

TZM 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 グループ株式会社

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

[著作権および法的責任に関する声明](#)

CTIA GROUP の紹介

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

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

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

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



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

1. TZM モリブデンロッドの紹介

- 1.1 TZM モリブデンロッドの定義と重要性
- 1.2 TZM モリブデンロッドの歴史的発展と技術進化
- 1.3 現代産業と科学研究における TZM モリブデンロッドの役割

2. TZM モリブデンロッドの基本原理

- 2.1 TZM モリブデンロッドの化学組成と合金特性
- 2.2 TZM モリブデンロッドの物理的および機械的性質
- 2.3 TZM モリブデンロッドと純モリブデンおよび他の超合金との比較
- 2.4 高温環境下での TZM モリブデンロッドの動作メカニズム

3. TZM モリブデンロッドの性能

- 3.1 物理的および化学的性質
 - 3.1.1 融点と熱安定性
 - 3.1.2 密度と熱伝導率
 - 3.1.3 耐酸化性と耐食性
 - 3.1.4 機械的強度と靱性
- 3.2 熱的および機械的特性
 - 3.2.1 熱膨張と高温変形
 - 3.2.2 耐熱衝撃性
 - 3.2.3 クリープ性能と長期安定性
 - 3.2.4 疲労性能とリサイクル能力
- 3.3 組織と物性の関係
 - 3.3.1 粒目の構造と配向
 - 3.3.2 チタン、ジルコニウム、カーボンの役割
 - 3.3.3 表面形態と高温特性
- 3.4 耐用年数と信頼性
 - 3.4.1 耐用年数に影響を与える要因
 - 3.4.2 故障モード解析(破壊、腐食など)
 - 3.4.3 信頼性試験方法
- 3.5 CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド MSDS

4. 準備プロセスと技術

- 4.1 原材料の選択と準備
 - 4.1.1 モリブデン粉末の精製と品質要件
 - 4.1.2 チタン、ジルコニウム、および炭素添加剤の選択
 - 4.1.3 合金比の最適化
 - 4.1.4 原材料の試験と品質管理
- 4.2 冶金学的プロセス
 - 4.2.1 粉末の混合とプレス
 - 4.2.1.1 メカニカルアロイ化

著作権および法的責任に関する声明

- 4.2.1.2 静水压プレス
- 4.2.2 焼結プロセス
 - 4.2.2.1 真空焼結
 - 4.2.2.2 雰囲気焼結と温度制御
- 4.2.3 鍛造と圧延
 - 4.2.3.1 熱間鍛造と冷間鍛造
 - 4.2.3.2 圧延装置とパラメータ
- 4.2.4 押し出しと絞り
 - 4.2.4.1 高温押し出成形
 - 4.2.4.2 ダイスの引き抜きと潤滑
- 4.3 機械加工と仕上げ
 - 4.3.1 旋削とフライス加工
 - 4.3.1.1 CNC 加工
 - 4.3.1.2 加工精度と表面粗さ
 - 4.3.2 研削と研磨
 - 4.3.2.1 機械研磨
 - 4.3.2.2 化学および電解研磨
 - 4.3.3 熱処理と焼鈍
 - 4.3.3.1 アニーリングとグレインコントロール
 - 4.3.3.2 ストレス解消法
 - 4.3.4 表面処理
 - 4.3.4.1 酸化防止コーティング技術
 - 4.3.4.2 表面浸炭と窒化
- 4.4 機器と自動化
 - 4.4.1 主要な生産設備
 - 4.4.1.1 真空焼結炉
 - 4.4.1.2 鍛造および圧延装置
 - 4.4.1.3 CNC マシニングセンター
 - 4.4.2 生産ラインの自動化とインテリジェンス
 - 4.4.3 クリーンルームと環境制御

5. 品質管理およびテスト

- 5.1 オンライン検出技術
 - 5.1.1 寸法および幾何学的精度試験
 - 5.1.2 表面欠陥と亀裂検査
- 5.2 パフォーマンステスト
 - 5.2.1 高温強度と硬度
 - 5.2.2 耐食性と耐酸化性
 - 5.2.3 熱膨張と伝導率
- 5.3 故障解析と改善
 - 5.3.1 亀裂と破壊の解析
 - 5.3.2 高温疲労とクリープ
 - 5.3.3 品質改善対策

著作権および法的責任に関する声明

6. TZM モリブデンロッドの用途

6.1 高温炉部品

6.1.1 発熱体

6.1.2 真空焼結炉の用途

6.1.3 熱処理炉の用途

6.2 航空宇宙産業

6.2.1 ロケットノズルの用途

6.2.2 高温構造部品

6.2.3 宇宙船の熱保護

6.3 原子力産業

6.3.1 原子炉コンポーネント

6.3.2 核融合装置

6.3.3 放射性物質の取り扱い

6.4 電子・半導体産業

6.4.1 イオン注入装置

6.4.2 薄膜の成膜

6.4.3 電子機器の作製

6.5 その他の産業および研究分野

6.5.1 高温実験装置

6.5.2 高温の金型とツール

6.5.3 アディティブ・マニュファクチャリング・アプリケーション

7. 技術的課題と今後の展開

7.1 技術的な課題

7.1.1 耐高温酸化性の向上

7.1.2 複雑なジオメトリとスケールアップ製造

7.1.3 コスト管理

7.2 新素材と新技術

7.2.1 変性合金設計

7.2.2 ナノ構造と複合材料

7.2.3 競合する高温材料

7.3 インテリジェントでグリーンな製造

7.3.1 スマート生産監視

7.3.2 省エネで環境に優しい技術

7.3.3 効率的な廃棄物リサイクル

7.4 将来のトレンド

7.4.1 パフォーマンスの最適化

7.4.2 業界横断的なアプリケーション

7.4.3 極限環境アプリケーション

著作権および法的責任に関する声明

8. TZM モリブデンロッドの規格と仕様

8.1 国家規格(GB)

- 8.1.1 モリブデンおよび合金の GB/T 標準
- 8.1.2 超合金試験および評価基準
- 8.1.3 プロセスおよび機器の実行基準

8.2 国際規格(ISO)

- 8.2.1 ISO 6892 - 金属の引張試験
- 8.2.2 ISO 14001 - 環境マネジメント
- 8.2.3 ISO 3452 - 非破壊検査

8.3 アメリカ規格(米国)

- 8.3.1 ASTM B387 - モリブデン合金バー
- 8.3.2 ASTM E384 - 微小硬さ試験
- 8.3.3 ASME - 高温機器規格

8.4 その他の国際規格および業界標準

- 8.4.1 JIS G 0571 - モリブデン試験
- 8.4.2 DIN EN 10228 - 非破壊検査
- 8.4.3 GOST 17431 - モリブデン合金

8.5 標準の実装と認証

- 8.5.1 生産およびテストにおける標準の適用
- 8.5.2 品質マネジメントシステム認証(ISO9001 等)
- 8.5.3 輸出コンプライアンスと国際認証

虫垂

- A. 用語集
- B. 参考文献

一. 紹介

1.1 TZM モリブデンロッドの定義と重要性

TZM モリブデンロッドは、モリブデン(モリブデン)を母材とし、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、炭素(C)などの元素を添加した高機能合金材料で、その名前は「チタン-ジルコニウム-モリブデン」の略語に由来しています。TZM モリブデンロッドは、その優れた高温強度、優れた耐クリープ性、優れた耐食性により、航空宇宙、原子力産業、高温炉製造、半導体産業、その他のハイテク分野でかけがえのない重要な位置を占めています。純粋なモリブデンと比較して、TZM 合金は、微量元素のドーピング、特に高温環境での安定性と耐久性により機械的特性を大幅に向上させ、極端な作業条件下での理想的な材料の選択肢となっています。

TZM モリブデンロッドの化学組成は、通常、約 0.5%のチタン、0.08%のジルコニウム、0.01~0.04%の炭素で構成され、残りはモリブデンです。この特定の合金比により、TZM モリブデンロッドは高温(約 1400°C、純粋なモリブデンの 1000°C よりもはるかに高い)でより高い再結晶温度を持つことができ、極端な環境で構造的完全性を維持することができます。さらに、TZM モリブデンロッドの耐酸化性と熱伝導性も多くの従来の超合金よりも優れているため、高い熱負荷と機械的強度を必要とするシナリオで優れています。

工業用途では、TZM モリブデンロッドは、高温炉の発熱体、金型材料、ロケットノズルやタービンブレードなどの航空宇宙部品、原子炉の構造部品、半導体装置の部品の製造に広く使用されています。その重要性は、その物理的特性だけでなく、現代産業における高性能材料に対する需要の高まりに対応する能力にもあります。例えば、航空宇宙分野では、TZM モリブデンロッドは、融点が高く(約 2623°C)、熱膨張係数が低いいため、高温推進システム部品の製造に最適な材料です。原子力産業では、TZM モリブデンロッドは、中性子線に対する耐性と低い熱中性子吸収断面積により、原子炉の主要コンポーネントの製造に使用されています。

さらに、TZM モリブデンロッドは、科学研究の分野でも重要な役割を果たしています。例えば、高温材料試験やプラズマ物理研究、先端製造技術開発などでは、TZM モリブデンロッドはその安定した特性から実験装置の基幹部品として使用されています。この調査は、TZM モリブデンロッドの製造プロセスと品質管理技術が近年継続的に改善されており、グローバル市場での幅広い適用が促進されていることを示しています。航空宇宙からエネルギー産業まで、TZM モリブデンロッドは現代のハイテク産業の不可欠な部分になり、技術の進歩と応用分野の拡大に伴い、その重要性はますます高まっています。

1.2 TZM モリブデンロッドの歴史的発展と技術進化

TZM モリブデンロッドの開発は、航空宇宙産業や原子力産業の急速な発展に伴い、高温材料の需要が劇的に増加した 20 世紀半ばにさかのぼります。純粋なモリブデンは融点が高く、電気伝導性および熱伝導性に優れていますが、高温強度、クリープ、再結晶、脆がないため、極端な環境での用途が制限されます。これらの欠点を克服するために、材料科学者はモリブデンの特性を改善するために合金化を探索し始めました。

著作権および法的責任に関する声明

20 世紀の 50 年代には、米国の科学研究機関と産業が TZM 合金の開発を主導しました。モリブデンマトリックスに微量のチタン、ジルコニウム、炭素を添加することにより、TZM 合金は高温強度と耐クリープ性を大幅に向上させます。チタンとジルコニウムの添加は、溶液強化と第 2 相強化メカニズムを通じてモリブデンの結晶構造を強化し、炭素の添加は炭化物粒子の形成を通じて合金の強度と耐摩耗性をさらに向上させます。1950 年代の終わりに、TZM 合金は、ロケットエンジンノズルや高温構造部品の製造など、航空宇宙分野で使用され始めました。

20 世紀の 60 年代には、粉末冶金技術の進歩に伴い、TZM モリブデンロッドの製造プロセスが大幅に改善されました。粉末冶金法は、生粉末の粒子サイズと混合比を正確に制御することにより、TZM 合金の微細構造をより均一にし、性能をより安定させます。この期間中、TZM モリブデンロッドは、高温炉製造や原子力産業で広く使用され始めました。例えば、原子炉の制御棒や構造部品は、高温・高放射線環境に対応するために TZM 合金を使用し始めました。

20 世紀の 70 年代から 80 年代にかけて、半導体産業の台頭に伴い、TZM モリブデンロッドの応用分野はさらに拡大しました。TZM モリブデンロッドは、その高い熱伝導率と低い熱膨張係数により、半導体デバイスの高温固定具やスパッタリングターゲットの製造に使用されています。同時期、航空宇宙分野での需要により、TZM モリブデンロッドのさらなる最適化が推進され、例えば、熱処理プロセスや表面処理技術を改善して耐酸化性を向上させました。

21 世紀には、TZM モリブデンロッドの製造と応用技術は新たな段階に入りました。研究によると、現代の TZM モリブデンロッドの製造プロセスは、高度な自動化と精度を達成しています。例えば、高度なプラズマ焼結技術と真空熱処理プロセスにより、TZM モリブデンロッドの粒径と性能の一貫性が大幅に向上しました。さらに、ナノテクノロジーの導入により、TZM 合金の微細構造がさらに最適化され、それによって極端な環境での耐久性が向上しました。

近年、積層造形(3D プリンティング)技術の発展に伴い、TZM モリブデンロッドの応用可能性がさらに探求されています。研究者たちは、レーザー選択溶融(SLM)などの技術を通じて複雑な TZM 合金部品の直接製造を模索し始め、これにより製造コストが削減されるだけでなく、航空宇宙および医療機器における TZM モリブデンロッドの応用の可能性が広がりました。例えば、3D プリントされた TZM 合金部品は、ロケットノズルや複雑な形状の高温金型を作るのに使用することができます。

1.3 現代産業および科学研究における TZM モリブデンロッドの役割

現代の産業や科学研究では、TZM モリブデンロッドは、そのユニークな特性の組み合わせにより、複数の役割を果たしています。まず第一に、航空宇宙分野では、TZM モリブデンロッドはロケットエンジンノズル、タービンブレード、および高温構造部品の製造に広く使用されています。たとえば、SpaceX などの企業は、燃焼室とノズルの高温高圧環境に対処するために、ロケットエンジンの設計に TZM 合金を採用しています。

著作権および法的責任に関する声明

Chinatungsten オンラインの技術データは、これらのアプリケーションでの TZM モリブデンロッドの優れた性能は、極端な熱負荷の下で構造安定性を維持できる熱膨張率の高い融点と低い係数によるものであることを示しています。

原子力産業では、TZM モリブデンロッドは、その優れた耐放射線性と高温安定性により、原子炉の構造部品や制御ロッドの製造に使用されています。原子炉内の高温で強い放射線環境は、材料に非常に高い要求を課し、熱中性子吸収断面積が小さく、TZM モリブデンロッドの強度が高いため、理想的な選択肢となっています。さらに、TZM モリブデンロッドは、極端な熱と粒子の衝撃に対処するために、核融合炉用のプラズマ対向材料(PFM)の製造に使用されています。

