を示します。

疲労と摩耗に影響を与える要因には、表面状態、環境、負荷条件などがあります。研磨された表面は疲労寿命を大幅に延ばし、潤滑剤は摩耗を減らします。技術の進歩には、耐摩耗性を向上させるためのナノコーティング(SiC など)の適用が含まれます。摩耗プロセスをリアルタイムで監視するための In-situ 摩擦試験技術。

5.5.3 モリブデンロッドの寿命予測モデル

寿命予測モデルは、機械的、高温、および化学的試験データを統合することにより、特定の作業条件下でのモリブデンロッドの耐用年数を予測します。モデルは、クリープ、疲労、腐食のデータに基づいており、予測のためのアレニウスモデルなどの数学的手法と組み合わされています。試験データは、試験機と顕微鏡分析によって取得され、モデルは温度、応力、および環境の影響を考慮に入れました。

高純度モリブデンロッドの寿命は酸化とクリープによって制限され、ドーブされたモリブデンロッドは微細構造を強化することにより寿命を大幅に延ばします。技術の進歩には、モリブデンロッドの性能をリアルタイムでシミュレートするためのデジタルツイン技術の適用が含まれます。機械学習モデルは、ビッグ データ分析を使用して予測精度を向上させます。



CTIA GROUP LTD モリブデントングステン合金棒

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6章 モリブデンロッドの製造設備

モリブデンロッドの製造には、原材料の取り扱いから最終製品まで、複数の複雑なプロセスが含まれ、それぞれに製品の品質と性能を確保するための特殊な機器が必要です。この章では、モリブデンロッドの製造に使用される機器を詳細に検討し、原材料の取り扱い、粉末冶金、熱処理、表面処理、テスト、および自動化されたインテリジェントな生産機器をカバーしています。これらのデバイスは、航空宇宙、電子機器、ガラス産業、その他の分野での高性能モリブデンロッドの需要を満たす効率的で洗練された生産チェーンを形成します。機器の設計とプロセス制御を最適化することで、生産性、製品品質、一貫性を大幅に向上させながら、エネルギー消費と環境への影響を削減できます。

6.1 モリブデンロッドの原料ハンドリング装置

原材料の取扱いは、モリブデンロッドの製造の最初のステップであり、モリブデン鉱石またはモリブデン化合物を高純度のモリブデン粉末に変換し、その後の粉末冶金プロセスの基礎を築きます。原材料加工装置には、主に破碎および粉碎装置と精製装置が含まれ、原材料の粒度が均一で、高純度で、不純物含有量が少ないことを確認する必要があります。

6.1.1 破碎および粉碎装置

破碎および粉碎装置は、モリブデン鉱石(モリブデンなど)またはモリブデン化合物(酸化モリブデンなど)を微粒子に処理し、その後の精製および粉末調製に使用されます。破碎装置には、通常、大きな原材料を小さな粒子に破碎するためのジョークラッシャーとコーンクラッシャーが含まれます。ジョークラッシャーは、押出しとせん断により原料のサイズを数十センチメートルから数ミリメートルに縮小するため、高硬度のモリブデン酸塩の加工に適しています。コーンクラッシャーは粒子をさらに微細化し、二次破碎プロセスと微粉碎プロセスの両方に適したため、均一な粒子サイズを確保します。

粉碎装置には、主にボールミルとジェットミルがあり、粉碎された粒子をミクロンサイズの粉末に粉碎するために使用されます。ボールミルは、鋼球と原材料との間の衝突と摩擦により、粒子をより細かいサイズに粉碎し、大規模生産に適しています。ジェットミルは、高速気流を使用して原材料に影響を与え、高純度モリブデン粉末の調製に特に適した超微粉末を生成します。粉碎プロセスでは、酸化を防ぐために雰囲気(窒素など)を制御する必要があり、汚染を減らすために装置は耐摩耗性材料(アルミナや炭化タングステンなど)で裏打ちされています。

装置の性能に影響を与える要因には、原材料の硬度、飼料の粒度、粉碎時間などがあります。硬度の高い原材料は、機器に摩耗や損傷を引き起こす可能性があるため、ライニングは定期的に交換する必要があります。粉碎時間が長すぎると不純物が発生する可能性があるため、プロセスパラメータを最適化する必要があります。技術の進歩には、研削効率が大幅に向上した高効率振動ボールミルの適用が含まれます。インテリジェント制御システムは、粒子サイズをリアルタイムで監視することにより、粉碎パラメータを自動的に調整し、安定した粉末品質を確保します。

著作権および法的責任に関する声明

6.1.2 精製装置(焙煎炉、還元炉)

精製装置は、粉碎・粉碎したモリブデン化合物(酸化モリブデンなど)を高純度モリブデン粉末に変換するための装置で、主に焙煎炉や還元炉などで使用されています。焙煎機は、揮発性不純物を除去しながら、高温処理によりモリブデン中の硫化物を酸化モリブデンに変換します。ロースターは通常、回転炉または流動床炉として設計されており、大量の原材料を連続的に処理することができます。炉内の雰囲気は、通常は空気または酸素の環境で厳密に制御されており、硫化物の完全な酸化が保証されます。この装置には、硫黄酸化物を除去し、環境要件を満たすための排ガス処理システム(湿式スクラバーなど)が装備されています。

還元炉は、通常は水素雰囲気中で酸化モリブデンを金属モリブデン粉末に還元するために使用されます。管状還元炉は一般的な装置であり、多段加熱ゾーンを通じて酸化モリブデンを徐々に還元し、高純度のモリブデン粉末を生成します。炉本体は、石英やモリブデン合金などの高温耐性材料でできており、長期間の安定した運転を保証します。水素の流量と温度勾配は、粉末粒子や不純物残留物の凝集を避けるために、還元プロセス中に正確に制御する必要があります。また、未反応の水素を回収し、資源利用を向上させるための排ガス回収システムも搭載しています。

精製結果に影響を与える要因には、原材料の純度、雰囲気制御、機器の気密性などがあります。原材料中の微量不純物(鉄やケイ素など)は、モリブデン粉末の品質に影響を与える可能性があり、前処理によって除去する必要があります。大気中の酸素や水分は粉体酸化を引き起こす可能性があり、高純度の水素環境を維持する必要があります。技術の進歩には、モリブデン粉末の純度を大幅に向上させた真空還元炉の開発が含まれます。オンラインモニタリングシステムは、赤外分光法を通じて大気組成を分析し、還元プロセスを最適化します。

6.2 モリブデンロッド用の粉末冶金装置

粉末冶金はモリブデンロッド製造の中核プロセスであり、モリブデン粉末をプレスして成形し、それを高密度ブランクに焼結することにより、その後の加工の基礎を提供します。粉末冶金装置には、ピレットの密度、均一性、および機械的特性を確保する必要がある混合およびプレス装置および焼結炉が含まれます。

6.2.1 ミキシングおよびプレス装置

混合およびプレス装置は、モリブデン粉末をドーパされた元素(Ti、La など)と均一に混合し、それをロッドブランクにプレスするために使用されます。混合装置には、主にプラネタリーミルとVミキサーが含まれ、モリブデン粉末とドーパント(La_2O_3 、TiC など)を混合するために使用されます。遊星ミルは、高速回転と衝突により均一な混合を実現し、ドーパされたモリブデンロッドの調製に適しています。Vミキサーは、不純物の混入を避けるために低速で反転することにより、高純度のモリブデン粉末に適しています。混合プロセスでは、粉末の酸化を防ぐために大気(窒素など)を制御する必要があり、機器の内壁は汚染を減らすためにステンレス鋼またはセラミック材料で作られています。

プレス装置には、冷間静水圧プレスと油圧プレスがあり、混合粉末をブランクにプレスするために使用されます。冷間静水圧プレスは、水や油などの液体媒体を介して均一な圧力を加え、特に大型または複雑な形状のモリブデンバーブランク用の高密度ブランクを調製します。油圧プレスは小ロット生産に適した金型でプレスされ、金型設計ではブランクの幾何学的精度を考慮する必要があります。プレス加工では、ブランクの亀裂や密度の不均一性を避けるために、圧力分布を制御する必要があります。

混合とプレスの結果に影響を与える要因には、粉末の粒子サイズ、ドーピングの均一性、プレスプロセスなどがあります。粉体が細かすぎると流動性が悪くなり、プレスの品質に影響を与える可能性があります。ドーパントの分布が不均一になると、ピレットの性能が低下する可能性があります。技術の進歩には、ドーピングの均一性を向上させる液相ドーピング技術の適用が含まれます。自動プレスシステムは、センサーで圧力と密度を監視することにより、成形プロセスを最適化します。

6.2.2 焼結炉(真空炉、雰囲気炉)

焼結炉は、プレスされたブランクを高温に加熱し、粉末粒子が結合して高密度のモリブデンロッドブランクを形成するために使用されます。真空焼結炉が主な装置で、真空環境(低圧)による酸化を防ぎ、ブランクの高純度とコンパクトさを確保しています。炉本体はモリブデンまたはグラファイト発熱体を採用しており、高温に強く、熱均一性に優れています。焼結プロセスは段階的に行われ、最初に低温脱バインダーでバインダーを除去し、次に高温で焼結して粒子の結合を促進し、最後に理論値に近い密度のブランクを形成します。

雰囲気焼結炉は通常、水素または不活性ガス(アルゴンなど)を保護雰囲気として使用するため、モリブデンロッドによる焼結に適しています。水素は還元可能であり、微量酸化物を効果的に除去し、ブランクの品質を向上させることができます。炉には雰囲気循環システムが装備されており、ガスの均一な分布を確保し、局所的な酸化を回避します。また、焼結炉には、均一な温度勾配を維持し、ブランクの変形や亀裂を防ぐために、精密な温度制御システムを装備する必要があります。

焼結効果に影響を与える要因には、焼結雰囲気、温度制御、ピレット密度などがあります。大気中の微量の酸素は酸化につながる可能性があり、露点を厳密に制御する必要があります。初期ピレット密度が低すぎると、焼結時間が長くなります。技術の進歩には、加熱効率を向上させる中間周波誘導焼結炉の開発が含まれます。オンライン監視システムは、赤外線温度計を介してリアルタイムで温度を制御し、焼結品質を最適化します。

6.3 モリブデンロッド用熱処理装置

熱処理装置は、焼結ブランクを最終的なモリブデン棒形状に加工するために使用され、鍛造、圧延、および絞りプロセスを含み、材料の密度と機械的特性を改善します。

6.3.1 鍛造設備

鍛造装置は、焼結ブランクを高温で塑性変形させ、高密度で細粒のモリブデンロッドを作製する装置です。一般的に使用される機器には、油圧鍛造機やエアハンマーなどがあり、

高いトン数圧力を加えてブランクが完全に変形するようにすることができます。鍛造は高温で行われ、延性を向上させ、変形抵抗を減らすためにブランクを適切な温度に加熱するための誘導炉が必要です。鍛造プロセスでは、亀裂や内部応力を避けるために、変形速度と変形方向を制御する必要があります。

鍛造装置には通常、金型とワークピースを保護し、装置の寿命を延ばすための水冷システムが装備されています。金型材料は、高温高压に耐えるために、耐熱合金(タングステン合金など)で作られている必要があります。鍛造品質に影響を与える要因には、加熱温度、変形量、金型設計などがあります。温度が低すぎると亀裂が発生し、温度が高すぎると穀物が成長する可能性があります。技術の進歩には、正確な温度制御を通じて粒子の均一性を向上させるための等温鍛造技術の適用が含まれます。サーボ制御の鍛造機は、圧力をリアルタイムに調整することで加工精度を向上させます。

6.3.2 圧延機および製図機

圧延機と延伸機を使用して、鍛造ブランクを正確なサイズのモリブデンロッドにさらに加工します。圧延機は、熱間圧延機と冷間圧延機を含み、熱間圧延機は、大口径モリブデンロッドの製造に適した複数のパスを介してブランクを円形または正方形の棒に加工します。圧延工程では、ピレットを適切な温度に保ち、冷間加工での亀裂を防ぐために、加熱装置を装備する必要があります。冷間圧延機は仕上げに使用され、寸法精度と表面仕上げを向上させます。