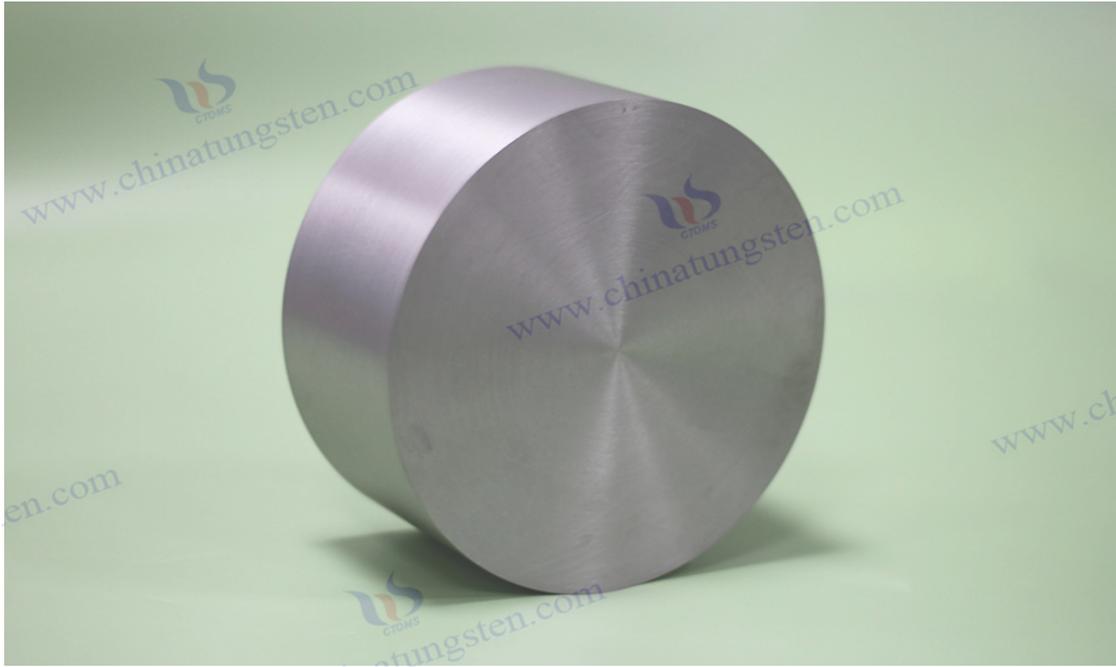
高温炉製造の分野では、TZM モリブデンロッドは発熱体、支持体、るつぼ材料として広く使用されています。TZM モリブデンロッドは、その高い再結晶温度と優れた耐クリープ性により、1600°C を超える高温環境でも長時間安定して動作することができます。例えば、真空炉や大気保護炉では、TZM モリブデンロッドが発熱体や熱電対保護スリーブの製造に使用され、高温での機器の信頼性と耐久性を確保しています。

半導体業界では、TZM モリブデンロッドは、熱伝導率が高く、熱膨張係数が低いため、スパッタリングターゲットや高温固定具として使用されています。例えば、物理蒸着(PVD)プロセスでは、TZM モリブデンロッドが高性能薄膜の成膜ターゲットとして使用されます。さらに、TZM モリブデンロッドは、半導体製造における高精度と安定性の要件を満たすために、イオン注入デバイスの主要コンポーネントの製造にも使用されています。

科学研究の分野では、TZM モリブデンロッドは、高温材料試験、プラズマ物理学研究、高度な製造技術開発に広く使用されています。例えば、高温材料試験では、TZM モリブデンロッドを試験片グリッパや発熱体として使用し、過酷な運転条件下での材料特性をシミュレートします。プラズマ物理学の研究では、TZM モリブデンロッドは、その優れたプラズマ侵食耐性から、実験装置の構造材料として使用されています。さらに、TZM モリブデンロッドは積層造形の分野でも大きな可能性を示しており、研究者は 3D プリンティング技術を使用して、航空宇宙および医療分野の特別なニーズを満たすために複雑な形状の TZM 合金部品を製造することを模索しています。

Chinatungsten Online の WeChat 公式アカウント「Chinatungsten Online」は、TZM モリブデンロッドの世界市場の需要が近年、特にアジア太平洋地域で成長を続けていることを報告しました。航空宇宙および原子力産業の分野での中国、インド、その他の国々の急速な発展に伴い、TZM モリブデンロッドの応用見通しはより広がっています。将来的には、新材料技術の進歩に伴い、TZM モリブデンロッドは、再生可能エネルギー機器(高温ソーラーコレクターなど)やバイオメディカル分野(高温滅菌機器など)など、より多くの分野で重要な役割を果たすことが期待されています。

著作権および法的責任に関する声明



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

二. TZM モリブデンロッドの基本原理

2.1 TZM モリブデンロッドの化学組成と合金特性

TZM モリブデンロッドの化学組成は、通常、約 99.38～99.5%のモリブデン、0.4～0.55%のチタン、0.06～0.12%のジルコニウム、および 0.01～0.04%の炭素を含んでいます。この精密な合金比は、溶液強化、析出強化、第2相強化などのメカニズムを通じてモリブデンの特性を大幅に向上させ、高温、高応力、腐食性の環境で優れた安定性を実現します。

化学組成の詳細と役割

モリブデンは、高融点(2623°C)、優れた熱伝導率(約 139W/m・K)、低熱膨張係数(約 5.3×10^{-6} /K)を備えたマトリックス材料であり、高温用途に最適です。しかし、純粋なモリブデンは高温での強度が低く、クリープや再結晶脆化を起こしやすいため、過酷な環境での用途が制限されます。TZM 合金は、微量元素を添加することにより、これらの欠点を克服します。

チタン(Ti): チタンを添加すると、溶液強化メカニズムによりモリブデンの結晶構造が向上します。モリブデン格子中のチタン原子の固溶体は、格子歪みを引き起こし、転位運動を妨げるため、材料の高温強度と耐クリープ性が向上します。さらに、チタンは炭素と反応して炭化チタン(TiC)粒子を形成し、析出強化によってさらに強化され、合金の硬度と耐摩耗性がさらに向上します。

著作権および法的責任に関する声明

ジルコニウム(Zr): ジルコニウムはチタンと同様に作用し、溶液強化によってモリブデンの強度を高めま。ジルコニウム原子はまた、炭素と反応して炭化ジルコニウム(ZrC)粒子を形成し、モリブデンマトリックス中に均一に分布し、材料の耐クリープ性と高温安定性を高めま。ジルコニウムを添加すると、TZM 合金の耐酸化性も向上し、高温酸化環境での耐久性が向上しま。

カーボン(C): カーボンの添加は、TZM 合金の性能を向上させるための鍵です。カーボンとチタンおよびジルコニウムとの反応によって形成される炭化物粒子(TiC および ZrC のような)は沈殿物の強化メカニズムによって合金の強さそして硬度を著しく改善しま。高温では、これらの粒子は効果的に結晶粒の成長を防ぎ、材料の微細な結晶構造を維持することができ、それによってその再結晶温度と耐クリープ性を向上させることができます。

微細構造と性能の関係

TZM モリブデンロッドの微細構造は、その特性に重要な影響を与えます。粉末冶金プロセスによって調製された TZM 合金は、微細な粒径(通常は 3.0~5.0 ミクロン)を有し、材料の強度と靱性を向上させるのに役立ちま。粉末冶金は、原料粉末の粒子サイズと混合比を正確に制御することにより、モリブデンマトリックス中のチタン、ジルコニウム、炭素の均一な分布を確保しま。アニーリングやエージングなどの熱処理プロセスは、TZM モリブデンロッドの微細構造をさらに最適化しま。たとえば、高温焼鈍は加工中の残留応力を排除でき、エージングは炭化物粒子の析出を促進し、それによって材料の機械的特性を向上させることができます。

耐腐食性および耐酸化性

TZM モリブデンロッドは、さまざまな化学環境、特に真空や不活性ガスなどの高温非酸化性雰囲気では優れた耐食性を示しま。その耐食性は、モリブデンマトリックスの化学的安定性と炭化物粒子の保護効果によるものです。高温酸化環境では、TZM モリブデンロッドの表面に緻密な酸化物保護層(MoO₂など)が形成され、さらなる酸化反応が遅くなりま。対照的に、純粋なモリブデンは高温で揮発性の三酸化モリブデン(MoO₃)が形成されやすく、その結果、材料が急速に失われま。Chinatungsten Online の技術データによると、TZM モリブデンロッドは 1000°C 未満の酸化環境で安定して動作し、高温では、耐酸化コーティング(ケイ化物コーティングなど)が耐用年数を延ばすために必要です。

合金の特性に対する製造プロセスの影響

TZM モリブデンロッドの製造は、通常、原料の混合、プレス、焼結、熱処理などのステップを含む粉末冶金プロセスを使用して行われま。Chinatungsten Online のデータによると、現代の生産プロセスは、高度なプラズマ焼結技術と真空熱処理プロセスを通じて、TZM モリブデンロッドの性能一貫性を大幅に向上させま。例えば、プラズマ焼結技術は、低温での高密度焼結を可能にし、結晶粒の成長を抑え、材料の微細な結晶粒構造を維持しま。さらに、化学蒸着コーティングなどの表面処理技術により、TZM モリブデンロッドの耐酸化性と耐摩耗性がさらに向上し、幅広い産業シナリオに適してま。

著作権および法的責任に関する声明

アプリケーションシナリオと化学組成のマッチング

TZM モリブデンロッドの化学組成は、航空宇宙、原子力産業、半導体製造などの分野で広く使用されています。例えば、航空宇宙分野では、TZM モリブデンロッドの高温強度と耐クリープ性により、ロケットノズルやタービンブレードの理想的な材料となっています。原子力産業では、TZM モリブデンロッドの熱中性子吸収断面積と放射線抵抗が低いため、原子炉の構造部品の製造に適しています。半導体業界では、TZM モリブデンロッドの熱膨張係数が低く、熱伝導率が高いため、スパッタリングターゲットや高温固定具に最適な材料となっています。

2.2 TZM モリブデンロッドの物理的および機械的特性

TZM モリブデンロッドの物理的および機械的特性は、高温および高応力環境での幅広い用途の基礎となっています。以下は、高温強度、耐クリープ性、熱伝導率、熱膨張係数、硬度、耐摩耗性、および耐食性をカバーする、その主な特性の詳細な分析です。

高温強度

高温での TZM モリブデンロッドの引張強度と降伏強度は、純粋なモリブデンの引張強度と降伏強度よりも大幅に高くなっています。たとえば、1200°C では、TZM モリブデンロッドの引張強度は 400~500 MPa に達することがありますが、純粋なモリブデンはわずか

200~300 MPa です。この優れた高温強度は、チタン、ジルコニウム、炭素の強化によるものです。チタンとジルコニウムは、溶液強化を通じてモリブデンマトリックスの格子強度を向上させますが、TiC や ZrC などの炭化物粒子の析出は転位の動きをさらに妨げ、それによって材料の変形に対する耐性を向上させます。高温での強度の増加により、TZM モリブデンロッドは、航空宇宙(ロケットノズルなど)や高温炉の製造において大きな利点が得られます。

耐クリープ性

クリープは、長期応力下での高温材料の主要な破壊モードの 1 つです。TZM モリブデンロッドの耐クリープ性は、純粋なモリブデンよりもはるかに優れています。1400°C および 20 MPa の応力条件下では、TZM モリブデンロッドのクリープ率は純粋なモリブデンのクリープ率の 1/10 にすぎません。この優れた耐クリープ性は、炭化物粒子のピン留め作用によるもので、粒界の滑りや転位の上昇を効果的に防ぎます。また、TZM モリブデンロッドの微細な結晶構造は、耐クリープ性をさらに高めるため、高温炉や原子炉など、長期安定運転が求められるシーンにも最適です。

高い再結晶温度

TZM モリブデンロッドの再結晶温度は約 1400°C で、純粋なモリブデンの 1000°C よりもはるかに高いです。これは、TZM モリブデンロッドが高温でその微細粒子構造を維持できることを意味します、粒子の成長と性能の低下を回避します。再結晶温度の上昇は、チタン、ジルコニウム、炭素の相乗効果によるものです。チタンとジルコニウムの溶液強化は結晶格子の安定性を向上させ、炭化物粒子の沈殿は粒界の移動を防ぎます。この性能により、TZM モリブデンロッドは 1600°C 以上の高温環境下でも長時間安定して動作できる

著作権および法的責任に関する声明

ため、高温炉や航空宇宙部品に適しています。

熱伝導率と熱膨張係数

TZM モリブデンロッドは、熱伝導率(約 139W/m・K)に優れ、熱膨張係数(約 5.3×10^{-6} ・K)が低いという特長があります。高い熱伝導率により、熱を迅速に放散し、局所的な過熱による性能低下を回避できるため、半導体デバイス的高温器具やスパッタリングターゲットでの使用に特に適しています。熱膨張係数が低いため、高温での材料の寸法安定性が確保され、熱応力による亀裂や変形が減少します。この特性の組み合わせにより、TZM モリブデンロッドは、真空炉やプラズマ物理学の実験装置など、高い熱負荷と寸法精度を必要とするアプリケーションで有利になります。

硬度と耐摩耗性

TZM モリブデンロッドの硬度(ピッカース硬度約 250-300HV)は、超硬粒子の強化効果により、純粋なモリブデン(約 200HV)の硬度が高くなっています。炭化チタンと炭化ジルコニウム粒子の均一な分布により、材料の表面硬度と耐摩耗性が向上し、金型、切削工具、耐摩耗性部品の製造に適しています。たとえば、高温金型製造では、TZM モリブデンロッドは高い応力と摩耗に耐えることができ、金型の耐用年数を延ばすことができます。

耐食性

TZM モリブデンロッドは、さまざまな化学環境、特に真空、アルゴン、窒素などの高温非酸化性雰囲気では良好な耐食性を示します。その耐食性は、モリブデンマトリックスの化学的安定性と炭化物粒子の保護効果によるものです。高温酸化環境では、TZM モリブデンロッドは、酸化反応を遅らせるために高密度の MoO_2 保護層を形成することができます。研究によると、TZM モリブデンロッドは 1000°C 未満の酸化環境で安定して機能することが示されており、より高い温度では、耐久性をさらに向上させるために抗酸化コーティングが必要です。

その他の物性

密度: TZM モリブデンロッドの密度は約 10.2g/cm³で、タングステン合金(約 19.3g/cm³)よりも低く、航空宇宙などの重量に敏感なアプリケーションで有利です。

導電率: TZM モリブデンロッドは導電性が良好(IACS 約 18%)で、高温電極や導電性部品の製造に適しています。

耐放射線性: 原子力産業では、TZM モリブデンロッドは、熱中性子吸収断面積が小さく、強度が高いため、高エネルギー中性子およびガンマ線の照射に耐えることができます。

2.3 純モリブデンや他の超合金との比較

純粋なモリブデンや他の超合金(タングステン合金、ニッケル基合金、セラミック材料など)と比較して、TZM モリブデンロッドには独自の性能上の利点があります。以下は、高温強度、耐クリープ性、耐酸化性、加工性、アプリケーションシナリオなどの側面をカバーする、それらの特性の詳細な比較です。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

純粋なモリブデンとの比較

純粋なモリブデン(タングステン)は、融点が高く(2623°C)、電気伝導率と熱伝導率が高く、熱膨張係数が低いです。高温強度が低く、クリープや再結晶脆化が発生しやすいです。TZM モリブデンロッドは、チタン、ジルコニウム、カーボンを添加することで、高温性能を大幅に向上させます。

高温強度: 1200°C では、TZM モリブデンロッドの引張強度は 400~500 MPa ですが、純粋なモリブデンはわずか 200~300 MPa です。TZM の溶液強化および沈殿強化メカニズムにより、高温での変形に対してより耐性があります。

クリープ抵抗: TZM モリブデンロッドのクリープ率は純粋なモリブデンの約 1/10 で、長期の高温ストレス環境に適しています。

再結晶温度: TZM(1400°C)の再結晶温度は、純粋なモリブデン(1000°C)よりもはるかに高く、高温で構造的に安定しています。

耐酸化性: TZM モリブデンロッドは 800°C 未満で緻密な酸化物保護層を形成できますが、純粋なモリブデンは揮発性の MoO_3 になりやすく、急速に損失が発生します。

加工性: TZM モリブデンロッドの加工性は純粋なモリブデンよりもわずかに低いです。熱処理プロセスを最適化することで複雑な形状を処理できます。

タングステン合金との比較

タングステン合金 は、より高い融点(3422°C)と密度(19.3 g/cm^3)を持っていますが、加工が難しく、高価です。TZM モリブデンロッドの比較利点は次のとおりです。

密度: TZM モリブデンロッド(10.2 g/cm^3)の密度は、タングステン合金の密度よりもはるかに低い。航空宇宙などの重量に敏感な用途に適しています。

加工性: TZM モリブデンロッドの延性と被削性は、タングステン合金よりも優れているため、複雑な形状の部品を簡単に製造できます。

耐酸化性: TZM モリブデンロッドは、特に 1000°C 未満の高温酸化環境でタングステン合金よりも耐久性があります。

コスト: TZM モリブデンロッドは、タングステン合金よりも製造コストが低く、多くのアプリケーションでより経済的です。

ニッケル基合金との比較

ニッケル基合金(インコネル 718 など)は、高温での強度と耐食性に優れていますが、融点(約 1350°C)は TZM モリブデンロッドよりもはるかに低く、1600°C を超えると深刻な軟化が発生します。TZM モリブデンロッドの比較利点は次のとおりです。

高温安定性: TZM モリブデンロッドは、ニッケル基合金がこの温度で故障している一方で、1600°C を超える構造安定性を維持できます。

熱膨張係数: TZM の熱膨張係数($5.3 \times 10^{-6} / \text{K}$)は、ニッケル基合金(約 $13 \times 10^{-6} / \text{K}$)よりも低く、寸法安定性が重要なアプリケーションに適しています。

耐放射線性: TZM モリブデンロッドの熱中性子吸収断面積が小さいため、原子力産業では

著作権および法的責任に関する声明

ニッケル基合金よりも優れています。

セラミック材料との比較

ジルコニアなどのセラミック材料は耐熱性に優れていますが、脆く、複雑な形状に加工するのが困難です。TZM モリブデンロッドの比較利点は次のとおりです。

韌性: TZM モリブデンロッドは、金属の韌性と高温の安定性の両方を備えており、高い強度と韌性を必要とするシナリオに適しています。

加工性: TZM モリブデンロッドは、鍛造、圧延、機械加工して複雑な部品を作成できますが、セラミック材料は多くの場合、高価な焼結プロセスを必要とします。

熱伝導率: TZM ($139 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) の熱伝導率は、セラミック材料 (約 $2 \sim 30 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) よりもはるかに高く、急速な熱放散が必要なアプリケーションに適しています。

包括的なアプリケーションの比較

TZM モリブデンロッドは、航空宇宙、原子力産業、半導体製造、高温炉製造で広く使用されています。純粋なモリブデンと比較して、その高温性能は優れています。タングステン合金と比較して、軽量で低コストです。ニッケル基合金と比較して、より強力な高温安定性と耐放射線性を備えています。セラミック材料と比較して、韌性と加工性に優れています。この特性の組み合わせにより、TZM モリブデンロッドは幅広い分野の高温用途に最適です。

2.4 高温環境での作業メカニズム

高温環境下での TZM モリブデンロッドの働き機構は、その優れた性能の中核であり、溶液強化、沈殿強化、酸化防止機構、熱伝導率および熱膨張機構、耐放射線機構などの多くの側面が含まれます。以下では、これらのメカニズムについて詳細に分析します。

ソリューション強化

モリブデン結晶中のチタン原子とジルコニウム原子の固溶体は、格子歪みによって転位の動きを妨げ、それによって材料の高温強度を向上させます。このメカニズムは、転位の動きが高温でのクリープの主な原因である高温で特に効果的です。チタンとジルコニウムの原子半径はモリブデンとはわずかに異なり、結晶格子がわずかに変形し、転位運動に対する抵抗が増加し、それにより TZM モリブデンロッドの引張強度と耐クリープ性が向上します。

降水量の増強

炭素とチタンおよびジルコニウムとの反応によって形成される炭化物粒子 (TiC 、 ZrC など) は、モリブデンマトリックス中に均一に分布しており、これらの粒子は転位と粒界をピン留めすることにより、材料の強度と耐クリープ性を向上させます。高温では、炭化物粒子は結晶粒の成長を効果的に防ぎ、材料の微細な結晶構造を維持し、再結晶温度を上げることができます。研究によると、TZM モリブデンロッドの炭化物粒子サイズは典型的には $0.1 \sim 1$ ミクロンであり、分布の均一性は性能にとって重要です。

著作権および法的責任に関する声明

抗酸化メカニズム

高温酸化環境では、TZM モリブデンロッドの表面に MoO_2 の緻密な保護層が形成され、さらなる酸化反応を遅らせます。対照的に、純粋なモリブデンは揮発性の MoO_3 (原油) が形成されやすく、急速な材料損失につながります。TZM モリブデンロッドの耐酸化性は、チタンとジルコニウムの添加によるもので、緻密な酸化物層の形成を促進します。1000°C 未満では、TZM モリブデンロッドは酸化環境で安定して機能しますが、高温では、モリブデンシリサイドやアルミナコーティングなどの抗酸化コーティングが耐用年数を延ばすために必要です。

熱伝導率と熱膨張メカニズム

TZM モリブデンロッド ($139\text{W/m}\cdot\text{K}$) の高い熱伝導率により、熱を迅速に放散し、局所的な過熱による性能低下を回避できます。この性能は、半導体装置や高温炉の製造において特に重要です。TZM の熱膨張係数が低い ($5.3\times 10^{-6}/\text{K}$) ため、高温での材料の寸法安定性が確保され、熱応力による亀裂や変形が減少します。例えば、真空炉では、TZM モリブデンロッドが、構造的に無傷のまま急激な加熱および冷却サイクルに耐えるための発熱体として使用されます。

放射線硬化機構

原子力産業では、TZM モリブデンロッドは、熱中性子吸収断面積が小さく、強度が高いため、高エネルギー中性子およびガンマ線照射に耐性があります。この特性により、原子炉や核融合装置に最適な材料となっています。例えば、核融合炉のプラズマ対向材料 (PFM) では、TZM モリブデンロッドは、構造安定性を維持しながら高エネルギー粒子の衝撃に耐えることができます。さらに、TZM の耐放射線性は、その微細な粒子構造と超硬粒子の強化効果によるものでもあり、放射線による結晶欠陥を低減します。

高温環境での包括的な性能

高温環境における TZM モリブデンロッドの包括的な性能は、その複数の強化メカニズムの相乗効果から恩恵を受けています。溶液の強化と沈殿の強化は、高温強度と耐クリープ性を向上させ、酸化防止メカニズムは酸化環境での材料の耐用年数を延ばし、高い熱伝導率と低い熱膨張係数は熱安定性を確保し、放射線抵抗は原子力産業で独自の利点を持つようにします。これらのメカニズムを組み合わせることで、TZM モリブデンロッドは 1600°C を超える過酷な環境でも安定して動作し、航空宇宙、原子力産業、半導体製造の高い要件を満たすことができます。

3.5 CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド MSDS

セクション 1: 化学製品の識別

化学名: TZM モリブデンロッド

英語名: TZM モリブデンロッド

CAS 番号: モリブデン (7439-98-7)、チタン (7440-32-6)、ジルコニウム (7440-67-7)、カーボン (7440-44-0)

セクション 2: 成分の組成/情報

著作権および法的責任に関する声明

化学組成:

モリブデン(Mo)≥99.38%

チタン(Ti)0.4~0.55%

ジルコニウム(Zr)0.06~0.12%

カーボン (C) 0.01~0.04%

セクション 3:ハザードの特定

健康被害:この製品は目や皮膚に刺激を与えません。

火災および爆発の危険性:不燃性で刺激性がありません。

第 4 節 応急処置

皮膚に付着した:汚染された衣服を脱ぎ、流水で十分にすすいでください。

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。医師の診察を受けてください。

吸入:影響を受けた人を新鮮な空気に移動させます。呼吸が困難な場合は、酸素を投与してください。医師の診察を受けてください。

摂取:温かい水をたくさん飲み、嘔吐を誘発します。医師の診察を受けてください。

第 5 節 消防対策

有害燃焼生成物:未知の分解生成物。

消火方法:消防士はガスマスクと完全な防護服を着用し、風上から消火する必要があります。

消火媒体:乾燥砂、粉末。

セクション 6:偶発的な放出措置

緊急対応:

汚染された地域を隔離し、アクセスを制限します。

発火源を排除します。

救急隊員は防塵マスク(顔全体)と防護服を着用する必要があります。

ほこりを巻き上げないでください。材料を慎重に掃き、袋に入れて安全な場所に移します。

大きくこぼれた場合は、プラスチックシートまたは防水シートで覆います。

廃棄物処理施設でリサイクルまたは廃棄するために収集します。

セクション 7:取り扱いと保管

取り扱い:

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。

推奨される PPE には、自吸式フィルター防塵マスク、化学安全ゴーグル、耐透過性作業服、ゴム手袋が含まれます。

火気や熱源から遠ざけてください。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。

粉塵の発生や酸化剤やハロゲンとの接触を避けてください。

著作権および法的責任に関する声明

包装や容器の損傷を防ぐため、取り扱いには注意してください。

適切な消火設備と流出対応機器を提供します。

空の容器には危険な残留物が保持されている可能性があります。

貯蔵:

火気や熱源から離れた、涼しく換気の良い倉庫に保管してください。

酸化剤やハロゲンとは別に保管してください。混在ストレージは避けてください。

適切な消火設備を提供し、封じ込め物資を漏らします。

セクション 8: 露出制御/個人保護

中国 MAC(mg /m³):6

旧ソ連 MAC(mg /m³):6

TLVTN(ACGIH):1 mg /m³

TLVWN(ACGIH):3 mg/m^μ

モニタリング方法:チオシアン酸カリウムチタン比色分析

エンジニアリングコントロール:ダストフリー生産と一般的な換気。

呼吸保護:粉塵レベルが制限を超える場合は、自吸式フィルタータイプの防塵マスクを使用してください。緊急時や避難時には、空気供給式の呼吸器を使用してください。

目の保護具:化学安全ゴーグルを着用してください。

ボディプロテクション:浸透に強い保護作業服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。

セクション 9: 物理的および化学的性質

主成分:純粋な物質

外観:ソリッド、メタリックブライトホワイト(機械加工)。黒色表面(原材料)

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):データなし

臨界圧力(MPa):データなし

Log Partition Coefficient (n-octanol/water): データなし

引火点(°C):データなし

自然発火温度(°C):データなし

爆発限界 - 上限 (% V/V): データなし

爆発限界 - 下限 (% V/V): データなし

溶解性:硝酸および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されます。

セクション 10: 安定性と反応性

互換性のない材料:強酸と強塩基。

著作権および法的責任に関する声明

セクション 11:毒物学的情報

急性毒性:データはありません

LC50:データがありません

セクション 12:生態情報

エコロジカルデータ:利用できません

セクション 13:廃棄に関する考慮事項

廃棄方法:廃棄する前に、国および地域の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。

セクション 14:交通情報

危険物コード:利用できません

包装カテゴリ:Z01

交通上の注意:

輸送前に、梱包材は無傷で適切に固定されている必要があります。

輸送中に漏れ、崩壊、落下、または損傷がないことを確認してください。

酸化剤、ハロゲン、食用薬品と混ぜないでください。

輸送中は日光、雨、高温から保護してください。

輸送後は車両を徹底的に清掃してください。

第 15 条:規制情報

関連規制:

有害化学物質の安全管理に関する条例(国務院、1987年2月17日)

有害化学物質の安全管理に関する規則の実施詳細(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制([1996]ラオスブファ第 423 号)

職場の空気中のタングステンの衛生基準(GB 16229-1996)は、最大許容濃度と検出方法を規定しています。

セクション 16:サプライヤー情報

サプライヤー:CTIA GROUP LTD

電話番号: 0592-5129696 / 5129595



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

3. TZM モリブデンロッドの性能

3.1 TZM モリブデンロッドの物理的および化学的性質

モリブデンをベースとした高性能合金材料として、TZM モリブデンロッドは、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、炭素(C)を添加することにより、優れた物理的および化学的特性を示します。これらの特性により、高温、高応力、腐食性の環境での幅広い用途に有望です。以下は、融点と熱安定性、密度と熱伝導率、耐酸化性と耐食性、機械的強度と靱性の4つの側面から、TZM モリブデンロッドの物理的および化学的性質の詳細な分析です。

3.1.1 TZM モリブデンロッドの融点と熱安定性

TZM モリブデンロッドの融点は、純粋なモリブデンの 2623°C (約 2896K) に近く、業界で一般的に使用されている超合金の1つです。その高い融点は、モリブデンマトリックスのBCC(体心立方体)結晶構造によるもので、高温での安定性が高く、極端な熱負荷に耐えることができます。純粋なモリブデンと比較されて、TZM のモリブデン棒は純粋なモリブデンのための約 1000°C から 1400°C 以上に、チタニウム、ジルコニウムおよびカーボンを、加えることによって大幅に再結晶の温度を上昇させます。この高い再結晶温度は、TZM モリブデンロッドが高温で微細な結晶粒構造を維持できることを意味し、結晶粒成長による性能低下を回避します。