延伸機は、小径または微小モリブデンロッドを製造するために使用され、ダイスを伸ばすことによって形状に引き伸ばされます。絞り加工は高温で行われ、摩擦や摩耗を減らすために MoS_2 などの潤滑剤が使用されます。絞りダイは通常、ダイヤモンドまたはタングステンカーバイド材料でできており、高精度と耐久性を保証します。圧延と絞りの結果に影響を与える要因には、温度、変形速度、金型の状態などがあります。不適切な温度制御は表面欠陥につながる可能性があり、金型の摩耗は寸法精度に影響を与える可能性があります。

技術の進歩には、生産効率を向上させた連続圧延生産ラインの開発が含まれます。レーザーキャリパーの適用により、バーサイズをリアルタイムで監視し、公差制御を確保できます。さらに、自動絞りシステムは、サーボモーターを介して絞り速度を制御することにより、加工の一貫性を最適化します。

6.4 モリブデンロッドの表面処理装置

表面処理装置は、モリブデンロッドの表面品質を改善し、耐食性と美観を向上させ、電子機器、航空宇宙、その他の分野の厳しい要件を満たすために使用されます。

6.4.1 研磨機

研磨機は、モリブデンロッドの表面を高仕上げに加工し、表面欠陥を減らし、性能を向上させるために使用されます。機械式研磨機は、砥石または研磨ペーストでバーを研磨し、表面の滑らかさを徐々に向上させます。この装置には、粗研削から微粉碎までの多段砥石が装備されており、さまざまな表面要件を持つモリブデンロッドに適しています。電解研

磨機は、電気化学反応によって表面欠陥を除去し、鏡面効果を得るため、高純度モリブデンロッドの加工に特に適しています。

研磨プロセスでは、新たな表面応力が発生しないように、回転速度と研磨剤の種類を制御する必要があります。研磨機には通常、ワークピースが過熱して酸化を引き起こすのを防ぐための冷却システムが装備されています。研磨結果に影響を与える要因には、研磨粒子サイズ、圧力、初期表面状態などがあります。技術の進歩には、一貫性を向上させるためにロボットを介して研磨経路を制御する自動研磨システムの開発が含まれます。ナノスケールの研磨剤を塗布すると、表面仕上げが大幅に向上します。

6.4.2 清掃機器

モリブデンロッドの表面に付着した酸化物や油分、研磨残渣などを除去し、表面を綺麗にするための洗浄装置です。超音波洗浄機は、高周波振動(数十キロヘルツ)を使用して洗浄液中に小さな気泡を発生させ、表面の汚染物質を除去する主要な機器です。洗浄液は通常、モリブデンロッドの腐食を防ぐための脱イオン水または中性洗浄剤です。酸洗プラントでは、希酸溶液(硝酸や硫酸など)を使用して酸化層を除去し、環境要件を満たすために廃液処理システムを装備する必要があります。

洗浄プロセス中は、過度の腐食や残留汚染物質を防ぐために、洗浄時間と液体温度を制御する必要があります。洗浄結果に影響を与える要因には、洗浄液の組成、表面の状態、および機器の気密性が含まれます。技術の進歩には、グリーンクリーニング技術の適用、汚染を減らすための環境に優しい洗浄剤の使用が含まれます。CIP システムは、液体の pH と汚染物質の濃度をリアルタイムで監視することにより、洗浄効率を最適化します。

6.5 モリブデン棒の試験装置

試験装置は、モリブデンロッドの品質を評価して、機械的特性、寸法精度、表面品質の要件を満たしていることを確認し、非破壊検査と寸法表面検査をカバーするために使用されます。

6.5.1 非破壊検査装置(超音波、X 線)

非破壊検査装置は、サンプルに損傷を与えることなく、モリブデンロッドの多孔性、介在物、亀裂などの内部および表面の欠陥を検出するために使用されます。超音波探傷器は、高周波超音波(数メガヘルツ)でバーを走査し、内部の欠陥を検出します。このデバイスには、トランスデューサと信号分析システムが装備されており、小さな欠陥を特定し、その深さを特定することができます。X 線検査装置は、X 線を使用してバーを透過して内部構造の画像を生成するため、特に大きなモリブデンロッドの内部多孔性や介在物の検査に適しています。

検査プロセスでは、欠陥検出の精度を確保するために、機器の感度を校正する必要があります。検査結果に影響を与える要因には、バーのサイズ、表面の状態、デバイスの解像度などがあります。技術の進歩には、フェーズドアレイ超音波技術の適用が含まれ、欠陥位置の精度が向上しました。高解像度 X 線 CT 装置は、3 次元の欠陥分布を再構成することができ、より詳細な分析が可能です。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

6.5.2 寸法および表面品質試験装置

寸法および表面品質検査装置は、モリブデンロッドの直径、長さ、表面粗さを測定し、標準要件への準拠を確保するために使用されます。レーザーキャリパーはレーザービームでバーをスキャンし、直径と真円度をリアルタイムで測定するため、インライン検査に適しています。表面粗さ計は、プローブで表面を走査して仕上がりや欠陥を評価するもので、ポリッシュ加工されたモリブデンロッドの検査に適しています。光学顕微鏡は、表面の微細なトポグラフィーを観察し、傷や腐食痕を特定するために使用されます。

検査プロセスでは、測定エラーを避けるために、機器が校正され、環境が安定していることを確認する必要があります。検査結果に影響を与える要因には、機器の精度、サンプルの表面状態、取り扱い技術などがあります。技術の進歩には、ロボットを介してプローブを制御して検査効率を向上させる自動検査システムの適用が含まれます。3次元プロファイラーの開発により、表面トポグラフィーの包括的な解析が可能になります。

6.6 モリブデンロッドの自動的かつインテリジェントな生産設備

自動化されたインテリジェントな生産設備は、統合された制御システムとデータ分析技術により、モリブデンロッド生産の効率、一貫性、トレーサビリティを向上させます。

6.6.1 生産ラインの自動制御

自動制御システムは、PLC(プログラマブルロジックコントローラー)または DCS(分散制御システム)を介して生産ラインの統合管理を実現し、原材料の取り扱い、粉末冶金、熱処理、表面処理をカバーします。温度、圧力、サイズなどのパラメータをセンサーでリアルタイムに監視し、機器の運転状況を自動調整します。例えば、焼結炉の温度制御システムは、ピレットの特性に応じて加熱プロファイルを調整し、焼結の品質を確保することができます。圧延機の自動制御システムは、サーボモーターによって圧延速度を調整し、バーの寸法精度を最適化します。

自動化された生産ラインの利点は、手作業による介入を減らし、生産の一貫性を向上させることです。自動化の有効性に影響を与える要因には、センサーの精度、制御アルゴリズム、デバイスの互換性などがあります。技術の進歩には、クラウドプラットフォームを介した機器の相互接続を実現するインダストリアルインターネットの応用が含まれます。柔軟な生産ラインの開発により、異なる仕様のモリブデンロッドの生産を迅速に切り替えることができます。

6.6.2 インテリジェントな監視とデータ分析

インテリジェントな監視およびデータ分析システムは、センサー、モノのインターネット、人工知能技術を使用して、生産データをリアルタイムで収集および分析し、プロセスと品質管理を最適化します。このモニタリングシステムには、温度、サイズ、組成をリアルタイムで検出するための赤外線温度計、レーザーキャリパー、インライン分光計が含まれています。データ分析では、機械学習アルゴリズムを使用して、生産における異常なパターンを特定し、機器の故障や品質の問題を予測します。例えば、焼結プロセス中の温度変動を AI モデルで解析し、プロセスパラメータを事前に調整することができます。

インテリジェントシステムの利点は、生産効率とトレーサビリティの向上、およびスクラップ率の低下です。システムの有効性に影響を与える要因には、データ取得の頻度、アルゴリズムの精度、ネットワークの安定性などがあります。技術の進歩には、仮想モデルを通じて生産プロセスをシミュレートし、機器の動作を最適化するためのデジタルツインテクノロジーの適用が含まれます。ブロックチェーン技術の導入により、生産データの信頼性とセキュリティが確保されます。



CTIA GROUP LTD モリブデンタングステン合金棒

第7章 モリブデンロッドの応用分野

モリブデンロッドは、その高い融点、優れた機械的特性、優れた導電性、耐食性を備えており、多くのハイテク分野で幅広い応用の可能性を示しています。この章では、高温炉や熱機器、電子・半導体産業、航空宇宙、ガラス・セラミックス産業、医学・科学研究、新興分野でのモリブデンロッドの応用について詳しく説明し、その機能特性、プロセス要件、技術進歩を分析します。モリブデンロッドの高性能は、過酷な環境の厳しい要件を満たす重要なコンポーネントに理想的な材料であり、技術の進歩に伴いアプリケーションの範囲は拡大し続け、産業や研究に革新的なソリューションを提供します。

7.1 高温炉および熱装置

モリブデンロッドは、高温炉や熱機器、特に高温・真空・不活性雰囲気求められる環境下で広く使用されており、高融点と優れた熱安定性が求められる材料です。モリブデンロッドは、主に発熱体や固定部品のサポートに使用され、高温処理や熱処理のニーズを満たすことができます。

著作権および法的責任に関する声明

7.1.1 発熱体としてのモリブデンロッド

モリブデンロッドは、高温炉の発熱体として中心的な役割を果たしており、真空炉、水素防護炉、不活性雰囲気炉で材料焼結、熱処理、結晶成長などのプロセスに広く使用されています。モリブデンロッドは融点が高く、電気伝導性が高いため、安定した熱出力を維持しながら極端な高温に耐えることができます。発熱体は通常、熱場分布を最適化するために、細長いロッドまたは特定の形状に機械加工されます。ドーピングされたモリブデンロッド (Mo-La など) は、その優れた耐クリープ性と耐酸化性により、長期間の高温運転を伴う炉環境でよく使用されます。

製造工程では、モリブデンロッドは精密に機械加工され、表面が滑らかになるように熱応力集中を減らし、真空または還元雰囲気で運転して高温酸化を防ぎます。発熱体の性能に影響を与える要因には、材料の純度、表面状態、および動作環境が含まれます。微量の不純物は電気伝導率を低下させる可能性があり、高温酸化は材料の揮発を引き起こす可能性があるため、コーティング (MoSi₂ など) または雰囲気制御によって対処する必要があります。

技術の進歩には、モリブデンロッドの表面に酸化防止コーティングを施すことにより耐用年数を延ばす複合発熱体の開発が含まれます。インテリジェントな温度制御システムの適用により、加熱電力がリアルタイムで調整され、エネルギー効率が最適化されます。さらに、Mo-La などの新しいドーピングモリブデンロッドは、結晶粒構造を微細化することで高温安定性を向上させ、より要求の厳しい熱アプリケーションを可能にします。

7.1.2 サポートと固定部品

モリブデンロッドは、高温炉でもサポートロッド、クランプ、ヒートスクリーンなどのサポートおよび固定コンポーネントとして使用され、ワークピースを保持したり、熱放射からシールドしたりします。これらのコンポーネントは、幾何学的安定性を維持しながら、高温と機械的負荷に耐える必要があります。TZM などのドーピングされたモリブデンロッドは、その高い強度と耐クリープ性により、高温で長期間にわたって構造的完全性を維持できる材料として選択されています。高純度モリブデンロッドは、熱伝導性に優れているため、急速な熱伝導が必要な支持構造に適しています。

サポート部品は、高温での変形や亀裂を防ぐために、寸法精度と表面品質を確保するために製造する必要があります。動作環境は通常、酸化を避けるために真空または不活性雰囲気です。性能に影響を与える要因には、材料の組成、加工技術、熱サイクルの頻度などがあります。ドーピングされた元素は耐クリープ性を大幅に向上させることができますが、熱サイクルは熱疲労を誘発する可能性があるため、設計を最適化する必要があります。

技術の進歩には、サポートコンポーネントの複雑な形状を確保するための CNC 機械加工などの精密機械加工技術の適用が含まれます。SiC コーティングなどの表面コーティング技術は、耐酸化性と耐摩耗性を向上させます。さらに、サポートコンポーネントのモジュラー設計により、迅速な分解と組み立てが可能になり、炉内のメンテナンスの効率が向上します。

著作権および法的責任に関する声明

7.2 電子および半導体産業

モリブデンロッドは、主に電極材料、スパッタリングターゲット、真空管部品に、高い導電性、低い熱膨張係数、高純度により、エレクトロニクスおよび半導体業界で広く使用されています。

7.2.1 電極材料

電極材料として、モリブデンロッドはプラズマエッチング装置や電気真空装置などの電子デバイスの製造に広く使用されています。高純度モリブデンロッドは、低抵抗率と優れた化学的安定性により、高電圧および高温環境でも安定して動作できます。電極は通常、細長いロッドまたはカスタム形状に機械加工され、アーク放電と汚染を減らすために表面を高い仕上げに研磨する必要があります。