熱安定性は、高温用途における TZM モリブデンロッドの主な利点です。ロケットエンジンのノズルや燃焼室部品などの航空宇宙分野では、TZM モリブデンロッドは 2000°C を超える環境での瞬間的な熱負荷に耐える必要があります。その結果、TZM モリブデンロッドは 1800°C でも高い強度と構造的完全性を維持できる一方で、純粋なモリブデンは同じ条件下で大幅な軟化とクリープを受けていることが示されています。結果は、TZM モリブデンロッドの熱安定性は、チタンとジルコニウムの溶液強化と TiC や ZrC などの炭化

著作権および法的責任に関する声明

物粒子の析出強化によるものであり、これらが一緒になって高温変形に対する材料の耐性を向上させることを示しています。

さらに、TZM モリブデンロッドの熱安定性は、その製造プロセスと密接に関連しています。粉末冶金プロセスによって調製された TZM モリブデンロッドは、均一な微細構造を有しており、高温での粒界の滑りや転位の上昇を効果的に低減できます。アニーリングやエージングなどの熱処理プロセスは、材料の熱安定性をさらに最適化します。たとえば、高温焼鈍は加工中の残留応力を排除できますが、エージングは炭化物粒子の析出を促進し、高温での材料の安定性を高めます。

3.1.2 TZM モリブデンロッドの密度と熱伝導率

TZM モリブデンロッドの密度は約 10.2g/cm^3 で、タングステン合金 (19.3g/cm^3) よりも低いですが、ニッケル基合金 (約 8.5g/cm^3) よりも高くなっています。この中密度は、航空宇宙や衛星部品などの重量に敏感なアプリケーションで大きな利点をもたらします。タングステン合金と比較して、TZM モリブデンロッドの密度が低いため、高強度と高温安定性を維持しながら構造重量が減少します。

TZM モリブデンロッドの熱伝導率は $139\text{W/m}\cdot\text{K}$ で、セラミック材料 (約 $2\sim 30\text{W/m}\cdot\text{K}$)

やニッケル基合金 (約 $10\sim 20\text{W/m}\cdot\text{K}$) よりもはるかに高くなっています。高い熱伝導率により、熱を迅速に放散し、局所的な過熱による性能低下を回避できます。例えば、半導体装置製造では、スパッタリングターゲットや高温固定具として TZM モリブデンロッドが使用されていますが、その高い熱伝導性により均一な熱分布を確保し、熱応力によるクラックを低減します。さらに、高温炉製造では、TZM モリブデンロッドを発熱体として使用して、熱を迅速に伝達し、炉内の温度の均一性を向上させることができます。

熱伝導率は、TZM モリブデンロッドの微細構造と密接に関連しています。粉末冶金プロセスは、炭化物粒子の粒径と分布を制御することにより、熱伝導経路の連続性を確保します。研究によると、TZM モリブデンロッドの熱伝導率は、高温 (1200°C など) で約 $10\sim 15\%$ しか減少せず、これは純粋なモリブデンの $20\sim 25\%$ の減少率よりもはるかに優れています。この安定した熱伝導率により、高温サイクル環境でも優れた性能を発揮します。

3.1.3 TZM モリブデンロッドの耐酸化性と耐食性

TZM モリブデンロッドは、真空、アルゴン、窒素などの高温非酸化性雰囲気ですべて優れた耐食性を示します。その化学的安定性は、モリブデンマトリックスの不活性とチタン、ジルコニウム、炭素の強化によるものです。高温酸化環境では、TZM モリブデンロッドは、 MoO_3 酸化物保護層の緻密な層を形成して、さらなる酸化反応を遅らせることができます。対照的に、純粋なモリブデンは、高温で揮発性になりやすい酸化タングステンであり、これは急速な材料劣化につながります。研究によると、TZM モリブデンロッドは 1000°C 未満の酸化環境で安定して動作し、高温では、寿命を延ばすために抗酸化コーティング (モ

著作権および法的責任に関する声明

リブデンシリサイドやアルミナコーティングなど)が必要です。

腐食性環境では、TZM モリブデンロッドは酸、アルカリ、塩溶液に対して良好な耐性を持っています。例えば、希硫酸および塩酸環境では、TZM モリブデンロッドはステンレス鋼およびニッケル基合金よりもはるかに低い腐食速度を有する。この耐食性により、化学および原子力産業で広く使用されています。例えば、原子炉の冷却材環境では、TZM モリブデンロッドは高温や化学腐食に耐えることができ、構造的な完全性を維持します。

耐酸化性や耐食性の向上は、表面処理技術にも密接に関係しています。例えば、化学気相成長法(CVD)または物理蒸着法(PVD)により、TZM モリブデンロッドの表面に抗酸化コーティングを堆積させることで、高温酸化環境での耐久性を大幅に向上させることができます。さらに、表面研磨およびプラズマ溶射技術により、表面欠陥を減らし、耐食性を向上させることができます。

3.1.4 TZM モリブデンロッドの機械的強度と靱性

TZM モリブデンロッドの機械的強度は、高温での純粋なモリブデンの強度をはるかに超えています。たとえば、1200°C では、TZM モリブデンロッドの引張強度は 400~500 MPa ですが、純粋なモリブデンはわずか 200~300 MPa です。この高強度は、チタンとジルコニウムの溶液強化と炭化物粒子の析出強化によるものです。炭化チタン(TiC)粒子と炭化ジルコニウム(ZrC)粒子はモリブデンマトリックスに均一に分布しているため、転位と粒界をピン留めすることで材料の硬度と強度が向上します。TZM モリブデンロッドのピッカース硬度は約 250~300 HV で、これは純粋なモリブデンの 200 HV よりも高いため、耐磨耗性の金型や切削工具の製造での使用に適しています。

靱性に関しては、TZM モリブデンロッドは室温および高温で良好な耐破壊性を示します。セラミック材料と比較して、TZM モリブデンロッドは金属の延性と靱性を備えており、脆性破壊なしに特定の衝撃と変形に耐えることができます。その結果、TZM モリブデンロッドの破壊靱性(K_{IC})は室温で約 $15-20\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ であり、純粋なモリブデン($10-12\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)よりも高いことが示されています。この優れた靱性により、航空宇宙産業や原子力産業の複雑なストレス環境に耐えることができます。

機械的強度と靱性の向上は、製造プロセスにも関係しています。粉末冶金プロセスで焼結温度と圧力を制御することにより、TZM モリブデンロッドの粒径と炭化物分布を最適化することができ、強度と靱性のバランスをとることができます。たとえば、焼結温度が低い(約 1800°C)と、より細かい粒子が得られ、靱性が向上します。焼結温度が高い(約 2000°C)ため、強度が増します。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

3.2 TZM モリブデンロッドの熱的および機械的特性

TZM モリブデンロッドの熱的および機械的特性は、高温および高応力環境での幅広い用途の基礎となっています。以下は、熱膨張係数と高温変形、耐熱衝撃性、クリープ性能と長期安定性、疲労性能、リサイクル能力の4つの側面からの詳細な分析です。

3.2.1 TZM モリブデンロッドの熱膨張係数と高温変形

TZM モリブデンロッドの熱膨張係数は約 $5.3 \times 10^{-6}/K$ で、ニッケル基合金(約 $13 \times 10^{-6}/K$)やステンレス鋼(約 $16 \times 10^{-6}/K$)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、高温でのTZM モリブデンロッドの寸法安定性が確保され、熱応力による亀裂や変形が減少します。例えば、真空炉では、急速な加熱および冷却サイクル中に幾何学的安定性を維持するための発熱体としてTZM モリブデンロッドが使用されています。

高温変形は、高温材料の設計における重要な問題です。TZM モリブデンロッドは、チタンとジルコニウムの固溶体強化と炭化物粒子の析出強化によって強化され、高温での変形速度が大幅に減少します。1400°C および 20 MPa の圧力条件の下で、TZM のモリブデン棒の変形率は純粋なモリブデンのそののちょうど 1/5 です。研究によると、炭化物粒子は高温で粒界を固定し、粒界の滑りを防ぎ、それによって変形を減らすことができます。研究によると、1600°C 未満のTZM モリブデンロッドの変形速度は 0.1%以内に制御でき、高温金型や航空宇宙部品に適しています。

熱膨張係数の安定性は、TZM モリブデンロッドの微細構造にも関連しています。微細な粒径(10-50 ミクロン)と均一な炭化物分布により、高温での粒界移動が減少し、寸法安定性が確保されます。さらに、研磨やコーティングなどの表面処理技術により、熱応力集中をさらに低減し、変形に対する耐性を向上させることができます。

3.2.2 TZM モリブデンロッドの耐熱衝撃性

耐熱衝撃性は、急速に変化する環境下での高温材料の安定性を示す重要な指標です。TZM モリブデンロッドは、高い熱伝導率($139W/m \cdot K$)、低い熱膨張係数($5.3 \times 10^{-6}/K$)、高い機械的強度により、優れた耐熱衝撃性を示します。耐熱衝撃試験では、TZM モリブデンロッドは 1000°C から室温までの高速サイクルで明らかな亀裂なしに数百サイクルに耐えることができますが、純粋なモリブデンは通常、同じ条件下で 50 サイクル後に微小亀裂を示します。

耐熱衝撃性の向上は、TZM モリブデンロッドの微細構造と合金特性によるものです。炭化物粒子の析出強化により、材料の強度と靱性が向上し、熱応力による亀裂の伝播が減少します。さらに、高い熱伝導率により、TZM モリブデンロッドは熱を迅速に放散し、温度勾配によって引き起こされる内部応力を低減します。航空宇宙分野では、TZM モリブデンロッドは、構造的完全性を維持しながら燃焼室内の急激な温度変化に耐えることができるロケットノズル材料として使用されています。

公開された技術データによると、TZM モリブデンロッドの耐熱衝撃性は、製造プロセスを最適化することによりさらに向上させることができます。例えば、焼結工程での冷却速度を制御することで、微細な欠陥を減らし、材料の熱衝撃に対する耐性を向上させること

著作権および法的責任に関する声明

ができます。さらに、ジルコニアコーティングなどの表面コーティングは、耐熱衝撃性をさらに高め、材料の寿命を延ばすことができます。

3.2.3 TZM モリブデンロッドのクリープ性能と長期安定性

クリープは、長期応力下での高温材料の主要な破壊モードの1つです。TZM モリブデンロッドの耐クリープ性は、純粋なモリブデンよりもはるかに優れています。1400°C および 20 MPa の応力条件下では、TZM モリブデンロッドのクリープ率は純粋なモリブデンのクリープ率の 1/10 にすぎません。この優れた耐クリープ性は、チタンとジルコニウムの溶液強化と超硬粒子のピン留めによるものです。炭化物粒子は、粒界の滑りや転位の上昇を効果的に防ぎ、クリーププロセスを遅らせることができます。

長期安定性は、高温用途における TZM モリブデンロッドの重要な利点です。原子炉では、TZM モリブデンロッドは、安定した性能を維持するために高温・高放射線環境で数年間運転する必要がある構造部品です。研究によると、TZM モリブデンロッドは 1600°C 以下で最大 5000 時間安定した性能を維持できることが示されていますが、純粋なモリブデンは通常、同じ条件下で 1000 時間以内に大幅なクリープを受けます。結果は、TZM モリブデンロッドの長期安定性が、その微細粒子構造と均一な炭化物分布に密接に関連していることを示しています。

クリープ特性に対する製造プロセスの影響は無視できません。粉末冶金プロセスにおける焼結温度と圧力を最適化することにより、粒径と炭化物の分布を制御でき、クリープ抵抗が向上します。例えば、焼結温度が低い(約 1800°C)と、粒子が細くなり、耐クリープ性が向上します。さらに、エージングなどの熱処理プロセスは、炭化物粒子の析出を促進することができ、長期安定性をさらに向上させることができます。

3.2.4 TZM モリブデンロッドの疲労性能とリサイクル能力

高温周期的な圧力の下での TZM モリブデン棒の疲労性能は純粋なモリブデンのそれよりよいです。1200°C および ±200 MPa の周期的な圧力条件の下で、純粋なモリブデンのそれであるが、TZM のモリブデン棒の疲労の寿命は 10⁵ のサイクルに達することができる。この優れた疲労性能は、その高い強度と韌性に加え、炭化物粒子によるき裂伝播を抑制することによるものです。その結果、TZM モリブデンロッドの疲労亀裂進展率は純モリブデンの約 1/3 であり、より強い耐疲労性を示しています。

リサイクルする能力は、高温サイクリング環境での TZM モリブデンロッドの重要な特性です。例えば、高温炉では、加熱と冷却を繰り返す中で安定した性能を維持するための発熱体として TZM モリブデンロッドが使用されています。テストでは、TZM モリブデンロッドは、1000°C から室温までのサイクルで数千サイクルに耐えることができ、性能が大幅に低下することが示されています。この真円性により、高温炉や半導体装置製造に広く使用されています。

疲労性能とリサイクル能力の向上は、表面品質と微細構造にも関連しています。表面研磨は、表面の欠陥を減らし、疲労亀裂の発生可能性を減らすことができます。焼きなましな

著作権および法的責任に関する声明

どの熱処理プロセスにより、加工応力を排除し、疲労寿命を延ばすことができます。さらに、酸化防止コーティングを添加することで、高温サイクル中の酸化損失を減らし、サイクル寿命を延ばすことができます。

3.3 TZM モリブデンロッドの組織と物性の関係

TZM モリブデンロッドの特性は、結晶粒構造と配向、チタン、ジルコニウム、炭素の役割、表面形態、高温特性など、その微細構造と密接に関連しています。以下では、これら3つの側面から詳細な分析を行います。

3.3.1 TZM モリブデンロッドの粒構造と配向

TZM モリブデンロッドの粒状構造は、通常、粒径が10~50ミクロンの粉末冶金プロセスによって制御されます。細かい粒度は、材料の強度と靱性を高め、高温での粒界の滑りとクリープを減らします。研究によると、TZM モリブデンロッドは、炭化物粒子を形成することにより結晶粒の成長を阻害するチタン、ジルコニウム、炭素の添加により、純粋なモリブデン(約50~100ミクロン)よりも粒径が小さいことが示されています。

グレインオリエンテーションは、TZM モリブデンロッドの性能にも重要な影響を与えます。圧延または鍛造プロセス中に、TZM モリブデンロッドの粒子は加工方向に沿って特定の配向を形成し、異方性を示します。圧延方向に沿った引張強度は、通常、垂直方向よりも約10~15%高くなります。その結果、圧延温度と変形を制御することで、結晶粒の配向を最適化し、材料の機械的特性を改善できることがわかりました。例えば、熱間圧延(約1400°C)は、より均一な粒度を得ることができ、高温での強度を高めることができます。

結晶粒構造の最適化は、熱処理プロセスにも関連しています。アニーリングは、処理ストレスを軽減し、粒径を調整することができます。エージング処理により、炭化物粒子の析出が促進され、粒界強度が向上します。これらのプロセスを組み合わせることで、高温でのTZM モリブデンロッドの性能安定性が保証されます。

3.3.2 チタン、ジルコニウム、カーボンの役割

チタン、ジルコニウム、カーボンは、TZM モリブデンロッドの性能を向上させるための重要な要素であり、その役割は主に次の側面に反映されています。

チタン(Ti):チタンは、溶液強化によりモリブデンマトリックスの格子強度を向上させます。モリブデン格子中のチタン原子の固溶体は、格子の歪みを引き起こし、転位の動きを妨げ、それによって高温強度と耐クリープ性を向上させます。さらに、チタンは炭素と反応して炭化チタン(TiC)粒子を形成し、沈殿強化を通じて材料の硬度と耐摩耗性を向上させます。ジルコニウム(Zr):ジルコニウムはチタンと同様に作用し、溶液の強化と沈殿の強化により材料の強度と安定性を向上させます。ジルコニウムは炭素と反応して炭化ジルコニウム(ZrC)粒子を形成し、高温で粒界を固定することができ、結晶粒の成長を防ぎ、再結晶温度を上昇させます。ジルコニウムはまた、TZM モリブデンロッドの耐酸化性を高めます。

著作権および法的責任に関する声明

カーボン(C):カーボンの添加は、TZM合金の性能向上の中核です。炭素とチタンおよびジルコニウムとの反応によって生成される炭化物粒子は、モリブデンマトリックス中に均一に分布しており、転位と粒界をピン留めすることにより、材料の強度、耐クリープ性、および再結晶温度が向上します。研究によると、炭化物粒子のサイズと分布は、炭素含有量が0.01~0.04%のときに最適な状態に達することが示されています。

公開されている情報によると、チタン、ジルコニウム、カーボンの相乗効果により、TZMモリブデンロッドは純粋なモリブデンよりもはるかに効率的です。たとえば、1400°Cでは、TZMモリブデンロッドの引張強度は純粋なモリブデンの約2倍であり、クリープ率は約90%減少します。

3.3.3 TZM モリブデンロッドの表面形態と高温特性

TZMモリブデンロッドの表面形態は、その高温性能に重要な影響を及ぼします。表面欠陥(微小亀裂、空隙率など)は応力集中点となり、高温での亀裂の伝播につながる可能性があります。表面トポグラフィーは、表面研磨、プラズマ溶射、またはコーティング技術によって大幅に改善し、高温性能を向上させることができます。

高温酸化環境では、TZMモリブデンロッドの表面形態が変化して、緻密なMoO₂保護層を形成します。この保護層の形成は、表面品質と密接に関連しています。研究によると、表面仕上げの高いTZMモリブデンロッドは、より均一な酸化物層を形成でき、それによって耐酸化性が向上することが示されています。さらに、モリブデンシリサイドコーティングなどの抗酸化コーティングは、表面トポグラフィーをさらに改善し、高温酸化環境での材料の寿命を延ばすことができます。

表面トポグラフィーは、TZMモリブデンロッドの耐熱衝撃性にも影響します。滑らかな表面は熱応力の集中を減らし、熱衝撃の抵抗を改善します。航空宇宙分野では、TZMモリブデンロッドの表面は、高温サイクル環境の要件を満たすために精密に機械加工されることがよくあります。

3.4 TZM モリブデンロッドの寿命と信頼性

TZMモリブデンロッドの寿命と信頼性は、高温および高ストレス環境でのアプリケーションの主要な指標です。以下は、寿命に影響を与える要因、故障モード分析、信頼性テストの3つの側面からの詳細な分析です。

3.4.1 TZM モリブデンロッドの寿命に影響を与える要因

TZMモリブデンロッドの寿命は、動作温度、応力レベル、周囲雰囲気、製造プロセス、表面処理など、さまざまな要因の影響を受けます。

動作温度:温度は、TZMモリブデンロッドの寿命に影響を与える主要な要因です。1600°C未満では、TZMモリブデンロッドは長期安定性を維持できます。ただし、1800°Cを超えると、酸化速度とクリープ速度が大幅に増加し、寿命が短くなります。

ストレスレベル:高いストレスは、クリープと疲労破壊を加速させる可能性があります。

著作権および法的責任に関する声明

す。例えば、1400°C、50MPa の応力では、TZM モリブデンロッドの寿命は純モリブデンの約 1/3 です。

周囲雰囲気:真空または不活性ガス中では、TZM モリブデンロッドの寿命は数千時間に達することがあります。酸化性のある環境では、寿命を延ばすために酸化防止コーティングが必要です。

生産プロセス:粉末冶金プロセスにおける焼結温度、圧力、および熱処理プロセスは、粒径と炭化物の分布に直接影響し、それが寿命に影響を与えます。プロセスを最適化することで、寿命を 20~30%延ばすことができます。

表面処理:酸化防止コーティングと表面研磨により、酸化と亀裂の発生を減らし、寿命を延ばすことができます。例えば、シリサイドモリブデンコーティングは、1200°C の酸化環境下で TZM モリブデンロッドの寿命を 2~3 倍に延ばすことができます。

3.4.2 TZM モリブデンロッドの故障モード解析(破壊、腐食など)

TZM モリブデンロッドの故障モードには、主に破壊、腐食、クリープ破壊が含まれます。

破壊:破壊は通常、疲労または熱応力によって引き起こされます。高温サイクルでは、表面の欠陥が亀裂の伝播を引き起こし、脆性または延性破壊につながる可能性があります。結果は、TZM モリブデンロッド(15-20 Mpa · m^{1/2})の破壊靱性が純粋なモリブデンのそれよりも高いことを示していますが、破壊リスクを減らすために表面品質を最適化する必要があります。

腐食:高温酸化環境では、酸化層の剥離により TZM モリブデンロッドが故障する可能性があります。揮発性の MoO₃(粒子)の形成は、材料の損失を加速させます。酸化防止コーティングは、腐食を効果的に遅らせることができます。

クリープ破壊:長期にわたる高温応力はクリープ破壊につながる可能性があり、これは材料のゆっくりとした変形と強度の損失によって現れます。炭化物粒子のピン留め作用により、クリープ速度は大幅に減少しますが、それでも高い応力は故障につながる可能性があります。

故障モード分析は、表面品質とコーティング技術の最適化が TZM モリブデンロッドの寿命を改善するための鍵であることを示しています。例えば、CVD によって堆積されたアルミナコーティングは、酸化腐食を大幅に低減することができます。

3.4.3 TZM モリブデンロッド信頼性試験

TZM モリブデンロッドの信頼性試験には、通常、高温強度試験、クリープ試験、熱衝撃試験、疲労試験が含まれます。

高温強度試験:引張強度と降伏強度は、材料が設計要件を満たしていることを確認す

著作権および法的責任に関する声明

るために、引張試験機によって 1200～1600℃ で試験されます。

クリープ試験:1400℃ および 20-50Mpa 応力でのクリープ率を試験して、長期安定性を評価します。試験結果は、TZM モリブデンロッドのクリープ寿命が純粋なモリブデンのクリープ寿命をはるかに超えていることを示しています。

熱衝撃試験:耐熱衝撃性は、急速な加熱および冷却サイクル(1000℃ から室温)によって試験されます。TZM モリブデンロッドは通常、亀裂が入ることなく数百サイクルに耐えることができます。

疲労試験:1200℃ および±200Mpa の周期的ストレス下での疲労寿命をテストして、周期的能力を評価します。

信頼性試験の結果は、TZM モリブデンロッドが高温および高ストレス環境で優れた信頼性を持ち、航空宇宙、原子力産業、半導体製造での使用に適していることを示しています。厳格な品質管理とテストを通じて、TZM モリブデンロッドの信頼性は 99.9%以上に達することができます。



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

4. TZM モリブデンロッドの調製プロセスと技術

4.1 TZM モリブデンロッドの原料の選択と調製

高性能合金材料として、TZM モリブデンロッドの性能は、原材料の品質と比率に大きく依存します。原材料の選択と調製は、最終製品の微細構造と特性に直接影響する TZM モリブデンロッドの調製の基礎です。以下は、モリブデン粉末の精製、チタンジルコニウム炭素添加剤の選択、合金比の最適化、原材料試験、品質管理の 4 つの側面からの詳細な分析です。

著作権および法的責任に関する声明

4.1.1 モリブデン粉末の精製と品質要件

モリブデン粉末は TZM モリブデンロッドの主原料であり、その純度と品質は合金特性にとって重要です。モリブデン粉末は、通常、パラタングステン酸アンモニウムを還元することによって調製されます。精製プロセスは、主に次の手順で構成されています。

鉍石の精製:モリブデン粉末は通常、モリブデンなどのモリブデン濃縮物から抽出されます。モリブデン鉍は、浮選と焙煎を受けて硫黄やシリコンなどの不純物を取り除き、高純度の三酸化モリブデンを得ます。

化学還元:三酸化モリブデンは、水素雰囲気下で段階的にモリブデン粉末に還元されます。還元プロセスは、低温還元(400-600°C、 MoO_3)と高温還元(800-1000°C、モリブデン金属粉末)に分けられます。この研究は、現代の還元プロセスが多段式還元炉を採用して、モリブデン粉末の純度が 99.95%以上に達することを確実にすることを示しています。

粒度制御:モリブデン粉末の粒度は通常 1~5 ミクロンに制御され、粒度が大きすぎると焼結が不均一になり、粒度が小さすぎると製造コストが増加します。微細で均一な粒子サイズは、TZM モリブデンロッドの密度と機械的特性を改善するのに役立ちます。

モリブデン粉末の品質要件には、高純度($\geq 99.95\%$)、低酸素含有量($\leq 0.005\%$)、低不純物含有量(鉄、シリコン、アルミニウムなど $\leq 0.01\%$)、および均一な粒度分布が含まれます。これらの要件により、高温での TZM モリブデンロッドの安定性と耐食性が保証されます。

4.1.2 チタン、ジルコニウム、炭素添加剤の選択

TZM モリブデンロッドの合金元素には、チタン(Ti、0.4-0.55%)、ジルコニウム(Zr、0.06-0.12%)、および炭素(C、0.01-0.04%)が含まれ、これらの添加剤の選択は合金特性にとって重要です。

チタン(Ti):チタンは通常、高純度のチタン粉末(純度 99.9%)またはチタン化合物(TiH_2 など)の形で添加されます。チタン粉末の粒径は 1~10 ミクロンに制御され、モリブデン粉末との均一な混合を確保します。チタンを添加すると、溶液強化と析出強化(TiC 粒子の生成)により、合金の高温強度と耐クリープ性が向上します。

ジルコニウム(Zr):ジルコニウムは、高純度のジルコニウム粉末(純度 $\geq 99.9\%$)またはジルコニウム化合物(ZrH_2 など)の形で、通常は 1~5 ミクロンの粒子サイズで添加されます。ジルコニウムは、溶液の強化と ZrC 粒子の形成により、合金の耐酸化性と再結晶温度を向上させます。

カーボン(C):カーボンは通常、グラファイトパウダーまたはカーボンブラックの形で添加され、純度は 99.99%以上に達する必要がある、粒子サイズは 0.5~2 ミクロンに制御されます。炭素はチタンおよびジルコニウムと反応して炭化物粒子(TiC および ZrC)を形成し、沈殿によって強化されて合金の硬度と耐クリープ性が向上します。

研究によると、添加剤は、その化学活性、粒度分布、およびモリブデン粉末との適合性に

著作権および法的責任に関する声明

基づいて選択されます。例えば、チタンやジルコニウムの水素化物は、焼結過程で分解して水素を放出するため、酸素含有量を減らし、合金の純度を向上させることができます。

4.1.3 合金比の最適化

TZM モリブデンロッド (Mo:99.38-99.5%、Ti:0.4-0.55%、Zr:0.06-0.12%、C:0.01-0.04%) の合金比は、強度、靱性、耐酸化性のバランスをとるために、実験とシミュレーションを通じて最適化する必要があります。比率最適化の要点は次のとおりです。

チタンとジルコニウムの比率:チタンとジルコニウムの比率は通常 5:1 から 8:1 で、溶液強化の相乗効果を確保します。チタン含有量が高すぎると脆性が増し、ジルコニウム含有量が高すぎるとコストが増加する可能性があります。

炭素含有量制御:炭素含有量は 0.01~0.04% で正確に制御する必要があります。低すぎると炭化物粒子が不十分になり、強化効果が低下します。高すぎると、炭化物の形成が過剰になり、靱性が低下する可能性があります。

均質性:モリブデン粉末中のチタン、ジルコニウム、炭素の均一な分布は、性能に影響を与える局所的な偏析を避けるために、機械的な混合またはボールミリングプロセスによって保証されます。

結果は、最適な比率が TZM モリブデンロッドの引張強度を 10~15% 増加させ、クリープ率を 20~30% 減少させることができることを示しています。

4.1.4 原材料の試験と品質管理

原材料の品質管理は、TZM モリブデンロッドの性能の一貫性を確保するための重要な部分です。アッセイには以下が含まれます。

化学組成分析:誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES)または蛍光 X 線分光法(XRF)を使用して、モリブデン、チタン、ジルコニウム、および炭素の含有量を検出し、比率の要件が満たされていることを確認しました。

粒度分析:粉末の粒度分布は、レーザー粒度分析装置によって測定され、粒度の均一性を確保します。

不純物検出:グロー放電質量分析(GDMS)は、酸素、窒素、鉄などの不純物の含有量を検出し、標準限界を下回っていることを確認するために使用されます。

微細構造解析:走査型電子顕微鏡(SEM)と X 線回折(XRD)を使用して、粉末のトポグラフィと結晶構造を分析し、欠陥や偏析がないことを確認します。

調査によると、TZM モリブデンロッドの世界有数の生産者は、ISO 9001 品質管理システムを使用して、マルチレベルのテストを通じて原材料の品質を確保しています。品質管理には、原材料の一貫性とトレーサビリティを保証するためのサプライヤー監査、バッチ追跡、および生産プロセス監視も含まれます。

著作権および法的責任に関する声明

4.2 TZM モリブデンロッド冶金プロセス

TZM モリブデンロッドの冶金学的プロセスには、粉末の混合とプレス、焼結、鍛造と圧延、押出しと絞りなどのステップが含まれます。これらのプロセスは、TZM モリブデンロッドの微細構造と特性を直接決定します。以下では、各サブプロセスの詳細と技術的なポイントについて分析します。

4.2.1 粉末の混合とプレス

4.2.1.1 メカニカルアロイ化技術

メカニカルアロイ化は、モリブデン粉末、チタン粉末、ジルコニウム粉末、トナー粉末を高エネルギーボールミルで均一に混合する TZM モリブデンロッドの調製における重要なステップです。メカニカルアロイの主なパラメータは次のとおりです。