製造工程では、モリブデンロッドは厳格な純度管理を受ける必要があります。安定した電気的特性を確保するために不純物含有量を最小限に抑える必要があります。動作環境は通常、酸化や表面汚染を防ぐために真空または不活性ガスです。電極の性能に影響を与える要因には、材料の純度、表面品質、動作温度などがあります。微量の酸素は電極の腐食を引き起こす可能性があるため、高純度の雰囲気中で保護する必要があります。

技術の進歩には、多段階の精製プロセスを通じて不純物をさらに削減するための超高純度モリブデンロッドの開発が含まれます。電解研磨技術の適用により、表面仕上げが改善され、アーク放電のリスクが軽減されます。さらに、電極設計の最適化により、電界分布をシミュレートすることにより、電極の均一性と寿命が向上します。

7.2.2 スパッタリングターゲット

モリブデンロッドは、集積回路、太陽電池、フラットパネルディスプレイ用の薄膜材料を製造するためのスパッタリングターゲットとして使用されています。高密度で均一な微細構造により、高純度モリブデンロッドは、スパッタリング中に安定した原子の流れを提供し、膜品質を確保することができます。ターゲットは通常、円形または長方形のロッドに機械加工され、表面は研磨されて鏡面状態になり、欠陥や粒子の汚染が減少します。

ターゲットの製造に使用されるモリブデンロッドは、粉末冶金と熱処理が行われ、内部に多孔性や介在物がないことを確認します。スパッタリング中、ターゲットは高真空中で操作され、酸化や不純物の侵入を防ぎます。目標性能に影響を与える要因には、材料の純度、粒度、表面状態などがあります。細かい粒子はスパッタリングの均一性を向上させ、研磨面は粒子の噴射を減らします。

技術の進歩には、大面積薄膜形成のニーズを満たすための大型ターゲットの開発が含まれます。高純度モリブデン粉末の調製技術により、ターゲットの品質が向上します。また、ターゲットリサイクル技術の進歩により、化学品の精製や再処理を通じて、生産コストや環境負荷の低減が図られています。

7.2.3 真空管とイオン源部品

モリブデンロッドは、真空管やイオン源の電極、支持体、エミッターとして使用され、電

著作権および法的責任に関する声明

顕微鏡や質量分析計などの機器に使用されています。高純度のモリブデンロッドは、電子逃げ作業が少なく、導電性が高いため、エミッター材料として適しています。ドーピングされたモリブデンロッドは、その高い温度安定性のために支持構造に使用されます。部品は、電子の散乱を減らすために、複雑な形状に機械加工し、表面を研磨する必要があります。

製造工程では、モリブデンロッドは精密に機械加工され、汚染物質がないことが確認されます。動作環境は超高真空中で、電極の酸化や放電を防ぎます。性能に影響を与える要因には、表面仕上げ、材料の純度、動作電圧などがあります。表面の欠陥はアーク放電を引き起こす可能性があるため、電解研磨によって除去する必要があります。

技術の進歩には、マイクロエレクトロニクスデバイスのニーズを満たすためのマイクロモリブデンロッドの加工技術が含まれます。表面のナノコーティングにより、耐アーク性が向上します。また、自動組立技術により、ロボット操作による部品の製造精度と一貫性が向上しています。

7.3 航空宇宙

モリブデンロッドは、高強度、高融点、低密度により航空宇宙産業で好まれており、主に高温構造部品や推進システム部品に使用されています。

7.3.1 高温構造部品

モリブデンロッドは、ジェットエンジンのタービンブレード、ヒートスクリーン、コネクタなどの高温構造部品として航空宇宙で使用されています。TZMなどのドーピングされたモリブデンロッドは、その優れた高温強度と耐クリープ性により、極端な高温でも構造安定性を維持することができます。構造部品は鍛造され、精密に機械加工され、寸法精度と高い機械的特性を確保します。

製造工程では、高温酸化を防ぐために、モリブデンロッドを真空または不活性雰囲気中で処理して使用する必要があります。性能に影響を与える要因には、材料の組成、加工技術、および動作環境が含まれます。ドーピングされた元素は耐クリープ性を大幅に向上させますが、高温酸化はコーティング保護によって対処する必要があります。

技術の進歩には、構造部品の粒子均一性を向上させる等温鍛造技術の適用が含まれます。酸化防止コーティング (MoSi_2 (モ Si_2) など) は、部品の寿命を延ばします。さらに、複合材料とモリブデンロッドの組み合わせにより、レイヤードデザインにより全体的な性能が向上しています。

7.3.2 推進システムコンポーネント

モリブデンロッドは、高温ガスと機械的負荷にさらされるノズル、燃焼室ライニング、および推力室部品を製造するための推進システムで使用されます。TZM および Mo-La モリブデンロッドは、融点が高く、耐熱衝撃性があるため理想的です。コンポーネントは熱加工され、精密に機械加工されているため、複雑な形状と高精度が保証されます。

製造工程では、モリブデンロッドを高温で処理し、耐酸化コーティングを施して寿命を延

ばします。性能に影響を与える要因には、熱サイクル、ガス腐食、機械的ストレスなどがあります。技術の進歩には、モリブデン合金部品の 3D プリンティングを通じて設計の自由度を高めるための積層造形技術の適用が含まれます。高温コーティング技術の開発により、耐食性が向上しました。

7.4 ガラスおよび陶磁器の企業

モリブデンロッドは、高温耐食性と化学的安定性により、ガラスおよびセラミック業界で広く使用されており、主にガラス溶融電極およびセラミック焼結支持体に使用されています。

7.4.1 ガラス溶融電極

モリブデンロッドは、ガラス溶解炉のガラス溶解電極として使用され、高温の溶融ガラス中で安定して運転することができます。高純度のモリブデンロッドは、電気伝導性や耐食性に優れているため、電極材料として適しています。電極を特定の形状に機械加工し、表面を洗浄して酸化物を除去し、溶融ガラスの汚染を防ぐ必要があります。

製造工程では、モリブデンロッドは酸化や揮発を避けるために還元雰囲気で操作する必要があります。性能に影響を与える要因には、ガラスの組成、動作温度、電極の表面状態などがあります。アルカリガラスは電極の腐食を引き起こす可能性があるため、材料の選択を最適化する必要があります。技術の進歩には、耐食性を向上させる Mo-La 電極の開発が含まれます。電極自動実装システムにより、生産性が向上します。

7.4.2 セラミック焼結サポート

モリブデンロッドは、セラミック焼結炉の支持ロッドまたは固定具として使用され、高温でのセラミック体の焼結プロセスをサポートします。ドーピングされたモリブデンロッドは、その高い強度と耐クリープ性により、高温で安定しています。サポートは、セラミックへの接着を減らすために、複雑な形状に機械加工し、表面を研磨する必要があります。

製造工程では、酸化を防ぐためにモリブデンロッドを真空または水素雰囲気で操作する必要があります。性能に影響を与える要因には、焼結温度、雰囲気、およびサポート設計が含まれます。技術の進歩には、モリブデンロッドとセラミックの反応を減少させるセラミックコーティングの適用が含まれます。モジュラーサポート設計により、炉内のローディング効率が向上します。

7.5 医学および科学研究

モリブデンロッドは、その高純度と優れた性能により、医療および科学研究用途に使用され、主に X 線管ターゲットや高温実験装置に使用されています。

7.5.1 X 線管ターゲット

モリブデンロッドは、融点が高く、熱膨張係数が低いいため、電子衝撃による高温に耐えることができるため、X 線管のターゲットまたは支持構造として使用されます。高純度のモリブデンロッドをターゲットに精密に加工し、表面を鏡面に研磨することで飛散を抑えています。イメージングの品質を確保するために、製造プロセス中に不純物を厳密に管理す

る必要があります。

動作環境では、ターゲットは急速な熱サイクルにさらされ、熱疲労破壊を防ぎます。性能に影響を与える要因には、表面品質、熱伝導率、動作電力などがあります。技術の進歩には、熱疲労寿命を改善したモリブデンベースの複合ターゲットの開発が含まれます。レーザー加工技術により、ターゲットの幾何学的精度が向上します。

7.5.2 実験室用高温実験装置

モリブデンロッドは、材料試験や結晶成長のための高温実験装置の発熱体、支持ロッド、または電極として使用されます。高純度モリブデンロッドは、その化学的安定性により高精度の実験に適しています。ドーピングされたモリブデンロッドは、高い強度が必要なシナリオで使用されます。部品は精密に機械加工され、汚染がないように洗浄されています。

動作環境は通常、酸化を防ぐために真空または不活性雰囲気です。性能に影響を与える要因には、温度制御、コンポーネント設計、および材料の純度が含まれます。技術の進歩には、小型実験装置のニーズを満たすための小型モリブデンロッドの開発が含まれます。インテリジェントな温度制御システムの適用により、実験の精度が向上しました。

7.6 新しいアプリケーション

新興分野でのモリブデンロッドの応用は、特に 3D プリンティングや原子力産業で拡大しており、大きな可能性を示しています。

7.6.1 3D プリンティングとアディティブマニュファクチャリング

モリブデンロッドは、高性能部品のラピッドプロトタイピングのための 3D プリンティングやアディティブマニュファクチャリングの原材料または支持構造として使用されます。モリブデン粉末をレーザーまたは電子ビームで溶融および堆積させて、航空宇宙および医療用途に適した複雑な形状のモリブデン合金部品を製造します。モリブデンロッドは、高温印刷環境に耐えるサポート材料としても使用できます。

製造工程では、酸化や欠陥を防ぐために、粉末の品質と印刷雰囲気を制御する必要があります。パフォーマンスに影響を与える要因には、印刷パラメータ、粉末の粒子サイズ、および後処理プロセスが含まれます。技術の進歩には、印刷の品質を向上させる高純度モリブデン粉末の調製が含まれます。マルチマテリアル印刷技術の応用により、モリブデンと他の金属の複合成形が実現します。

7.6.2 原子力産業への応用

モリブデンロッドは、融点が高く耐放射線性が高いため、原子炉の高温部品や放射線遮蔽材料として原子力産業で使用されています。Mo-W モリブデンロッドは、優れた耐食性と高温強度により、原子炉環境に適しています。部品は精密に機械加工され、コーティングされているため、長期間安定した動作が保証されます。

動作環境は高温で強い放射線を伴い、材料特性を厳密に制御する必要があります。性能に影響を与える要因には、放射線損傷、温度、材料組成などがあります。技術の進歩には、

[著作権および法的責任に関する声明](#)

部品の寿命を改善した耐放射線性モリブデン合金の開発が含まれます。アディティブ・マニファクチャリング技術の適用により、複雑な部品の製造が最適化されます。



CTIA GROUP LTD モリブデンロッド

第8章 モリブデンロッドの国内外の規格と仕様

高性能の高融点金属材料として、モリブデンロッドの製造、試験、および適用は、品質の一貫性、性能の信頼性、および使用の安全性を確保するために、厳格な基準と仕様に従う必要があります。この章では、モリブデンロッドの国際規格、国内規格、認証およびコンプライアンス要件、および国内外の規格の比較と適用シナリオ分析について詳しく説明します。これらの規格は、航空宇宙、電子機器、ガラス産業、その他の分野でのモリブデンロッドの応用に技術サポートを提供すると同時に、世界貿易と技術交流の標準化を促進します。これらの規格を理解して実装することで、製造業者は顧客のニーズに合わせてプロセスを最適化し、国内外の市場での製品の競争力を確保することができます。

8.1 モリブデンロッドの国際規格

国際規格は、モリブデンロッドの製造、試験、および適用のための統一された技術的フレームワークを提供し、グローバルサプライチェーンと国境を越えた協力で広く使用されています。主に米国材料試験協会(ASTM)と国際標準化機構(ISO)によって開発された国際規格は、モリブデンロッドの化学組成、機械的特性、寸法公差、および試験方法をカバーしており、世界市場の品質ベンチマークを提供しています。

8.1.1 ASTM 規格(ASTM B387 など)

ASTM 規格は、モリブデンロッドの製造と試験に関する世界的な権威ある仕様であり、北米、ヨーロッパ、アジアのハイテク産業で広く使用されています。その中で、ASTM B387-18 は、モリブデンおよびモリブデン合金ロッド、バー、ワイヤーのコア規格であり、高純