ボールミル装置:遊星ボールミルまたは振動ボールミル、粉碎媒体は通常炭化タンクステン粉末ボールです。

ペレット比:通常 10:1 から 20:1 で、効率的な混合と粉碎を保証します。

粉碎時間:6~12 時間、長すぎると不純物が混入する可能性があり、短すぎると均一に混ざりません。

雰囲気制御:酸化を避けるためにアルゴンまたは窒素の保護下で実施されます。

メカニカルアロイは、粉末の均一な混合を実現するだけでなく、高エネルギー衝突による微細構造変化により、チタン、ジルコニウム、モリブデンの固溶体効果を高めます。研究によると、メカニカルアロイ化は粉末の混合均一性を 99%以上に向上させ、その後の焼結の品質を大幅に向上させることができることが示されています。

4.2.1.2 静水圧プレスプロセス

静水圧プレス成形(CIP)は、混合粉末をブランクにプレスするための重要なプロセスです。静水圧成形は、水や油などの液体媒体に均一な圧力を加えることにより、ブランクの密度を均一にします。主なパラメータは次のとおりです。

圧力:150-300 MPa、高すぎるとペレットに亀裂が生じる可能性があり、低すぎると密度が不十分になります。

金型材料:高強度ゴムまたはポリウレタン金型、耐圧性、優れた柔軟性。

ペレット密度:理論密度の 60~70%で、その後の焼結の基礎を提供します。

静水圧プレスの利点は、複雑な形状のブランクを準備できるため、その後の処理量を減らすことができることです。研究によると、冷間静水圧プレス(CIP)と熱間静水圧プレス(HIP)の組み合わせにより、ペレットの密度を理論密度の 90%以上にさらに増加させることができます。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

4.2.2 焼結プロセス

4.2.2.1 真空焼結技術

真空焼結は、TZM モリブデンロッドの調製における中核的なプロセスであり、高温焼結によりブランクを高密度合金に固化します。主なパラメータは次のとおりです。

温度:1800-2000°C、モリブデンの融点(2623°C)よりも低く、液相焼結を避けてください。

真空:酸素と窒素の汚染を減らすための 10^{-3} - 10^{-5} Pa。

保持時間:炭化物粒子の均一な沈殿を確保するための 2~4 時間。

真空焼結は、ブランクの細孔を効果的に除去し、密度を理論密度の 98%以上に高めることができます。世界をリードする真空焼結炉は、_タングステンワイヤー発熱体を使用して温度均一性を確保しています。

4.2.2.2 雰囲気焼結と温度制御

場合によっては、TZM モリブデンロッドを雰囲気(水素やアルゴン雰囲気など)で焼結してコストを削減することもあります。雰囲気焼結の主なパラメータは次のとおりです。

雰囲気:高純度の水素(純度 $\geq 99.999\%$)またはアルゴン、酸化を避けてください。

温度制御:急激な温度上昇による亀裂を避けるために、多段加熱曲線(1000°C の予備焼結、1800°C の主焼結など)が使用されます。

冷却速度:熱応力による亀裂を防ぐために $5\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ に制御されています。

雰囲気焼結の利点は、コストが安いことですが、不純物による汚染を避けるためには、雰囲気の純度を厳密に制御する必要があります。研究によると、雰囲気焼結 TZM モリブデンロッドの密度は理論密度の 95~97%に達する可能性があります。

4.2.3 鍛造と圧延

4.2.3.1 熱間鍛造および冷間鍛造プロセス

鍛造は、ブランクの密度と機械的特性を改善するための TZM モリブデンロッドの調製における重要なステップです。熱間鍛造と冷間鍛造のプロセスは次のとおりです。

熱間鍛造:1200~1600°C で行われ、モリブデンの延性を利用して結晶粒構造を改善します。熱間鍛造圧力は通常 $50\sim 100\text{MPa}$ で、変形は $30\sim 50\%$ に制御されます。

冷間鍛造:仕上げと表面品質の向上のために室温で行われます。冷間鍛造は、より高い圧力($100\sim 200\text{MPa}$)を必要としますが、強度を大幅に向上させることができます。

著作権および法的責任に関する声明

熱間鍛造は、焼結ブランクの微細孔を排除し、密度を理論密度の 99%以上に増加させます。冷間鍛造は、粒子の配向をさらに最適化し、異方性強度を高めます。

4.2.3.2 圧延装置とプロセスパラメータ

圧延は、鍛造ブランクをバーに加工するための重要なプロセスです。圧延装置には、4つの高い圧延機と複数の高い圧延機が含まれ、主なパラメータは次のとおりです。

圧延温度:材料の延性を確保するために 1000-1400°C。

変形:単一の圧延の変形は、亀裂を避けるために 10~20%に制御されます。

圧延速度:0.5-2 m/s、効率と品質のバランス。

圧延プロセスは、TZM モリブデンロッドの表面品質と寸法精度を大幅に向上させることができます。この研究は、現代の圧延装置がサーボ制御システムを採用して、圧延パラメータの正確な制御を確実にすることを示しています。

4.2.4 押し出しと絞り

4.2.4.1 高温押出技術

高温押出成形は、圧延ブランクを通常は 1200~1600°C の細長いバーに加工するプロセスです。主なパラメータは次のとおりです。

押し出し比:5:1~10:1 で均一な変形を確保します。

金型材料:炭化タングステンまたは高温合金、耐摩耗性、耐高温性。

潤滑剤:グラファイトまたは 二硫化モリブデン により、摩擦と金型の摩耗を低減します。

高温押し出しは、高精度バーの調製に適した TZM モリブデンバーの密度と機械的特性を大幅に改善できます。

4.2.4.2 ダイと潤滑剤の絞り

絞り加工とは、TZM モリブデンロッドを仕上げで高精度で滑らかな表面を得るプロセスです。主なパラメータは次のとおりです。

金型材料:炭化タングステンまたはダイヤモンド金型、高硬度、耐摩耗性。

描画速度:表面の傷を避けるために 0.1-0.5 m/s。

潤滑剤:乾式潤滑(グラファイト粉末など)または湿式潤滑(油性潤滑剤など)。

延伸プロセスは TZM のモリブデン棒の表面の粗さを改善し、疲労抵抗を改善することができます。

4.3 TZM モリブデンロッドの加工と仕上げ

TZM モリブデンロッドの機械加工および仕上げプロセスには、旋削およびフライス加工、研削および研磨、熱処理および焼鈍、および表面処理が含まれます。これらのプロセスは、TZM モリブデンロッドの寸法精度、表面品質、および性能安定性を保証します。

4.3.1 旋削とフライス加工

4.3.1.1 CNC 加工技術

数値制御加工(CNC)は、複雑な形状の部品を製造するための TZM モリブデンロッドを仕上げる主要な方法です。主なパラメータは次のとおりです。

工具材質: タングステンカーバイドまたは多結晶ダイヤモンド(PCD)、高硬度、耐磨耗性。

切削速度: 50-100 m/min、過熱を避けてください。

送り: 0.05-0.2 mm/rev、効率と表面品質のバランス。

CNC 加工により、TZM モリブデンロッドの寸法精度は $\pm 0.05\text{mm}$ に達し、航空宇宙および半導体装置の要件を満たします。研究によると、最新の CNC マシニングセンターは、5 軸リンケージ技術を使用して複雑な形状を加工できることが示されています。

4.3.1.2 加工精度と表面粗さ

TZM モリブデンロッドの加工精度と表面粗さは、その性能に重要な影響を与えます。表面粗さ(Ra)を大きくすると、応力集中と亀裂の発生が減少します。加工精度の制御は、高精度の工作機械とプロセスパラメータの厳密な最適化に依存しています。たとえば、低速切削とクーラントを使用すると、熱影響部を減らし、表面品質を向上させることができます。

4.3.2 研削と研磨

4.3.2.1 機械研磨技術

機械研磨は、TZM モリブデンロッドの表面の小さな欠陥を砥石または研磨布で除去し、表面仕上げを改善します。主なパラメータは次のとおりです。

研磨剤: ダイヤモンドまたはアルミナ、粒子サイズ 0.5-5 ミクロン。

研磨速度: 1000-3000 rpm、摩擦熱を制御します。

研磨媒体: 水性または油性研磨スラリー。

機械研磨により、表面粗さが改善され、耐疲労性が大幅に向上します。

4.3.2.2 化学研磨と電解研磨

化学研磨と電解研磨は、TZM モリブデンロッドの表面品質をさらに改善するために使用されます。

化学研磨: 表面粗さが最大 0.02 ミクロンの酸性溶液(硝酸と硫酸の混合物など)による表面の微小欠陥の腐食。

著作権および法的責任に関する声明

電解研磨:電解液に陽極溶解することにより表面材料を除去するもので、高精度部品に適しています。電解研磨電圧は通常 10~20V で、電流密度は 0.5~2A/cm²です。

化学研磨と電解研磨は、TZM モリブデンロッドの耐食性と表面仕上げを大幅に改善できます。

4.3.3 熱処理と焼鈍

4.3.3.1 焼鈍温度と粒度制御

アニーリングは、加工応力を緩和し、結晶粒構造を最適化するための重要なプロセスです。TZM モリブデンロッドのアニーリングは、通常、1000~1400°C の温度で真空または不活性雰囲気で行われます。主なパラメータは次のとおりです。

アニーリング温度:1200°C でほとんどの応力を緩和し、1400°C で粒度を調整します。

保持時間:穀物の均質化を確実にするために 1~2 時間。

冷却速度:熱ストレスを避けるために 5-10°C/min。

アニーリングは、TZM モリブデンロッドの粒径を 10~30 ミクロンに制御でき、靱性と耐クリープ性を向上させます。

4.3.3.2 ストレス解消法

応力緩和技術には、低温焼鈍(800-1000°C)と振動応力緩和が含まれます。低温焼鈍は機械加工部品に適しており、振動応力緩和は機械的振動によって残留応力を緩和します。これらの技術により、TZM モリブデンロッドの疲労寿命と寸法安定性を向上させることができます。

4.3.4 表面処理

4.3.4.1 酸化防止コーティング技術

酸化防止コーティングは、高温酸化環境で TZM モリブデンロッドの寿命を延ばすための重要な技術です。一般的に使用されるコーティングには、次のようなものがあります。

シリサイドモリブデン(MoSi₂)コーティング:化学気相成長(CVD)またはプラズマ溶射蒸着による蒸着により、材料は 1500°C で保護されます。

アルミナ(Al₂O₃)コーティング:物理蒸着(PVD)による高温酸化および腐食に耐性があります。

酸化防止コーティングは、1200°C の酸化環境での TZM モリブデンロッドの寿命を 2~3 倍延長できます。

著作権および法的責任に関する声明

4.3.4.2 表面浸炭と窒化

表面浸炭および窒化は、TZM モリブデンロッドの表面に炭素原子または窒素原子を導入することにより、表面硬度と耐摩耗性を向上させます。

浸炭:1000~1200°C の炭素雰囲気の実施され、最大 500HV の硬度の炭化物層が生成されます。

窒化:800~1000°C の窒素雰囲気の実施され、窒化物層を生成し、耐食性を向上させます。

浸炭および窒化プロセスは、TZM モリブデンロッドの耐摩耗性と耐疲労性を大幅に向上させることができます。

4.4 TZM モリブデンロッド製造設備と自動化

TZM モリブデンロッドの生産設備と自動化技術は、生産効率と製品品質にとって非常に重要です。以下は、主要な生産設備、生産ラインの自動化とインテリジェンス、クリーンルームと環境制御の3つの側面から分析されます。

4.4.1 主要な生産設備

4.4.1.1 真空焼結炉

真空焼結炉は、粉末ブランクを高密度合金に焼結するために使用される TZM モリブデンロッドの製造における中核装置です。主な機能は次のとおりです。

発熱体: タングステンヒーター、高温耐性、均一な熱伝導。

真空: 酸化汚染を減らすための 10^{-3} - 10^{-5} Pa。

温度制御: 焼結の均一性を確保するために 5°C の精度±。

世界をリードする真空焼結炉は、多段加熱と正確な温度制御を実現できる PLC 制御システムを採用しています。

4.4.1.2 鍛造および圧延設備

鍛造および圧延装置には、油圧鍛造機と 4 段圧延機が含まれ、主な特徴は次のとおりです。

鍛造機: 圧力 500-2000 トン、熱間鍛造および冷間鍛造に適しています。

圧延機: サーボ制御システム、圧延速度 0.5-2 m/s、精度±0.05mm。

これらの機械は、TZM モリブデンロッドの高密度・高精度加工が可能です。

4.4.1.3 CNC マシニングセンター

CNC マシニングセンターは、TZM モリブデンロッドの仕上げに使用され、5 軸リンケー

著作権および法的責任に関する声明

ジシステムと炭化タングステン工具が装備されており、複雑な形状の加工を実現できます。加工精度は $\pm 0.01\text{mm}$ に達し、表面粗さ $Ra < 1.6$ ミクロンです。

4.4.2 生産ラインの自動化とインテリジェンス

TZM モリブデンロッド生産ラインの自動化とインテリジェンスにより、生産効率と品質の一貫性が大幅に向上します。主なテクノロジーは次のとおりです。

自動制御:PLC および SCADA システムは、焼結、鍛造、および処理パラメータをリアルタイムで監視するために使用されます。

インテリジェント検査:インライン X 線検査と超音波検査により、ブランクと完成品の欠陥をリアルタイムで監視します。

データ分析:ビッグデータと人工知能を活用して、プロセスパラメータを最適化し、製品の一貫性を向上させます。

調査によると、インテリジェントな生産ラインは生産効率を 30%向上させ、不良率を 1%未満に減らすことができます。

4.4.3 生産におけるクリーンルームと環境制御

TZM モリブデンロッドの製造は環境的に厳しいため、粉塵や不純物の汚染を避けるためにクリーンルームで行う必要があります。主な対策は次のとおりです。

清浄度:ISO クラス 7 のクリーンルーム、粒子濃度 $< 10,000$ 粒子/ m^3 。

環境制御:温度 $20\text{-}25^\circ\text{C}$ 、湿度 $40\text{-}60\%$ 、粉末の水分吸収を避けてください。

雰囲気保護:粉末の混合と焼結は、酸素含有量が < 10 ppm のアルゴンまたは水素の保護下で行われます。

クリーンルームと環境制御により、TZM モリブデンロッドの高純度と性能安定性が確保されるため、半導体および航空宇宙用途に特に適しています。



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

5. TZM モリブデンロッドの品質管理と試験

高性能合金材料として、TZM モリブデンロッドの品質管理と検査は、高温、高応力、腐食性の環境で安定した動作を確保するための鍵です。品質管理は、原材料の選択から完成品の検査まで、オンラインテスト技術、パフォーマンステスト、故障分析などの複数の側面を含む、生産プロセス全体を通じて行われます。以下は、オンラインテスト技術、パフォーマンステスト、および故障分析と改善の3つのサブチャプターからのTZM モリブデンロッドの品質管理およびテスト技術の詳細な分析です。