著作権および法的責任に関する声明

度モリブデンロッドおよびドーピングモリブデンロッド(TZM や Mo-La など)の技術要件を詳細に指定しています。この規格では、高純度モリブデンロッドのモリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ であり、不純物($\text{Fe} < 0.01\%$ 、 $\text{C} < 0.005\%$ 、 $\text{O} < 0.003\%$ など)を厳密に制御して、高温および腐食性環境での性能安定性を確保する必要があります。機械的特性に関しては、規格では、高純度モリブデンロッドの引張強度を室温で 600~800 MPa、TZM ロッドの引張強度を

900~1100 MPa とし、ASTM E8 / E8M(引張試験)に従って $20 \pm 5^\circ\text{C}$ で試験を実施する必要があります。表面品質は、ブラックロッド($\text{Ra} < 3.2\mu\text{m}$)、研磨ロッド($\text{Ra} < 0.8\mu\text{m}$)、クリーニングロッドに分かれており、航空宇宙、電子機器、その他の分野のさまざまなニーズに対応します。寸法公差には、精密な加工と組み立てを確保するために、 $\pm 0.05\text{mm}$ の直径偏差と $\pm 1\text{mm}$ の長さ偏差が必要です。

ASTM 規格には、ASTM E9-19(圧縮試験)、ASTM E139-11(クリープ試験)、ASTM G54-14(耐酸化性試験)などのコンパニオン仕様も含まれており、モリブデンロッドの性能を評価するための体系的なガイダンスを提供します。製造業者は、化学分析(ICP-MS、検出精度 0.001% など)、微細構造観察(粒径 10~50 μm)、非破壊検査(超音波、5MHz など)を通じて製品の適合性を確認する必要があります。ASTM 規格の強みは、その包括性と国際的な適用性であり、高温炉、半導体、および航空宇宙産業に適用できます。規格の実施に影響を与える要因には、試験装置の精度(例:万能試験機の負荷分解能 0.01 kN)、サンプル調製の仕様(例:表面研磨 $\text{Ra} < 0.8\mu\text{m}$)、および環境制御(例:真空 $< 10^{-3}\text{Pa}$)が含まれます。技術の進歩には、ASTM 規格の定期的な更新、Mo-W 合金とミニチュアモリブデンロッド(直径 1mm<)の新しい仕様、SEM リアルタイム亀裂解析などの in-situ 試験技術のサポートが含まれます。

8.1.2 ISO 規格

ISO 規格は、モリブデンロッドの国際取引と適用に関する共通の仕様を提供し、材料のトレーサビリティとグローバルな一貫性に焦点を当てています。ISO はまだモリブデンロッドの特定の規格を開発していませんが、その関連規格はモリブデンロッドの性能試験で広く使用されています。たとえば、ISO 6892-1:2019 は金属の引張試験方法を指定しており、モリブデンロッドの引張強度と伸びを評価するのに適した 0.5~5 mm / min の試験速度が必要です。ISO 6506-1:2014 は、ブリネル硬さ試験を規制し、モリブデンロッド(HB 200-300)の硬さ評価に適用できます。ISO 規格では、不純物レベル($\text{O} < 0.005\%$ など)が要件を満たしていることを確認し、標準化された試験手順を通じて結果の国際比較可能性を確保するために、製造業者は化学組成分析レポートを提出する必要があります。

ISO 規格の実施は、サードパーティの認証機関(SGS、TÜV など)によって検証され、化学分析、機械的試験、表面品質試験が含まれます。この規格は、酸化や汚染を防ぐために、真空または不活性雰囲気(露点 $< -40^\circ\text{C}$)などの生産中の環境制御を強調しています。ISO 規格の実施に影響を与える要因には、試験所の資格(ISO/IEC 17025 認証など)、試験方法の標準化、国際調和などがあります。技術の進歩には、ASTM および GB / T との ISO 規格の相互承認が含まれ、国境を越えた認証プロセスが簡素化されます。デジタル認証プラッ

著作権および法的責任に関する声明

トフォームは、オンラインデータ提出と監査を通じて効率を向上させます。さらに、ISO規格には、排出ガスの削減($\text{SO}_2 < 10\text{ppm}$)などの環境要件が徐々に組み込まれており、メーカーがプロセスを最適化するための指針となっています。

8.2 モリブデン棒の国内規格

世界最大のモリブデン製品の生産国である中国は、モリブデンロッドの製造、試験、適用をカバーする一連の国内規格を開発しました。これらの規格には、国内市場のニーズが満たされ、国際協力がサポートされていることを確認するための国内規格(GB / T)と業界規格が含まれます。

8.2.1 GB/T 標準(GB/T 3462 など)

GB/T の標準は中国のモリブデン棒の生産そして適用のための中心の指定であり、GB/T 3462-2017 は高純度のモリブデン棒およびドーピングされたモリブデン棒のための技術的な条件を規定するモリブデン棒およびモリブデン棒のための主要な標準です。この規格では、モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$ であり、高温性能を確保するために、不純物は $\text{Fe} < 0.01\%$ 、 $\text{C} < 0.005\%$ 、および $\text{O} < 0.003\%$ に制御されることが要求されています。機械的特性は、引張強度(高純度モリブデンロッドで $600 \sim 800 \text{ MPa}$ 、TZM ロッドで $900 \sim 1100 \text{ MPa}$)、降伏強度、伸び(高純度モリブデンロッドで $10 \sim 20\%$)がテストされ、GB / T 228.1-2021 に従って

室温または高温($800 \sim 1200^\circ\text{C}$)で実施する必要があります。表面状態は黒棒($\text{Ra} < 3.2\mu\text{m}$)、研磨棒($\text{Ra} < 0.8\mu\text{m}$)、クリーニングロッドに分かれており、寸法公差には直径偏差 $\pm 0.05\text{mm}$ 、長さ偏差 $\pm 1\text{mm}$ が必要で、精密加工に適しています。

GB / T 規格には、GB / T 2039-2012(クリープ試験、 $1200 \sim 1800^\circ\text{C}$)、GB / T 13303-1991(酸化試験、 $600 \sim 1200^\circ\text{C}$)、GB / T 7314-2017(圧縮試験)などのサポート仕様も含まれており、性能評価のガイダンスを提供します。製造業者は、化学分析(ICP-MS、 0.001% の精度)、非破壊検査(超音波、 5MHz)、および微細構造観察(粒径 $10 \sim 50\mu\text{m}$)を通じてコンプライアンスを検証する必要があります。GB / T 規格の利点は、中国の産業システムに適応し、ASTM 規格との互換性が高く、輸出が容易であることです。規格の実施に影響を与える要因には、機器の精度(0.01 kN の油圧試験機の負荷分解能など)、試験環境制御(真空レベル $< 10^{-3}\text{Pa}$ など)、およびエンタープライズ品質管理のレベルが含まれます。技術的な進歩には、GB / T 規格の改訂、Mo-La およびミニチュアモリブデンロッド(直径 1 mm)の仕様の追加が含まれます。 0.01mm の精度を持つレーザーキャリパーなどの自動検査システムは、実行の効率を向上させます。

8.2.2 業界標準とエンタープライズ標準

業界標準は、中国非鉄金属工業協会または技術委員会によって策定され、特定のアプリケーションシナリオについて詳細な要件が提示されています。たとえば、YS / T 495-2005(非

著作権および法的責任に関する声明

鉄金属の業界標準)は、ガラス溶解炉のモリブデンロッドの耐食性を規定しており、高温溶融塩では $<0.2 \text{ mg /cm}^2 \cdot \text{h}$ の酸化速度が必要です。半導体業界標準では、 $Ra < 0.4 \mu\text{m}$ の表面粗さが要求される場合があります。これらの規格はGB/T規格を補完し、ガラス産業、航空宇宙、その他の分野の技術的な詳細をカバーしています。

企業基準は大手生産者によって設定され、多くの場合、国の基準よりも厳しいです。たとえば、企業規格では、ハイエンドの顧客のニーズを満たすために、モリブデン含有量が $\geq 99.97\% \pm$ 、寸法公差が 0.02 mm であることが必要になる場合があります。この企業規格には、原材料のスクリーニング(不純物 $<0.005\%$)、焼結プロセスの最適化(密度 $>$ 理論密度 99%)、表面処理仕様($Ra < 0.4 \mu\text{m}$)などの内部品質管理プロセスも含まれています。規格の実装に影響を与える要因には、市場の需要、技術能力、および顧客の要件が含まれます。技術の進歩には、企業標準と国際標準とのドッキング、輸出認証の簡素化が含まれます。デジタル品質管理システムは、リアルタイムのデータ収集(周波数 1kHz)を通じて、標準実装の効率を向上させます。

8.3 モリブデンロッドの認証とコンプライアンス

認証とコンプライアンスは、モリブデンロッドの品質と安全性を確保するための重要な部分であり、製品が国内外の基準や法律や規制を満たしていることを確認するための材料認証プロセスと環境および安全コンプライアンス要件が含まれます。

8.3.1 材料認証プロセス

材料認定プロセスは、モリブデンロッドが規格の要件を満たしていることを確認するために使用され、航空宇宙、電子機器、およびその他の分野での信頼性を確保します。認証は、第三者機関(SGS、TÜV など)または国家認証研究所(中国国家非鉄金属品質監督検査センターなど)によって実施され、化学組成、機械的特性、表面品質、寸法精度の試験を対象としています。このプロセスには以下が含まれます:製造業者はサンプルと生産記録(原材料バッチ、プロセスパラメータ、品質管理データを含む)を提出します。化学分析(例:ICP-MS、Fe、C、Oの検出、精度 0.001%)、機械的試験(例:引張、速度 $0.5 \sim 5 \text{ mm/min}$)、非破壊検査(例:超音波、 5 MHz)、寸法測定(レーザーキャリパー、精度 0.01 mm)。最後に、ASTM B387、GB/T 3462、または顧客規格に準拠していることを証明するために、認証レポートが発行されます。

サンプルの代表性とテストの再現性を確保するためには、認証が必要です。結果に影響を与える要因には、サンプル調製の品質(研磨された $Ra < 0.8 \mu\text{m}$ など)、デバイスの精度、および機関の適格性が含まれます。技術の進歩には、オンライン認証システムの開発、テストデータのリアルタイムアップロード、認証サイクルの短縮が含まれます。ブロックチェーン技術の適用により、データのトレーサビリティと改ざん防止が保証されます。

8.3.2 環境および安全コンプライアンス

環境および安全コンプライアンスでは、モリブデンロッドの製造が環境規制および安全基準を満たし、環境および人体への影響を低減することが求められます。環境コンプライア

著作権および法的責任に関する声明

ンスには、生産プロセスにおける廃ガス、廃水、および固形廃棄物の処理が含まれます。例えば、焙煎工程での SO_2 排出量($<10\text{ppm}$)の抑制や、排出前に排水の中和($\text{pH}6-9$)を行う必要があるのは、環境保護法や GB 25466-2010(非鉄金属工業汚染物質排出基準)に則った対応です。安全コンプライアンスのためには、生産設備に保護装置(高温炉の防爆システムなど)とオペレーター向けの安全トレーニングを装備する必要があります。

コンプライアンスに影響を与える要因には、生産プロセス、廃棄物処理技術、規制の強化などがあります。技術の進歩には、排気ガスを削減するための湿式浄化などのグリーン生産技術の適用が含まれます。インテリジェントな監視システムは、センサー(周波数 1kHz)を使用して、排出量と安全パラメータをリアルタイムで監視します。さらに、ISO 14001 環境管理システムの実装は、企業がコンプライアンスプロセスを最適化するのに役立ちます。

8.4 モリブデンロッドの標準比較と応用シナリオ分析

国内外の規格の比較分析は、製造業者がさまざまなアプリケーションシナリオのニーズを満たす適切な規格を選択するのに役立ちます。ASTM B387 と GB/T 3462 は、化学組成(モリブデン含有量 $\geq 99.95\%$)、機械的特性(引張強度 $600-1100\text{MPa}$)、寸法公差($\pm 0.05\text{mm}$)の点で非常に一貫性がありますが、ASTM B387 は国際的な用途に重点を置いており、より多くのドーピングされたモリブデンロッド(Mo-W など)をカバーしていますが、GB/T 3462 は中国の産業システムにより適しており、費用対効果を重視しています。ISO 6892-1 などの ISO 規格は、試験方法の標準化に重点を置いており、国境を越えた認証に適していますが、モリブデンロッドの特定の仕様がありません。

適用可能なシナリオは、次のように分析されます。

航空宇宙: ASTM B387 は、その厳しい高温性能要件(クリープ率 $<10^{-5}/\text{h}$ 、 1500°C)と寸法精度($\pm 0.02\text{mm}$)により、高温構造および推進システムコンポーネントにより適しています。エレクトロニクス&半導体: ASTM B387 および GB/T 3462 はどちらも適用可能で、引張試験の検証には高純度($\geq 99.97\%$)と表面仕上げ($\text{Ra} < 0.4\mu\text{m}$)、ISO 6892-1 が必要です。

ガラス産業: GB / T 3462 は、その防食要件(酸化速度 $<0.2\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$)による電極の溶解に適しており、コストが低いため、より一般的です。

新興分野(e.g. 3D 印刷): ASTM B387 はより適しており、新しいモリブデン合金とマイクロバー(直径 $1\text{mm} <$)をサポートします。

規格の選択に影響を与える要因には、アプリケーション環境、顧客の要件、およびコストが含まれます。技術の進歩には、認証の重複を減らすための標準の相互承認メカニズムの確立が含まれます。デジタル標準データベースの開発により、迅速なクエリと比較が容易になります。



CTIA GROUP LTD ブラックモリブデンロッド

第9章 モリブデンロッドの加工、使用及び保守

モリブデンロッドは、その高い融点、優れた機械的特性、化学的安定性により、航空宇宙、電子機器、ガラス産業、その他の要求の厳しい分野で広く使用されています。その処理、使用、および保守には複雑な技術とプロセスが含まれ、その性能と寿命に直接影響します。この章では、モリブデンロッドの加工技術、環境要件、設置および固定方法、メンテナンスおよび洗浄手順、および安全な操作仕様について詳しく説明します。科学的な処理技術、合理的な使用環境設計、標準化された設置と保守、および厳格な安全操作により、モリブデンロッドの性能を最大化し、耐用年数を延ばし、操作の安全性を確保できます。これらのコンテンツは、メーカーとユーザーがさまざまな要求の厳しい環境でモリブデンロッドを確実に使用するための包括的な技術ガイダンスを提供します。

9.1 モリブデンロッドの加工技術

モリブデンロッドの加工技術は、切断、機械加工、溶接、接合などのプロセスを含む特定のアプリケーションのニーズを満たすための鍵です。これらの工程は高精度な装置で行われ、加工条件は厳しく管理されているため、材料の損傷や性能の低下を防ぎます。

9.1.1 切断(ワイヤー切断、レーザー切断)

切断は、モリブデンロッドの加工における最初のプロセスであり、ロッドを所望の長さまたは形状に加工するために使用されます。ワイヤー放電加工は、高周波の電気スパークを使用してモリブデンロッドの表面に局所的な高温溶融材料を生成し、銅やモリブデンワイヤーなどの金属ワイヤーを正確に切断する一般的に使用される切断方法です。ワイヤー放電加工機は、複雑な形状や小径のモリブデンロッドを高精度(公差 0.01mm)±平滑面

著作権および法的責任に関する声明

($Ra < 1.6\mu m$)で加工するのに適しています。脱イオン水は、高温酸化を避けるために処理プロセス中に冷却媒体として使用され、切断経路を制御するための高精度 CNC システムを装備する必要があります。

レーザー切断は、YAG レーザーや CO_2 レーザーなどの高エネルギーレーザービームを利用してモリブデン棒の表面を溶融または気化させる別の高効率な方法であり、大きなモリブデン棒や厚肉のモリブデン棒の迅速な切断に適しています。レーザー切断には非接触で高速であるという利点がありますが、切断領域に熱影響部(HAZ)が発生する可能性があり、その後の研磨でこれを解消する必要があります。切断プロセスは、酸化を防ぐために窒素やアルゴンなどの不活性ガスの保護下で行われます。

カットの品質に影響を与える要因には、カット速度、ワークピースの表面状態、冷却条件などがあります。切削速度が速すぎると、亀裂や表面の粗さにつながる可能性があるため、精度を向上させるためには表面の酸化膜を事前に除去する必要があります。技術の進歩には、熱影響部を減らすための超高速レーザー切断技術の適用が含まれます。自動切断システムは、切断経路をリアルタイムで監視することにより、処理の一貫性を向上させます。

9.1.2 機械加工(旋削、フライス加工、穴あけ)

機械加工は、旋削、フライス加工、穴あけなどの複雑な形状とサイズの要件を満たすために、モリブデンロッドをさらに仕上げるために使用されます。旋削加工では、CNC 旋盤を使用してモリブデンロッドを正確な直径または特定の形状に加工し、WC-Co などの超硬工具を使用してモリブデンの高硬度に対処します。加工は、切削温度を下げ、工具の摩耗やワークピースの表面損傷を避けるために、クーラント(水性エマルジョンなど)を使用して、低速および高送りで実行する必要があります。旋削後の表面粗さは $Ra < 0.8\mu m$ に達する可能性があるため、電子機器や航空宇宙用途に適しています。

フライス加工は、CNC フライス盤とダイヤモンドコーティングツールを使用して、モリブデンロッドの平面、溝、または複雑な輪郭を加工し、高精度と表面品質を確保するために使用されます。微小亀裂を避けるために、フライス加工中の振動を制御する必要があります。穴あけは、モリブデンロッドの貫通穴または止まり穴を処理するために使用され、電極またはコネクタの製造によく使用され、高速度鋼または超硬ドリルの使用が必要であり、穴の位置の精度を確保するための高精度の固定具を使用します。

加工品質に影響を与える要因には、工具の材質、切削条件、ワークピースの保持方法などがあります。モリブデンの脆性は低い切削速度を必要とし、加工精度を維持するために工具の摩耗を定期的にチェックする必要があります。技術の進歩には、複雑な形状を処理する能力を向上させるための 5 軸 CNC 工作機械などの超精密機械加工技術の適用が含まれます。不活性ガス冷却による環境汚染低減のためのドライカッティング技術の開発

9.1.3 溶接および接合技術

溶接および接合技術は、モリブデンロッドを他のコンポーネントまたは高温炉や電子機器で一般的に見られるモリブデンロッドに接続するために使用されます。電子ビーム溶接(EBW)は、高エネルギーの電子ビームを使用して真空環境でモリブデンロッドを溶かし、

高強度の溶接を形成する主要な方法です。真空環境($<10^{-3}$ Pa)により酸化を防ぎ、溶接シームの品質が高いため、航空宇宙部品に適しています。タングステン不活性ガス溶接(TIG)は、非真空環境に適したアルゴンまたはヘリウム保護を使用して、モリブデンロッド溶接にも一般的に使用されますが、溶接温度は粒子の成長を避けるために制御する必要があります。

接合技術には、機械的な接続(ねじ接続、リベット留めなど)とろう付けも含まれます。機械的な接続には、モリブデンロッドの表面にねじ山や穴が必要であり、接続の強度を確保するために高精度の機械加工が必要です。ろう付けは、真空または水素雰囲気で行われる高温ろう付けフィラー金属(Ni ベースまたは Ag ベース合金など)を使用し、モリブデンロッドと異種材料(セラミックスなど)の接合に適しています。溶接部とジョイントの品質に影響を与える要因には、雰囲気制御、溶接温度、ジョイント設計などがあります。微量の酸素は溶接部の酸化を引き起こす可能性があり、大気露点($<-40^{\circ}\text{C}$)を厳密に制御する必要があります。

技術の進歩には、入熱を正確に制御し、熱影響部を減らすためのレーザー溶接技術の適用が含まれます。溶接部の品質をリアルタイムで監視するための超音波試験技術の導入。また、新しいろう付け金属の開発により、モリブデンロッドとセラミックスとの接続強度が向上し、高温の複雑なコンポーネントのニーズを満たすことができました。

9.2 モリブデンロッドの使用に関する環境要件

モリブデンロッドが使用される環境は、その性能と寿命に大きな影響を与えるため、高温または腐食性環境での安定性を確保するためには、アプリケーションシナリオに応じて適切な雰囲気と保護対策を選択する必要があります。

9.2.1 真空および不活性雰囲気

モリブデンロッドは高温で酸化しやすいため、表面の酸化や性能低下を防ぐために、主に真空または不活性雰囲気(アルゴン、窒素、水素など)で使用されます。真空環境($<10^{-3}$ Pa)は、高温炉や真空管、半導体装置などに広く使用されており、発熱体や電極としてのモリブデン棒に適しています。真空システムには、低圧を維持し、微量の酸素による酸化を防ぐために、高効率のポンプセット(ターボ分子ポンプなど)を装備する必要があります。不活性雰囲気は高純度ガス($\geq$ 純度 99.999%)を使用し、ガス循環システムにより均一な雰囲気を維持し、局所的な酸化を防ぎます。

使用の有効性に影響を与える要因には、雰囲気(純度、気密性、温度制御)などがあります。微量の水分(露点 $>-40^{\circ}\text{C}$)は、モリブデンロッドの表面の酸化を引き起こす可能性があるため、乾燥システムを使用して除去する必要があります。技術の進歩には、極限環境でのモリブデンロッドの安定性を向上させるための超高真空システム($<10^{-6}$ Pa)の開発が含まれます。オンライン大気モニタリング技術は、スペクトラムアナライザーを使用して酸素と水分のレベルをリアルタイムで検出し、環境制御を最適化します。

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

9.2.2 高温酸化環境保護

空気や酸素雰囲気などの高温酸化環境では、モリブデンロッドは揮発性酸化物(MoO_3)が発生しやすく、質量損失を引き起こします。そのため、酸化防止コーティング(MoSi_2 、 SiC など)を塗布するか、保護雰囲気を使用する必要があります。 MoSi_2 (モスィー)コーティングは、化学気相成長法(CVD)またはプラズマ溶射によって塗布され、 $1200\sim 1600^\circ\text{C}$ での酸化を効果的に防ぐ緻密な保護層を形成します。コーティングは、保護とコストのバランスをとるために、数十から数百ミクロンの厚さで、均一で亀裂がない必要があります。

また、酸素曝露を減らすために、不活性ガスフラッシングと組み合わせた気密性の高い炉体の設計も保護対策として採用されています。保護の有効性に影響を与える要因には、コーティングの品質、動作温度、周囲雰囲気などがあります。コーティングの欠陥は局所的な酸化を引き起こす可能性があり、品質を検証するために超音波試験が必要です。技術の進歩には、コーティングのコンパクトさと接着性を向上させるナノコーティング技術の適用が含まれます。動的酸化試験装置は、酸化速度をリアルタイムで監視することにより、保護ソリューションを最適化します。

9.3 モリブデンロッドの取り付けと固定

モリブデンロッドの取り付けと固定は、その性能と寿命に直接影響し、特に高温で複雑なストレス環境では、科学技術と設計を通じて安定性を確保する必要があります。

9.3.1 インストールプロセスとフィクスチャの設計

モリブデンロッドは、高温炉や電極用途で一般的に見られる高温環境での幾何学的安定性と均一な力を確保するために設置する必要があります。設置プロセスには、クランプ、吊り下げ、ネスティングが含まれます。クランプでは、高温クランプ(モリブデン合金やセラミックなど)を使用して、ボルトやスプリングに均一な圧力を加え、局所的な応力集中を回避します。サスペンションは、発熱体に適したバーを吊り下げるためにモリブデンワイヤーまたはモリブデンフックによって固定され、サスペンションポイントの強度を確保する必要があります。ネストされた固定モリブデンロッドは、バーのサイズに合わせてノッチを正確に機械加工する必要があるガラス熔融電極に適した耐火スロットに埋め込まれています。

治具の設計では高温強度と耐食性が考慮され、治具の製造には TZM 合金やアルミナセラミックスなどの材料がよく使用されます。モリブデンロッドとの摩擦損傷を減らすために、治具の表面を研磨($Ra < 1.6\mu\text{m}$)する必要があります。設置効果に影響を与える要因には、固定具の材質、固定力、設置精度などがあります。固定力が大きすぎるとモリブデンロッドが変形する可能性があるため、機械シミュレーションを通じて設計を最適化する必要があります。技術の進歩には、ロボットを介して備品の位置を正確に制御する自動設置装置の開発が含まれます。モジュール式の治具設計により、設置の効率と柔軟性が向上します。

9.3.2 熱膨張マッチング設計

モリブデンロッドは熱膨張係数が約 $5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と低く、高温で他の材料(セラミックスやスチールなど)と熱応力が発生する可能性があるため、熱膨張マッチングを考慮した設計が必