5.1 TZM モリブデンロッドオンライン検出技術

インライン検査技術は、TZM モリブデンロッドの製造プロセスの重要な部分であり、製品の品質をリアルタイムで監視し、寸法精度、表面品質、内部構造の完全性を確保するために使用されます。以下は、寸法および幾何学的精度検査と表面欠陥および亀裂検出の2つの側面からの詳細な分析です。

5.1.1 寸法および幾何学的精度試験

TZM モリブデンロッドのサイズと幾何学的精度は、航空宇宙、原子力産業、半導体装置への適用効果に直接影響します。寸法および幾何学的精度テストには、主に次のテクノロジーが含まれます。

レーザー測距と3座標測定:レーザー距離計は、TZM モリブデンロッドの直径、長さ、真円度の検出に適した $\pm 0.01\text{mm}$ の精度で非接触高精度測定を実現できます。三次元測定機(CMM)は、触覚プローブでバーの形状を測定し、複雑な形状の寸法偏差を検出することができます。例えば、航空宇宙産業では、TZM モリブデンロッドは $\pm 0.02\text{mm}$ 以内の直径公差を持つ必要があり、CMMはこの要件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

光学式形状測定機:光学式形状測定器は、白色光干渉法によって TZM モリブデンロッドの表面形状と形状を測定するもので、バーの円筒度と真直度を検出するのに適しています。最大 0.1 ミクロンの分解能で、高精度のアプリケーションに適しています。

オンライン目視検査システム:現代の生産ラインは、CCD カメラと画像処理技術を採用して、TZM モリブデンロッドのサイズと形状をリアルタイムで監視しています。このシステムは、機械学習アルゴリズムを使用して寸法の偏差を特定し、検出速度は毎秒 10 個に達することができるため、生産効率が大幅に向上します。

研究によると、寸法および幾何学的精度の検査は、TZM モリブデンロッドが航空宇宙(ロケットノズルなど)や半導体装置(スパッタリングターゲットなど)の厳しい要件を満たしていることを確認するために、ISO 1101 規格と組み合わせられることがよくあります。周囲温度(20~25°C)と湿度(40~60%)は、熱膨張や湿度による測定エラーを避けるために、検査プロセス中に制御する必要があります。

5.1.2 表面欠陥と亀裂検出

表面の欠陥(引っかき傷、亀裂、多孔性など)と内部の亀裂は、TZM モリブデンロッドの機械的特性と耐用年数を大幅に低下させる可能性があります。表面の欠陥と亀裂の検出には、次の手法を使用します。

超音波探傷試験(UT):超音波探傷は、高周波音波を通じて TZM モリブデン棒内部の亀裂、細孔、介在物を検出します。検査周波数は通常 5~10MHz、プローブの直径は 5~10mm で、0.1mm を超える欠陥を検出できます。超音波検査は、特に原子力産業において、バーの内部構造の完全性を評価するのに適しています。

渦流探傷試験(ET):渦流探傷は、電磁誘導により TZM モリブデン棒の表面の微細な亀裂や導電率変化を検出します。検出感度は 0.05mm に達することができ、インライン検出に適しています。渦流探傷の利点は、高速(最大 1 m/s)であり、大量生産に適していることです。

X線検査(RT):X線検査は、TZM モリブデンロッド内のポロシティや介在物などの深い欠陥を検出するために使用されます。最新のデジタル X線イメージングシステムは、信頼性の高いコンポーネントの検査のために高解像度の画像(解像度<0.1mm)を提供します。

表面目視検査:高解像度 CCD カメラと人工知能アルゴリズムを組み合わせることで、TZM モリブデンロッドの表面の引っかき傷、くぼみ、酸化層を最大 0.01mm の精度で検出できます。研究によると、目視検査システムにより、TZM モリブデンロッドの製造における不良率を 0.5%未満に減らすことができることが示されています。

これらの検査技術は、表面および内部の欠陥の包括的な検査を実現するために、しばしば組み合わせて使用されます。例えば、内部欠陥には超音波検査や X線検査、表面欠陥には渦電流検査や目視検査などが用いられます。試験結果は、ASTM E1444(渦流試験)や ASTM E1742(X線試験)などの国際規格の対象となります。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

5.2 TZM モリブデンロッド性能試験

性能試験は、高温、高応力、および腐食性の環境で TZM モリブデンロッドの性能を評価するための重要なステップです。以下は、高温強度・硬さ試験、耐食性・耐酸化性試験、熱膨張・熱伝導率試験の3つの側面からの詳細な分析です。

5.2.1 高温強度および硬さ試験

TZM モリブデンロッドの高温強度と硬度は、航空宇宙および原子力産業におけるその中核的な性能指標です。テスト方法は次のとおりです。

高温引張試験:1200~1600°C の真空または不活性雰囲気、高温引張試験機(Instron 5980 シリーズなど)を使用して実施されます。試験結果は、1200°C での TZM モリブデンロッドの引張強度が 400~500MPa であり、200~300MPa の純粋なモリブデンよりもはるかに高いことを示しています。このテストは、5°C±の温度制御精度を確保するために、ASTME21 規格に準拠する必要があります。

高温圧縮試験:高温での TZM モリブデンロッドの圧縮強度を評価するために使用され、通常は 1400°C および 50MPa で実行されます。試験結果は、TZM モリブデンロッドの降伏強度が約 300~400 MPa であり、高温金型用途に適していることを示しています。

硬さ試験:ピッカース硬さ試験機(HV)またはロックウェル硬さ試験機(HRC)は、TZM モリブデンロッドの硬さを試験するために使用されます。室温での TZM モリブデンロッドのピッカース硬さは 250~300HV で、200HV の純粋なモリブデンよりも高くなっています。高温硬さ試験(1000°C)では、TZM モリブデンロッドの硬度がわずか 10~15%減少し、優れた高温安定性を示しました。

マイクロ硬度試験:TZM モリブデンロッドの微視的硬度は、ナノインデンテーション技術によって測定され、炭化物粒子(TiC や ZrC など)の強化効果を評価します。試験結果によると、炭化物粒子面積の硬度は最大 500HV でした。

研究によると、高温強度および硬さ試験は、チタン、ジルコニウム、および炭素の強化効果を評価するために、微細構造分析(SEM、XRD など)と組み合わせられています。

5.2.2 耐食性および耐酸化性試験

TZM モリブデンロッドの耐食性と耐酸化性は、高温化学環境での応用の鍵です。テスト方法は次のとおりです。

酸化防止試験:1000~1200°C の空気または酸素雰囲気、TZM モリブデンロッドの酸化重量増加率と酸化物層の厚さを測定しました。試験結果は、TZM モリブデンロ

著作権および法的責任に関する声明

ッドが 1000°C 未満で高密度の MoO₂保護層を形成でき、酸化重量増加率は 0.1 mg /cm² · h 未満であり、純粋なモリブデン(1-2 mg/cm² · h)よりもはるかに優れていることを示しています。シリサイドモリブデンなどの抗酸化コーティングは、使用温度を最大 1500°C まで上昇させることができます。

耐食性試験:希硫酸、塩酸、アルカリ溶液中での腐食速度試験。試験結果は、5%硫酸溶液中の TZM モリブデンロッドの腐食速度が約 0.01 mm /年であり、ステンレス鋼の 0.1 mm /年よりもはるかに低いことを示しています。

電気化学試験:TZM モリブデンロッドの腐食電位と腐食電流密度は、腐食性環境での安定性を評価するために電位動的スキャン法によって測定されます。試験結果は、TZM モリブデンロッドの腐食電位が純粋なモリブデンのそれよりも高いことを示しており、より優れた耐食性を示しています。

研究によると、耐酸化性および耐食性試験は、試験結果の信頼性を確保するために、原子炉の冷却剤や半導体製造雰囲気などの実際のアプリケーション環境と組み合わせる必要があります。

5.2.3 熱膨張と熱伝導率試験

熱膨張と熱伝導率は、高温アプリケーションにおける TZM モリブデンロッドの主要な性能パラメータです。テスト方法は次のとおりです。

熱膨張試験:TZM モリブデンロッドの熱膨張係数は、室温から 1600°C で膨張計 (NETZSCH DIL 402 など)を使用して測定されます。試験結果によると、TZM モリブデンロッドの熱膨張係数は $5.3 \times 10^{-6} / K$ であり、これはニッケル基合金の $13 \times 10^{-6} / K$ よりも低く、優れた寸法安定性を示しています。

熱伝導率試験:TZM モリブデンロッドの熱伝導率をレーザーフラッシュ法(LFA)で測定します。試験結果は、TZM モリブデンロッドの熱伝導率が 139 W /m · K であり、1200°C で 10~15%しか減少しないことを示しています。

熱拡散率試験:レーザーフラッシュ法により密度と比熱データを組み合わせて TZM モリブデンロッドの熱拡散率を計算し、その熱伝導効率を評価します。試験結果は、TZM モリブデンロッドの熱拡散率が高温で安定していることを示しています。

これらの試験は、データの精度と再現性を確保するために、ASTM E228(熱膨張)および ASTM E1461(熱伝導率)規格に準拠する必要があります。試験中は、酸化が測定結果に影響を与えないように、雰囲気(アルゴンや真空など)を制御する必要があります。

5.3 TZM モリブデンロッドの故障解析と改良

故障解析は、TZM モリブデンロッドの品質と信頼性を向上させるための重要な手段であり、亀裂、破壊、高温疲労、クリープなどの故障モードを解析することにより、的を絞った改善策が提案されています。以下、き裂・破壊解析、高温疲労・クリープ解析、品質改

著作権および法的責任に関する声明

善対策の3つの側面から詳細に解析します。

5.3.1 亀裂と破壊の解析

亀裂と破壊は、高温および高応力環境における TZM モリブデンロッドの主な故障モードです。分析方法には、次のようなものがあります。

破壊解析:走査型電子顕微鏡(SEM)により TZM モリブデンロッドの破壊形態を観察し、破壊タイプ(延性破壊または脆性破壊)を決定します。その結果、TZM モリブデンロッドの破壊靱性は $15-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ であり、純粋なモリブデン $10-12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ よりも高いことが示されていますが、高温のサイクル応力によりマイクロクラックが発生する可能性があります。

亀裂伝播解析:電子後方散乱回折(EBSD)は、亀裂伝播経路の解析に使用され、粒界と炭化物粒子の役割を評価します。その結果、炭化物粒子は亀裂の伝播を効果的に妨げ、耐破壊性を向上させることができていることが示されています。

応力集中解析:TZM モリブデンロッドの高温での応力分布を有限要素解析(FEA)によってシミュレートし、亀裂の発生位置を特定します。表面欠陥(引っかき傷、多孔性など)は主要な応力集中です。

研究によると、亀裂や亀裂はしばしば表面品質や微細構造の欠陥と関連していることが示されています。例えば、加工中の表面の傷は疲労亀裂を引き起こし、焼結中の細孔は脆性破壊を引き起こす可能性があります。

5.3.2 高温疲労とクリープ解析

高温疲労とクリープは、長期の高温ストレス環境における TZM モリブデンロッドの主な故障モードです。分析方法には、次のようなものがあります。

高温疲労試験:TZM モリブデンロッドの疲労寿命を評価するために、 1200°C および $\pm 200 \text{ MPa}$ の繰り返し応力下で疲労試験を実施しました。試験結果は、TZM モリブデンロッドの疲労寿命が 10^6 サイクルであり、純粋なモリブデン 10^6 サイクルよりもはるかに高いことを示しています。疲労亀裂は通常、表面の欠陥や粒界から発生し、炭化物粒子は亀裂の伝播を遅らせることができます。

クリープ試験:クリープ試験は、TZM モリブデンロッドのクリープ速度と寿命を測定するために、 1400°C および 20 MPa で実施されました。試験結果は、TZM モリブデンロッドのクリープ率が純粋なモリブデンの約 $1/10$ であり、耐用年数が 5000 時間に達する可能性があることを示しています。クリープ破壊は、主に粒界の滑りと転位の上昇によって引き起こされ、超硬粒子のピン留め効果によりクリープ率が大幅に低下します。

微細構造解析:透過型電子顕微鏡(TEM)を使用して、高温疲労およびクリーププロセス中の TZM モリブデンロッドの転位および粒界変化を観察しました。結果は、チタンとジルコニウムの溶液強化と炭化物粒子の析出強化が、耐疲労性と耐クリープ性を効果的に改善できることを示しています。

研究によると、故障メカニズムを正確に評価するには、高温疲労解析とクリープ解析を、

著作権および法的責任に関する声明

航空宇宙の高温サイクルや長期原子炉運転などの実際のアプリケーション環境と組み合わせる必要があることが示されています。

5.3.3 品質改善対策

故障解析結果に基づいて、TZM モリブデンロッドの品質改善対策には、主に次の側面が含まれます。

最適化された表面品質:機械的、化学的、および電解研磨により、表面粗さが1.6ミクロン未満に減少し、亀裂の発生点が減少します。抗酸化コーティング(シリサイドモリブデン、アルミナなど)は、耐食性をさらに向上させることができます。