要です。この設計には、同様の熱膨張係数を持つ接合材料(Mo-La 合金やアルミナセラミックスなど)の選択、またはフレキシブル接続(スプリングクランプなど)による熱膨張差の吸収が含まれます。膨張クリアランス(通常は 0.1〜0.5 mm)は、高温での押し出し変形を避けるために、設置用に予約する必要があります。

熱膨張のマッチングに影響を与える要因には、材料の選択、温度勾配、接続スタイルなどがあります。過度の温度勾配は応力集中を引き起こす可能性があり、熱場シミュレーションによって設計を最適化する必要があります。技術の進歩には、熱応力分布を予測するための有限要素解析(FEA)技術の適用が含まれます。熱膨張と強度要件のバランスをとるための複合治具の開発。

9.4 モリブデンロッドのメンテナンスとクリーニング

モリブデンロッドのメンテナンスとクリーニングは、耐用年数を延ばし、性能を維持するための鍵であり、過酷な環境での信頼性を確保するための表面クリーニングと定期的な検査が含まれます。

9.4.1 表面の洗浄方法

表面洗浄は、モリブデンロッドの表面から酸化物、油、汚染物質を除去し、それらの特性を回復するために使用されます。超音波洗浄は、高周波振動(20〜40 kHz)を使用して脱イオン水または中性洗浄液に気泡を発生させて表面の汚染物質を除去する一般的な方法です。洗浄液の温度は、モリブデンロッドの腐食を防ぐために 40〜60°C に制御されています。酸洗は、希酸溶液(10%硝酸または 5%塩酸など)を使用して酸化物層を除去し、ヒュームフード内で行われ、環境要件に準拠するための廃液処理システムを備えています。

機械研磨は、サンドペーパーや研磨ペースト(粒度 1〜5 μ m)で頑固な酸化物を除去し、スポットクリーニングに適しています。洗浄後は、二次汚染を防ぐために高純度の窒素で乾燥させる必要があります。洗浄の有効性に影響を与える要因には、洗浄液の組成、時間、表面の状態などがあります。酸洗時間が長すぎると表面の腐食につながる可能性があるため、正確に制御する必要があります。技術の進歩には、グリーンクリーニング技術の適用、汚染を減らすための環境に優しい洗浄剤(クエン酸など)の使用が含まれます。自動洗浄装置は、センサーを使用して洗浄液の pH(6〜8)を監視し、洗浄効率を向上させます。

9.4.2 定期点検と保守

定期的な点検とメンテナンスは、モリブデンロッドの性能と状態を監視し、故障を防ぐために使用されます。検査には、表面品質観察(光学顕微鏡、50〜100 倍の倍率)、寸法測定(レーザーキャリパー、精度 0.01mm)、および亀裂や内部欠陥を検出するための非破壊検査(超音波、5MHz など)が含まれます。メンテナンスには、表面(Ra<0.8 μ m)の再研磨、酸

化防止コーティングの交換、機械的損傷の修復が含まれます。

メンテナンス頻度は使用環境に応じて決定され、高温酸化環境は毎月検査する必要があります。真空環境は四半期ごとにチェックできます。メンテナンスの有効性に影響を与える要因には、点検の頻度、機器の精度、および動作仕様が含まれます。技術の進歩には、赤外線カメラを介して表面温度と酸化状態をリアルタイムで検出するオンライン監視システムの開発が含まれます。インテリジェントなメンテナンスプラットフォームは、データ分析を通じてメンテナンスサイクルを予測し、ダウンタイムを削減します。

9.5 モリブデンロッドの安全操作仕様

モリブデンロッドの安全な操作方法により、特に高温および化学薬品の取り扱い環境での加工および使用中の個人の安全と機器の保護が保証されます。

9.5.1 高温運転の注意事項

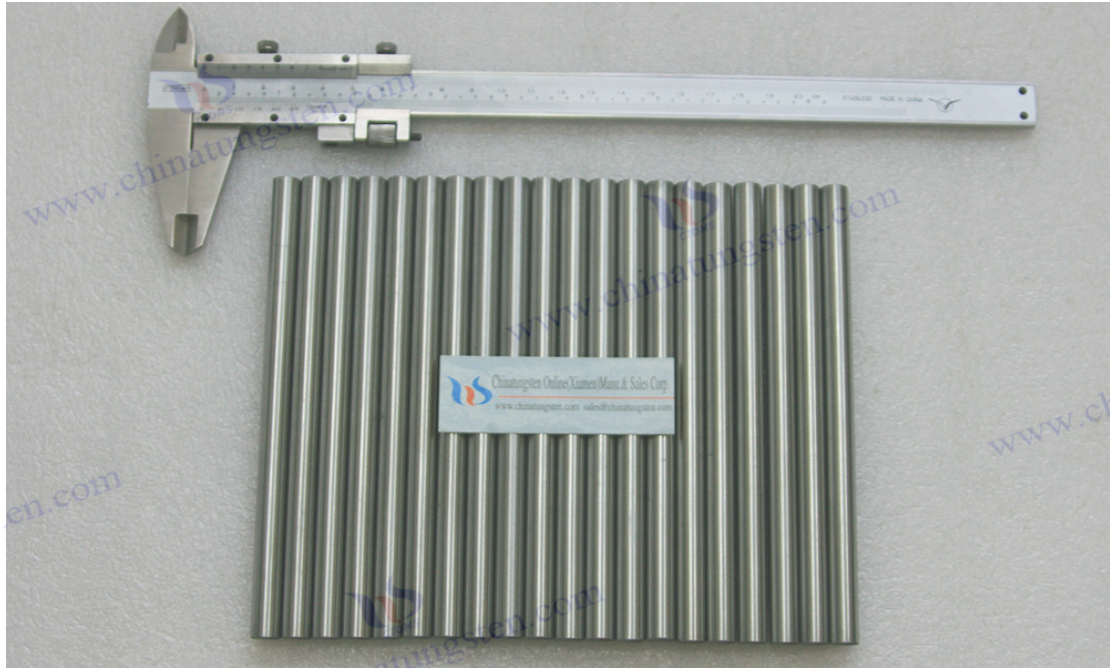
モリブデンロッドは、高温運転(高温炉、溶接など)中の厳しい安全規制の対象となります。オペレーターは、熱放射や飛沫から保護するために、防護服、手袋、マスクを着用する必要があります。高温炉には、過熱(>1800°C)による事故を防ぐために、自動電源オフシステムを装備する必要があります。モリブデンロッドの取り付けと分解は、破壊につながる熱応力を避けるために、室温まで冷却した後に実行する必要があります。

高温運転の安全性に影響を与える要因には、機器の気密性、温度制御、オペレーターのトレーニングなどがあります。密閉性が悪いと、酸素漏れによる酸化につながる可能性があります。真空度(<10°C.Pa)は定期的にチェックする必要があります。技術の進歩には、炉内の温度をリアルタイムで監視するためのインテリジェントな温度制御システムの適用が含まれます(精度±1°C)。遠隔操作技術は、ロボットを通じて高温の作業を完了することにより、人員のリスクを軽減します。

9.5.2 化学物質の取り扱い安全仕様

化学処理(酸洗、コーティング調製など)は、化学的損傷を防ぐために厳しい安全規制の対象となります。運転は、酸性ガスを吸着するための排ガス処理装置(活性炭吸着など)を備えたドラフト内で行われます。オペレーターは、皮膚への接触や有害ガスの吸入を防ぐために、耐酸性手袋、ゴーグル、マスクを着用する必要があります。酸洗液は、指定された濃度(例:10%硝酸)の特別な容器に保管し、漏れがないか定期的にチェックする必要があります。

化学処理の安全性に影響を与える要因には、化学薬品の保管、廃棄物処理、およびベストプラクティスが含まれます。廃液は、GB 25466-2010 規格に従って、排出前に中和(pH 6〜9)する必要があります。技術の進歩には、人との接触を減らすための自動化学処理装置の開発が含まれます。リアルタイム監視システムは、センサーを使用してガス濃度(<1ppm)を検出し、安全性を高めます。



CTIA GROUP LTD モリブデンロッド

第 10 章 モリブデンロッドのリサイクルと持続可能な開発

高価値の高融点金属材料として、モリブデンロッドの製造と使用は資源と環境に重要な影響を与えます。持続可能な開発が世界的に重視される中、モリブデンロッドのリサイクルとグリーン生産は、業界の発展の重要な方向性となっています。この章では、モリブデンロッドのリサイクルプロセス、環境への影響とグリーン生産の改善、循環型経済と持続可能性戦略について詳しく説明します。効率的なリサイクル技術、環境保護プロセスの最適化、循環型経済モデルの実施により、資源消費と環境汚染を大幅に削減し、モリブデンロッド産業の持続可能な発展を促進することができます。これらは、世界的な環境規制とグリーン材料に対する市場の需要に対応しながら、生産者に技術的なガイダンスを提供します。

10.1 モリブデンロッドのリサイクルプロセス

モリブデンロッドのリサイクルプロセスは、廃棄物から高純度のモリブデンを抽出して生産に再利用し、バージン鉱物への依存を減らすように設計されています。リサイクルプロセスには、廃棄物の収集と分別、およびモリブデンの品質を維持しながら効率的なリサイクルを確保するためのリサイクルと精製技術が含まれます。

10.1.1 廃棄物の収集と分別

スクラップの収集と選別は、モリブデンロッドのリサイクルの最初のステップであり、スクラップのモリブデンロッド、加工チップ、使用済み部品を製造と使用から回収します。スクラップの発生源には、モリブデンロッドの製造によるスクラップ(切断や旋削加工による切りくずなど)、使用済みの故障したモリブデンロッド(高温炉発熱体、ガラス溶融電極など)、およびスクラップされたモリブデンベースのコンポーネント(航空宇宙構造部品など)が含まれます。収集プロセスには、工場、ユーザー、リサイクルステーションから

著作権および法的責任に関する声明

廃棄物を効率的に収集するための堅牢なリサイクルシステムが必要です。

分別は、廃棄物の形態、組成、汚染の程度に応じて行われます。固体モリブデン棒(使用済み電極など)は、目視検査と化学分析により、高純度モリブデンとドーブされたモリブデン(TZM、Mo-La など)を区別します。粉末スクラップ(チップなど)は、金属不純物(鉄粉など)を除去するために、スクリーニングされ、磁氣的に分離されます。高度に汚染された廃棄物(表面が酸化した部品や油で汚染された部品など)は、酸化物や有機物を除去するために事前に洗浄する必要があります。選別装置には、振動スクリーン、磁気分離器、光学選別システムなどがあり、廃棄物を種類と純度でグループ化します。

廃棄物の収集と分別の有効性に影響を与える要因には、リサイクルシステムの適用範囲、廃棄物汚染の程度、分別の精度などがあります。汚染度の高い廃棄物は、その後の精製コストを増加させる可能性があり、前処理プロセスを最適化する必要があります。技術の進歩には、マシンビジョンと人工知能を通じて廃棄物の種類を特定するための自動分別技術の適用が含まれ、分別効率が向上します。ブロックチェーン技術の導入により、廃棄物源のトレーサビリティが確保され、サプライチェーン管理が最適化されます。

10.1.2 リサイクルおよび浄化技術

リサイクルおよび精製技術は、選別された廃モリブデンロッドを高純度モリブデン粉末または再利用可能なモリブデンロッドに変換するために使用されます。これには、化学精製と冶金処理が含まれます。化学的精製は、主に湿式製錬プロセスを通じて行われ、廃棄物を酸性またはアルカリ性の溶液(アンモニアや硝酸など)に溶解してモリブデンまたは酸化モリブデンを抽出します。溶液をろ過し、沈殿させて不純物(鉄、銅など)を除去します。その後、結晶化または焙煎により高純度の酸化モリブデンが生成され、水素雰囲気下でモリブデン粉末(純度 $\geq 99.95\%$)に還元されます。装置には反応器、フィルター、管状還元炉が含まれており、酸化を避けるために雰囲気(露点 $< -40^{\circ}\text{C}$)を厳密に制御する必要があります。

冶金処理は、固体モリブデンロッドに適用され、真空溶解または電子ビーム溶解によって揮発性不純物(炭素、酸素など)を除去し、高純度のモリブデンインゴットを生成します。真空溶解炉は、溶解プロセスが無公害であることを保証するために、高真空レベル($< 10^{-3}\text{Pa}$)を維持する必要があります。精製されたモリブデンインゴットは、粉末冶金または熱処理によってモリブデンロッドに作り直すことができます。精製結果に影響を与える要因には、スクラップの初期純度、精製プロセスパラメータ、および機器の気密性が含まれます。汚染度の高い廃棄物は、エネルギー消費を増やすために複数の段階の精製が必要になる場合があります。

技術の進歩には、廃液汚染を減らすために強酸の代わりに環境に優しい溶剤(クエン酸)を使用するなど、グリーン精製技術の開発が含まれます。イオン交換技術の適用により、不純物除去の効率が向上します。さらに、自動精製システムは、溶液の組成と雰囲気のパラメータをリアルタイムで監視することにより、精製効率とモリブデン回収を最適化します。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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 モリブデンロッドとグリーン生産の環境への影響

モリブデンロッドの製造プロセスには、高いエネルギー消費と潜在的な環境汚染が伴い、グリーン生産技術の適用により、環境への影響を大幅に削減し、持続可能な開発目標を達成することができます。

10.2.1 生産プロセスにおけるエネルギー消費と排出量

モリブデンロッドの製造には、原材料の精製、粉末冶金、熱処理、表面処理が含まれ、それぞれが多くのエネルギーを消費し、排出物を生成します。原材料の精製(焙煎や還元など)は高温(600~1000°C)で行われるため、多くの電力を消費し、焙煎プロセス中に硫黄酸化物(SO₂など)を放出する可能性があります。粉末冶金の焼結プロセスでは、真空炉または水素炉を使用しますが、エネルギー消費を増やすために高温(1500~1800°C)と高純度雰囲気を維持する必要があります。熱間加工(鍛造、圧延など)は、加熱を繰り返す必要があり、多くの電力を消費します。表面処理(酸洗など)では、酸性の廃液や排気ガスが発生し、環境規制(GB 25466-2010 など)に準拠するために適切に処理する必要があります。

排出物には、主に排気ガス(SO₂、NO_x など)、廃水(酸や重金属を含む)、固形廃棄物(スラグなど)が含まれます。廃ガスは湿式スクラビングまたは活性炭吸着によって処理する必要があり、廃水は排出前に中和(pH 6~9)する必要があり、固形廃棄物は分別してリサイクルするか、安全に埋め立てる必要があります。環境への影響に影響を与える要因には、生産規模、設備効率、廃棄物処理能力などがあります。技術の進歩には、センサーを介して電力消費と排出データをリアルタイムで記録するエネルギー消費監視システムの適用が含まれます。廃熱回収技術の開発は、高温炉の廃熱を利用して原材料を予熱し、エネルギー消費を削減します。

10.2.2 環境保護プロセスの改善

環境プロセスの改善は、モリブデン棒の製造におけるエネルギー消費と排出量を削減し、資源利用を改善することを目的としています。改善点には、焙煎プロセスの最適化、従来の回転炉から流動床ロースターへの置き換え、熱効率の向上、循環ガス流による SO₂ 排出量の削減などがあります。この削減プロセスでは、バイオマス由来の水素などのグリーン還元剤を使用して、従来の化石燃料を置き換え、二酸化炭素排出量を削減します。焼結プロセスは、温度(±1°C)を正確に制御し、加熱時間を短縮し、エネルギー消費を削減するために、中間周波誘導加熱炉を採用しています。

廃棄物処理に関しては、廃水リサイクルシステムは、イオン交換と逆浸透技術によって酸と水を回収し、排出量を削減します。排ガス処理は、SCR 技術などの高効率触媒を用いて、NO_x を無害なガスに変換します。固形廃棄物は、埋め立て地のモリブデンの量を減らすために、高温製錬によってリサイクルされます。改善の効果に影響を与える要因には、設備投資、プロセスの安定性、技術の成熟度などがあります。技術の進歩には、AI を通じてプロセスパラメータを最適化し、エネルギー消費を削減するためのインテリジェント

著作権および法的責任に関する声明

制御システムの適用が含まれます。ISO 14001などのグリーン認証システムの実装は、企業が環境に優しい生産を達成するためのガイドです。

10.3 モリブデンロッドのサーキュラーエコノミーと持続可能な開発戦略

循環型経済と持続可能な開発戦略は、モリブデンロッド産業のグリーン開発を促進し、資源リサイクルと産業相乗効果を通じて一次資源への依存を減らします。

サーキュラーエコノミーモデルは、生産からリサイクルまでのモリブデンロッドの全ライフサイクル管理に重点を置いています。廃モリブデンロッドはリサイクルされ、精製され、生産チェーンに再投入されて新しいモリブデンロッドまたはモリブデンベースの製品が作られ、モリブデンの採掘が削減されます。循環モデルには、廃棄物リサイクルネットワークの確立、ユーザーやリサイクルステーションと協力して廃棄物の効率的な収集を確保することが含まれます。精製プロセスを最適化して回収率を向上させます(目標>95%)。リサイクルモリブデンをスパッタリングターゲットや3Dプリント用粉末などの高付加価値製品に加工する再生技術の開発

サステナビリティ戦略には、資源保護、環境への配慮、社会的責任が含まれます。省資源: 等温鍛造などの効率的な生産プロセスによる原材料廃棄物の削減。環境にやさしい: グリーンテクノロジーと廃棄物のリサイクルを通じて排出量を削減します。社会的責任には、従業員の環境意識の向上やコミュニティの持続可能性プロジェクトの支援が含まれます。サーキュラーエコノミーの実施に影響を与える要因には、リサイクルシステムの完全性、技術のコスト、市場の需要などがあります。技術の進歩には、仮想モデルを通じてリサイクルと生産プロセスを最適化するためのデジタルツイン技術の適用が含まれます。ブロックチェーン技術は、リサイクルチェーンの透明性を確保します。さらに、中国のサーキュラーエコノミー推進法などの政策支援は、モリブデンロッド業界が持続可能な開発を促進するためのインセンティブを提供します。



CTIA GROUP LTD モリブデンロッド

著作権および法的責任に関する声明

第 11 章 モリブデンロッドの最新技術と今後の動向

高性能の高融点金属材料として、モリブデン棒は、航空宇宙、電子機器、新エネルギーなどの分野で絶えず拡大しており、その技術研究開発と産業のアップグレードは、より効率的でグリーンでインテリジェントな方向で業界の発展を促進しています。この章では、モリブデン基合金の研究開発の進捗状況、ナノ構造モリブデンロッドの開発、インテリジェントな製造および試験技術、新エネルギー分野におけるモリブデンロッドの可能性、および将来の研究の方向性と課題について詳しく説明します。モリブデンロッド技術の最新のフロンティアを反映したこれらのコンテンツは、メーカー、研究者、ユーザーに技術的な洞察を提供し、業界が持続可能性と技術革新の課題に対処しながらグローバル競争の一步先を行くのに役立つように設計されています。

11.1 モリブデン基合金の研究開発の進捗

モリブデン基合金は、モリブデンロッドの組成と微細構造を最適化することにより、モリブデンロッドの高温性能、耐クリープ性、耐食性を大幅に向上させ、航空宇宙産業や原子力産業などの要求の厳しいアプリケーションのニーズを満たすことができます。研究開発は、TZM および Mo-La 合金の最適化、および新しいドーピング技術に焦点を当てています。

11.1.1 TZM および Mo-La 合金の最適化

TZM(チタンジルコニウムモリブデン)合金は、少量のチタン、ジルコニウム、炭素を添加することにより、モリブデンの強度、耐クリープ性、高温安定性を大幅に向上させ、高温炉、航空宇宙構造部品などの分野で広く使用されています。最新の研究開発では、ドーピング元素比と熱処理プロセスの正確な制御を通じて、TZM 合金の特性をさらに最適化しています。例えば、等温鍛造や制御冷却技術を駆使して、粒径を微細化し、耐熱疲労性を高めています。熱処理プロセスでは、雰囲気と温度勾配が正確に制御され、粒界の酸化を減らし、高温での合金の長期安定性を向上させます。

Mo-La(モリブデン-ランタン)合金は、クリープ性と耐酸化性を向上させるために酸化ランタン(La_2O_3)をドーピングしているため、ガラス熔融電極や高温発熱体に特に適しています。研究開発の進展には、酸化ランタン粒子の分布とサイズの最適化、液相ドーピングと高温焼結技術によりモリブデンマトリックスに酸化物粒子を均一に分散させること、界面接着強度を高めることが含まれます。また、 MoSi_2 (酸化)環境での耐久性を向上させるために、化学気相成長法(CVD)による MoSi_2 コーティングの適用など、Mo-La 合金の酸化防止コーティング技術も向上しています。

TZM および Mo-La 合金の最適化に影響を与える要因には、ドーピングの均一性、熱処理プロセス、および製造コストが含まれます。ドーピングムラは性能の不安定さにつながるため、高精度の攪拌装置で対応する必要があります。技術の進歩には、シンクロトロン放射線技術の適用とドーピングされた元素の分布のリアルタイム分析が含まれます。新しい熱処理炉は、誘導加熱を使用して温度均一性を改善し、合金特性を最適化します。

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

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

11.1.2 新しいドーピング技術

新しいドーピング技術は、希土類元素(セリウムやイットリウムなど)や他の金属元素(タングステンやレニウムなど)を導入することにより、モリブデンロッドの包括的な特性をさらに改善します。希土類ドーピングは、ナノスケールの酸化物粒子を形成することにより、モリブデンの耐クリープ性と高温強度を向上させるため、原子炉や高温超伝導アプリケーションに適しています。例えば、Mo-Ce 合金は、酸化セリウムを添加することにより、耐放射線性を大幅に向上させます。タングステンまたはレニウムドーピングは、航空宇宙推進システムコンポーネントに適した溶液強化を通じてモリブデンロッドの硬度と耐食性を向上させます。

ドーピングプロセスは、粉末冶金または製錬技術によって実現する必要があり、液相ドーピングとプラズマドーピングは、ナノメートルレベルで均一な分布を達成できる新たな方法になっています。ドーピングの有効性に影響を与える要因には、ドーパントの選択、粒子サイズ、およびプロセス制御が含まれます。技術の進歩には、ボールミリングまたは蒸着によって超微細ドーパント粒子を調製するためのナノドーピング技術の開発が含まれます。X 線回折などの In-situ 分析技術は、ドーピングプロセスをリアルタイムで監視し、一貫性を向上させます。さらに、グリーンドーパント(バイオベースの還元剤など)の適用により、環境汚染が削減されます。

11.2 ナノ構造モリブデンロッドの開発

ナノ構造モリブデンロッドは、微細構造をナノスケール(粒径<100nm)に制御することで、強度、靱性、耐食性を大幅に向上させ、マイクロエレクトロニクスや 3D プリンティングなどの最先端分野に適しています。開発プロセスには、ナノ粉末の調製、焼結、成形技術が含まれます。ナノモリブデン粉末は、高エネルギーボールミリングまたは蒸着によって調製され、粒子サイズは均一性を確保するために正確に制御されます。焼結は、スパークプラズマ焼結(SPS)技術を用いて、ナノ構造を保持したまま、高温高圧(1500~1800°C、50~100MPa)で短時間で高密度成形を実現します。

ナノ構造モリブデンロッドの課題は、高温で成長しやすく、ドーピングやコーティングによって抑制する必要があるナノ結晶の安定性を維持することです。酸化ランタンまたは酸化イットリウムをドーピングすると、粒界を釘付けにし、粒の成長を防ぐことができます。SiC または Al_2O_3 コーティングは、表面の耐食性を向上させます。開発結果に影響を与える要因には、粉末の品質、焼結パラメータ、コスト管理などがあります。技術の進歩には、加熱速度を正確に制御し、粒子の成長を抑える超短パルスレーザー焼結技術の適用が含まれます。放射光顕微鏡は、ナノ構造の進化を解析するために使用されます。さらに、ナノ構造モリブデンロッドの 3D プリンティング技術は、レーザー溶融堆積法による複雑な形状の直接成形を実現します。

11.3 インテリジェントな生産およびテスト技術

自動化、データ分析、人工知能を通じて、インテリジェントな生産および検査技術は、インダストリー4.0 の開発動向に適応して、モリブデンロッド生産の効率、品質、トレーサビリティを大幅に向上させました。

著作権および法的責任に関する声明

11.3.1 オンライン監視とビッグデータ分析

このインライン監視システムは、センサーを使用して、温度、圧力、サイズ、雰囲気組成など、生産プロセスの主要なパラメータをリアルタイムで取得し、プロセスの最適化と品質管理を実現します。例えば、焼結炉内の赤外線温度計(精度 $1^{\circ}\text{C}\pm$)で温度分布をリアルタイムに監視し、レーザーノギス(精度 $0.01\text{mm}\pm$)でモリブデン棒の大きさを検出し、赤外線分光器で大気中の酸素と水分含有量(露点 $<-40^{\circ}\text{C}$)を分析します。ビッグデータ分析は、大量の生産データを収集して、プロセスの異常を特定し、パラメーター設定を最適化します。例えば、焼結温度と密度の関係を解析することで、焼結時間の短縮やエネルギー消費量の削減が可能になります。

オンライン監視の有効性に影響を与える要因には、センサーの精度、データ取得頻度、システム統合などがあります。技術の進歩には、デバイスの相互接続とデータ共有を可能にするモノのインターネット(IoT)テクノロジーの応用が含まれます。クラウドプラットフォームは、ビッグデータアルゴリズムを通じて機器の故障を予測し、ダウンタイムを削減します。さらに、デジタルツインテクノロジーは、仮想モデルを通じて生産プロセスをシミュレートし、プロセスパラメータを最適化します。

11.3.2 モリブデンロッドの製造における人工知能の応用

人工知能(AI)は、プロセスの最適化、品質予測、および故障診断のためにモリブデンロッドの製造に使用されます。機械学習アルゴリズムは、履歴データを分析して、粉末冶金と熱処理のパラメータを最適化します。たとえば、ニューラルネットワークモデルは、焼結プロセス中のモリブデンロッドの密度と粒径を予測し、温度と圧力の設定をガイドします。AI は、顕微鏡画像(50~100 倍の倍率)を分析することにより、多孔性や介在物などの微視的な欠陥を検出する画像認識にも使用されます。故障診断システムは、AI によってセンサーデータを分析することで、機器の摩耗や故障を予測し、メンテナンスを事前にスケジュールします。

AI アプリケーションの有効性に影響を与える要因には、データ品質、アルゴリズムの精度、計算能力などがあります。技術の進歩には、モリブデンロッドの微細構造進化をシミュレートするための敵対的生成ネットワーク(GAN)の適用が含まれます。エッジコンピューティング技術の導入により、生産現場でリアルタイムにデータを処理し、レイテンシーを削減することができます。さらに、AI はブロックチェーンと組み合わせて、生産データのセキュリティとトレーサビリティを確保します。

11.4 新エネルギー分野におけるモリブデンロッドの可能性

新エネルギーの分野でのモリブデンロッドの応用可能性は、特に水素エネルギー、エネルギー貯蔵、高温超伝導の分野で浮上し続けており、その高温性能と化学的安定性に独自の利点を示しています。

11.4.1 水素エネルギーおよびエネルギー貯蔵アプリケーション

モリブデンロッドは、導電性と耐食性に優れていることから、水電解水素製造装置の電極や高温部品に水素エネルギー分野で使用されています。電極材料として、Mo-La 合金ロッド

著作権および法的責任に関する声明

ドは高温のアルカリ性電解質で安定して動作し、電極の寿命を延ばすことができます。エネルギー貯蔵の分野では、高温(>600°C)や腐食性環境にさらされる高温液体金属電池の電極や集電体にモリブデンロッドが使用されています。製造には、耐食性を向上させるために精密な機械加工と表面コーティング(MoSi₂など)が必要です。

アプリケーションの有効性に影響を与える要因には、電極の表面状態、電解質の組成、および動作温度が含まれます。技術の進歩には、電極の触媒効率を改善するためのナノコーティング技術の適用が含まれます。複雑な形状のモリブデン系電極を作製するための積層造形技術の開発さらに、全固体電池にモリブデンロッドを適用すると、ドーピングを通じて電気伝導率が向上する可能性が示されています。

11.4.2 高温超伝導材料担体

モリブデンロッドは、支持構造や電極の高温超電導分野で使用され、超電導磁石や送電装置に使用されています。TZM または Mo-W 合金ロッドは、高強度と低熱膨張係数により、液体窒素またはヘリウム環境(-196°C ~ -269°C)で安定しています。寸法精度(±0.01mm)の確保と、抵抗低減のための表面研磨(Ra<0.4μm)を確保するための超精密加工が必要です。使用環境は、超伝導材料による汚染を防ぐために、酸素と水分を厳密に制御する必要があります。

アプリケーションの有効性に影響を与える要因には、材料の純度、処理精度、低温性能などがあります。技術の進歩には、低温靱性を改善するための Mo-Re 合金の開発が含まれます。in-situ 試験技術は、低温引張試験を通じてモリブデンロッドの性能を評価します。また、トカマク装置の支持部品など、核融合炉におけるモリブデンロッドの応用に関する研究も、長期的な可能性を示しています。

11.5 モリブデンロッドの今後の研究の方向性と課題

モリブデンロッドの将来の研究の方向性には、次の側面が含まれます。

高性能合金の開発:原子力産業や航空宇宙のニーズを満たすために、放射線耐性と高温強度を向上させるための新しいモリブデン基合金(Mo-Re、Mo-Nb など)の研究開発。

ナノテクノロジーの応用:ナノ電極や埋め込み型センサーなど、マイクロエレクトロニクスや生物医学への応用を探求するための安定したナノ構造モリブデンロッドの開発。

グリーン生産技術:カーボンニュートラルの目標に沿って、廃棄物ガスと廃水排出量を削減するために、低エネルギー浄化およびリサイクル技術を推進します。

インテリジェント製造:AI とデジタルツインテクノロジーの本番環境への適用を深め、プロセス全体の自動化と最適化を実現します。

新エネルギーの拡大:核融合、ペロブスカイト太陽電池、高性能エネルギー貯蔵におけるモリブデンロッドの新たな用途を探ります。

主な課題は次のとおりです。

コスト管理:新しいドーピングとナノテクノロジーのコストは高く、生産コストを削減するためにプロセスを最適化する必要があります。

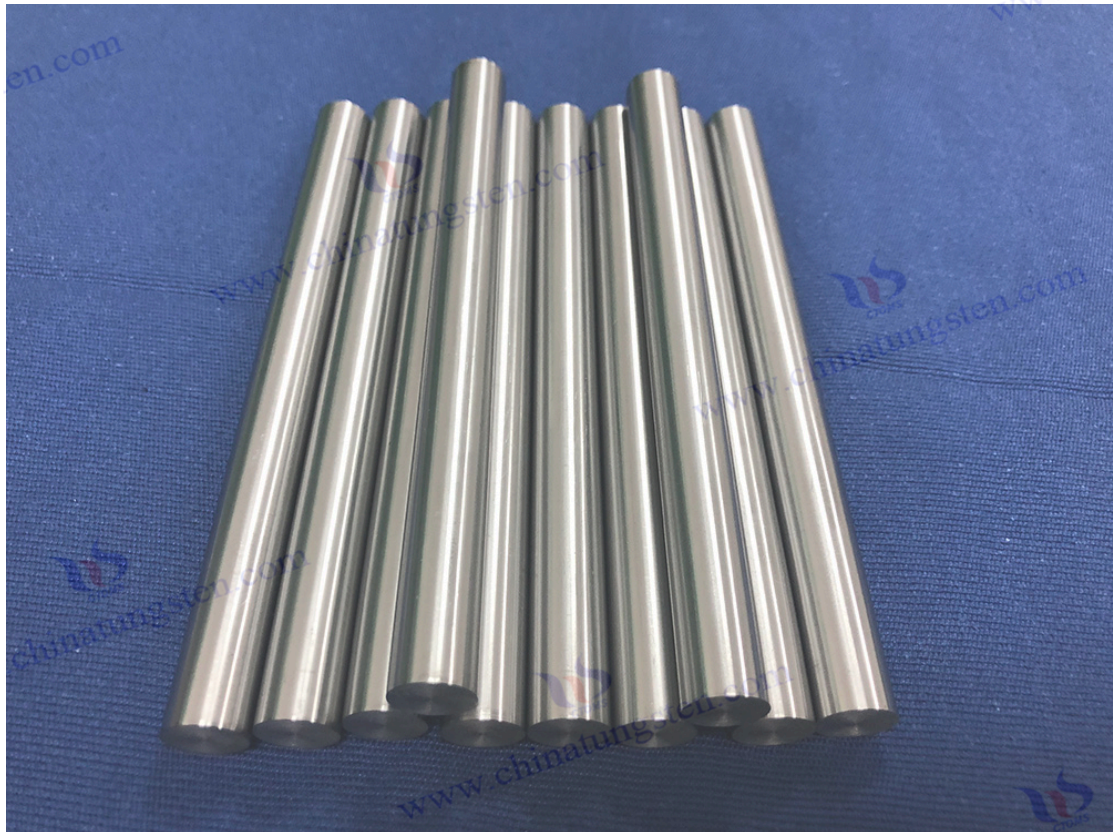
著作権および法的責任に関する声明

環境圧力: 厳しい環境規制により、廃棄物管理とエネルギー管理の改善、および技術への投資の増加が求められています。

技術的安定性: ナノ構造とスマートテクノロジーの長期安定性をさらに検証する必要があります。

市場競争: モリブデンロッドは、タングステンやニオブなどの代替材料と競争する必要があります。性能と価格の比率を改善する必要があります。

技術の進歩には、材料科学、人工知能、新エネルギー技術の融合を通じてイノベーションを加速するための学際的な協力が含まれます。技術共有と規格の調和を促進するための国際協力プロジェクトの増加。



CTIA GROUP LTD モリブデンロッド

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

虫垂

A. 用語集

モリブデンロッド: 高純度のモリブデンまたはモリブデン合金で作られた棒状の材料で、高温または高性能のアプリケーションで一般的に使用されます。

TZM 合金: チタン-ジルコニウム-モリブデン合金で、優れた高温強度と耐クリープ性を備えています。

Mo-La Alloy: 高温での耐酸化性と延性を向上させるモリブデン-ランタン合金。

粉末 冶金: 金属粉末をプレスして焼結することにより材料を準備するプロセス。

焼結: 金属粉末を融点より低い温度に加熱して固体材料を形成するプロセス。

熱間加工: 高温での金属の塑性変形のプロセス。

非破壊検査(NDT): 超音波検査、X線検査など、材料の構造を損傷することなく内部欠陥を検出する方法。

酸化防止 コーティング: 高温酸化環境でモリブデンロッドの表面コーティングを保護するために使用されます。

クリープ: 材料が高温で一定の応力下でゆっくりと変形する現象。

スパッタリングターゲット: 物理蒸着(PVD)による薄膜の作製に使用される材料。

B. 参考文献

- [1] Chinatungsten オンライン。標準仕様のモリブデンロッドを製作。
- [2] GB / T 3462-2017。モリブデンロッドとモリブデンバーの国家規格。
- [3] Journal of Materials Science and Engineering(材料科学工学ジャーナル)。モリブデンロッドのリサイクルと環境保護生産に関する研究。
- [4] YS / T 495-2005。モリブデンおよびモリブデン合金の化学分析法。
- [5] ギガバイト 25466-2010。非鉄金属産業汚染物質排出基準。
- [6] GB/T 4188-2015。TZM モリブデン合金バー標準。
- [7] Journal of Materials Science and Engineering(材料科学工学ジャーナル)。モリブデンベースの合金棒の特性と調製。
- [8] モリブデン産業開発報告書。中国非鉄金属工業会。
- [9] ネイチャーマテリアルズ。エネルギー用途向けの高性能モリブデン合金。
- [10] 先端材料。材料製造における AI。
- [11] 再生可能エネルギー。水素およびエネルギー貯蔵中のモリブデン。
- [12] 国際モリブデン協会(IMOA)。モリブデンのリサイクルと持続可能性。
- [13] ASTM B387-18。モリブデンおよびモリブデン合金バー、ロッド、およびワイヤーの標準仕様。
- [14] ISO 6892-1:2019。金属材料 – 引張試験。
- [15] ASTM E8/E8M-21。金属材料の引張試験のための標準的な試験方法。
- [16] ASTM E9-19。金属材料の圧縮試験の標準的な試験方法。
- [17] ASTM E290-14。延性のための材料の曲げ試験のための標準的な試験方法。
- [18] 国際モリブデン協会(IMOA)。モリブデンの試験と分析。
- [19] 国際モリブデン協会(IMOA)。世界のモリブデン市場の概要。

著作権および法的責任に関する声明