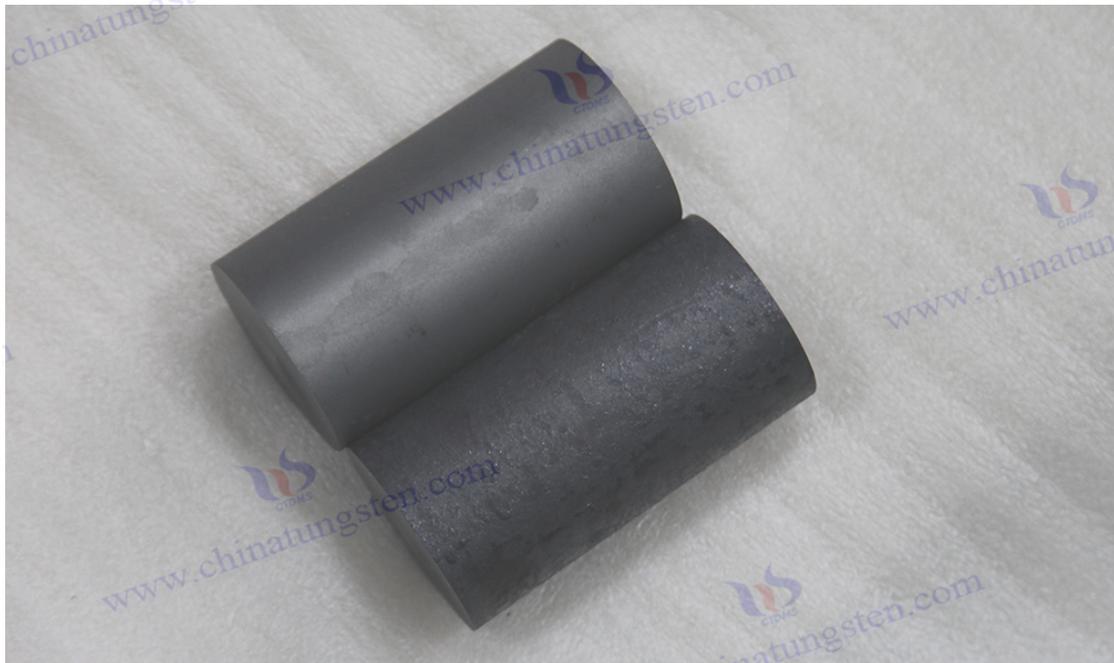
微細構造の改善:粉末冶金プロセスを最適化することにより、より微細な粒子(3.0~5.0ミクロン)が得られます(たとえば、焼結温度を1800°Cに下げ、冷却速度を制御する)疲労と耐クリープ性を向上させます。

生産プロセス制御の強化:オンライン検査技術(超音波、X線など)とインテリジェントな生産ラインを採用して、欠陥と性能パラメータをリアルタイムで監視し、製品の一貫性を確保します。

新しいコーティングの開発:1500°C以上の環境でTZM モリブデンロッドの寿命を改善するための新しい抗酸化および防食コーティング(ナノコンジットコーティングなど)の研究。

品質マネジメントシステム:ISO 9001 および AS9100(航空宇宙)品質管理システムを実装して、原材料から完成品までの品質管理を確保します。

この研究は、上記の改善措置により、TZM モリブデンロッドの不良率を0.5%未満に減らすことができ、耐用年数を20~30%増加させることができることを示しています。



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

著作権および法的責任に関する声明

6. TZM モリブデンロッドの使用

高性能合金材料として、TZM モリブデンロッドは、その優れた高温強度、耐クリープ性、低熱膨張係数、および高い熱伝導性により、多くのハイテク分野で広く使用されています。TZM モリブデンロッド(モリブデン)にチタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、カーボン(C)を添加すると、モリブデンの特性が大幅に向上し、高温炉、航空宇宙、原子力産業、電子および半導体産業、その他の産業および科学分野に最適です。以下は、TZM モリブデンロッドの使用について、5つの側面から詳細に説明しています。

6.1 高温炉での応用

TZM モリブデンロッドは、融点が高い(約 2623°C)、優れた耐クリープ性、耐酸化性を備えているため、高温炉の製造において重要な役割を果たし、1600°C を超える高温環境でも長時間安定して運転できます。以下では、発熱体、真空焼結炉、熱処理炉の3つの側面からその応用を分析します。

6.1.1 発熱体として

TZM モリブデンロッドは、熱伝導率が高く(139W/m・K)、高温変形に対する優れた耐性により、高温炉の発熱体として広く使用されています。純粋なモリブデンと比較して、TZM モリブデンロッドは最大 1400°C の再結晶温度を持ち、高温で微細な粒子構造を維持し、結晶粒の成長による性能低下を回避できます。抵抗炉では、TZM モリブデンロッドが急速な加熱および冷却サイクルに耐えるための発熱体として使用され、長期安定性を維持します。

具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

真空炉: TZM モリブデンロッドは真空環境で発熱体として機能し、1600~1800°C で数千時間運転することができ、金属やセラミックスの焼結に適しています。例えば、チタン合金およびジルコニア焼結炉では、TZM モリブデンロッドは温度の均一性と安定性を確保します。

大気保護炉: アルゴンまたは窒素保護雰囲気では、TZM モリブデンロッドの耐酸化性により、高温酸化ストレスに耐え、耐用年数を延ばすことができます。Chinatungsten オンラインによると、TZM モリブデンロッドの発熱体の寿命は、純粋なモリブデンのそれよりも約 50%長いです。

高温アニーリング炉: TZM モリブデンロッドは、アニーリング炉の発熱体を作るために使用され、高性能合金の熱処理に適した 1400°C 以上の安定した熱場を提供できます。

TZM モリブデンロッドの表面は、通常、酸化性雰囲気での耐久性をさらに向上させるために、酸化防止コーティング(シリサイドモリブデン、MoSi₂など)でコーティングされています。世界有数のストーブメーカーは、産業および科学のニーズを満たすために、高温炉の設計に TZM モリブデンロッドを幅広く使用しています。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

6.1.2 真空焼結炉での応用

真空焼結炉は、高機能材料(セラミックス、金属合金など)を製造するための重要な装置であり、TZM モリブデンロッドは、その高い強度と耐食性から、焼結炉の支持体、つば、発熱体として使用されています。主な用途は次のとおりです。

サポートとつば: TZM モリブデンロッドは、焼結炉用のサポートフレームとつばの製造に使用され、高温での材料の重力と熱応力に耐えることができます。例えば、アルミナの陶磁器の焼結炉では、TZM のモリブデン棒サポートは幾何学的な安定性を維持し、変形を避けます。

高温固定具: TZM モリブデンロッドは、焼結材料を固定し、焼結プロセス中に寸法精度を確保するために使用される固定具に加工されます。熱膨張係数が低い($5.3 \times 10^{-6}/K$)ため、高温でのフィクスチャの安定性が保証されます。

熱電対保護スリーブ: TZM モリブデンロッドは、 $1800^{\circ}C$ を超える真空環境で熱電対を腐食や機械的損傷から保護することができる熱電対保護スリーブの製造に使用されます。

6.1.3 熱処理炉での応用

熱処理炉は金属や合金の焼鈍、焼入れ、焼戻しに使用され、TZM モリブデンロッドは、その優れた耐クリープ性と高い熱伝導性から、熱処理炉の構造部品や発熱体に広く使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

発熱体: TZM モリブデンロッドは、熱処理炉の発熱体として使用され、 $1400 \sim 1600^{\circ}C$ で安定した熱場を提供できるため、高張力鋼およびチタン合金の熱処理に適しています。

炉の内部構造: TZM モリブデンロッドは、高温での材料の重量と熱応力に耐えることができる炉支持フレーム、トレイ、パーティションの製造に使用されます。例えば、航空宇宙部品の熱処理炉では、TZM モリブデンロッドサポートが長期安定性を維持します。

雰囲気制御: 水素またはアルゴン雰囲気の熱処理炉では、TZM モリブデンロッドの耐食性により、化学攻撃に耐え、炉の寿命を延ばすことができます。

結果は、熱処理炉に TZM モリブデンロッドを適用すると、炉内の温度均一性を $\pm 5^{\circ}C$ 以内に制御し、熱処理品質を大幅に向上させることができることを示しています。世界の熱処理炉メーカーは、航空宇宙産業や自動車産業のニーズを満たすために、ハイエンド機器に TZM モリブデンロッドを好んでいます。

6.2 航空宇宙分野

TZM モリブデンロッドは、その高融点、優れた高温強度、低熱膨張係数により、航空宇宙分野でかけがえのない役割を果たし、ロケットノズル、高温構造部品、宇宙船の熱保護システムに広く使用されています。以下では、これら 3 つの側面から詳細な分析を行います。

6.2.1 ロケットノズルへの応用

ロケットノズルは、航空宇宙産業で最も要求の厳しいアプリケーションの 1 つであり、

著作権および法的責任に関する声明

2000°C 以上の高温と強い熱衝撃に耐えます。TZM モリブデンロッドは、その高い融点(2623°C)と優れた耐熱衝撃性により、ロケットノズルに最適な材料となっています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

ノズルスロート: TZM モリブデンロッドは、燃焼室内の高温高压ガス流に耐えることができるロケットノズルのスロートを作るために使用されます。たとえば、SpaceX の Raptor エンジンノズルは、液体酸素/メタン燃焼による極端な熱負荷に対処するために TZM 合金を使用しています。

ノズルエクステンション: TZM モリブデンロッドはノズルエクステンションに使用され、幾何学的安定性を維持し、熱応力による変形を減らすことができます。熱膨張係数が低い($5.3 \times 10^{-6}/K$)ため、急激な温度変化時にノズルが割れることはありません。

酸化防止コーティング: 酸化燃焼環境での耐久性を向上させるために、TZM モリブデンロッドノズルは通常、耐用年数を延ばすためにモリブデンシリサイドまたはジルコニアコーティングでコーティングされています。

6.2.2 高温構造部品への応用

TZM モリブデンロッドは、タービンブレード、燃焼室壁、推進システム部品などの航空宇宙高温構造部品に広く使用されています。その優れた高温強度(引張強度 1200°C で 400-500MPa)と耐クリープ性により、複雑なストレス環境に耐えることができます。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

タービンブレード: TZM モリブデンロッドは、1400°C 以上の強度と安定性を維持できる航空エンジンタービンブレードの支持構造を作るために使用されます。

燃焼室の壁: TZM モリブデン棒は、高温燃焼ガスの精練と熱衝撃に耐えることができる燃焼室壁を作るために使用されます。例えば、NASA の X-33 スペースシャトルの燃焼室は、TZM 合金部品を使用しています。

コネクタ: TZM モリブデンロッドは、航空宇宙機器の高温組み立てに適した高温ボルトとコネクタに加工されています。

6.2.3 宇宙船の熱防護への応用

宇宙船は再突入時に数千°C の温度にさらされますが、TZM モリブデンロッドは、その高い熱伝導率と耐熱衝撃性から、熱防護システム(TPS)に使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

熱防護プレート: TZM モリブデンロッドは薄い板に加工されており、宇宙船の外部の熱防護層に使用され、熱をすばやく放散して内部構造を保護できます。

熱シールド: TZM モリブデンロッドは、敏感な部品への高温伝導を防ぐために、宇宙船の熱シールドを作るために使用されます。たとえば、国際宇宙ステーションの熱シールドの一部は TZM 合金でできています。

アブレーション防止コーティング: TZM モリブデンロッドの表面は、通常、極端な熱環境での耐久性を向上させるために、アブレーション防止材料(カーボン/カーボン複合材料など)でコーティングされています。

著作権および法的責任に関する声明

6.3 原子力産業

TZM モリブデンロッドは、熱中性子吸収断面積が小さく、高温強度と耐放射線性を備えているため、原子力産業で重要な用途があり、原子炉、核融合装置、放射性物質の取り扱いをカバーしています。以下では、これら3つの側面から詳細な分析を行います。

6.3.1 原子炉での応用

TZM モリブデンロッドは、原子炉で制御棒、構造部品、燃料クラディングの製造に使用され、高温および高放射線環境に耐えることができます。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

制御棒: TZM モリブデン棒は、高温(800-1200°C)および中性子照射で安定性を維持できる制御棒の支持構造を製造するために使用されます。熱中性子吸収断面積が小さい(約2.6納屋)ため、ステンレス鋼よりも優れています。

構造部品: TZM モリブデンロッドは、反応器内部の支持フレームと配管に使用され、高温冷却剤の腐食と機械的ストレスに耐えることができます。たとえば、中国実験高速炉などの高速炉は、TZM 合金構造部品を使用しています。

燃料クラディング: TZM モリブデンロッドは、高温および高放射線での気密性を維持し、放射性物質の漏れを防ぐことができる核燃料クラディングの製造に使用されます。

6.3.2 核融合装置への応用

トカマクや慣性閉じ込め核融合装置などの核融合装置は、材料への要求が非常に高く、TZM モリブデン棒はプラズマ攻撃に対する耐性と高い熱伝導性から広く使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

プラズマ対向材料(PFM): TZM モリブデンロッドは、高エネルギープラズマ衝撃と2000°Cを超える瞬間的な熱負荷に耐えることができるトカマクデバイスのデフレクターと最初の壁の製造に使用されます。例えば、国際実験熱核融合炉(ITER)は、偏向材としてTZM 合金を使用しています。

ヒートシンク材料: TZM モリブデンロッドの高い熱伝導率により、熱をすばやく放散し、核融合デバイスの敏感な部分を保護できるヒートシンク材料になります。

構造的支持: TZM モリブデンロッドは、高温および強い磁場で安定性を維持できる核融合装置の支持構造を製造するために使用されます。

6.3.3 放射性物質の取り扱いにおけるアプリケーション

TZM モリブデンロッドは、容器、遮蔽材、操作ツールを製造するための放射性物質の処理に使用され、高レベルの放射線や化学腐食に耐性があります。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

放射性廃棄物容器: TZM モリブデンロッドは、高放射性廃棄物を保管するための容器に加工されており、長期間の放射線や腐食に耐えることができます。

遮蔽材料: TZM モリブデンロッドは、高密度(10.2 g/cm³)と低熱中性子吸収断面積により、従来の鉛遮蔽材料よりも優れた放射線遮蔽材料の製造に使用されています。

著作権および法的責任に関する声明

操作ツール:TZM モリブデンロッドは、マニピュレーターや治具などの高温操作ツールを製造するために使用され、高放射線環境で安全に操作できます。

6.4 電子および半導体産業

TZM モリブデンロッドは、高い熱伝導率、低い熱膨張係数、耐食性により、イオン注入デバイス、薄膜蒸着、電子デバイス製造など、エレクトロニクスおよび半導体産業で広く使用されています。以下では、これら3つの側面から詳細な分析を行います。

6.4.1 イオン注入装置への応用

半導体チップ製造ではイオン注入装置が用いられており、TZM モリブデンロッドは強度が高く、プラズマ攻撃に強いことから、基幹部品として使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

イオン源部品:TZM モリブデンロッドは、高エネルギーイオンビームの衝撃に耐えることができるイオン源の電極とビームガイド部品の製造に使用されます。その高い熱伝導率(139 W/m·K)は、迅速な熱放散を保証し、局所的な過熱を回避します。

フィクスチャ&ターゲット:TZM モリブデンロッドは、高温および高真空環境で寸法安定性を維持できるシリコンウェーハを固定するためのフィクスチャに加工されます。例えば、TSMC のイオン注入装置は、TZM モリブデンロッド固定具を使用しています。

遮蔽部品:TZM モリブデンロッドは、高エネルギー粒子からの放射線や腐食に耐性のあるイオン注入装置の遮蔽板の製造に使用されています。

6.4.2 薄膜形成における応用

薄膜形成(物理蒸着、PVD など)は、半導体および電子デバイス製造における重要なプロセスであり、TZM モリブデンロッドは、その高い熱伝導率と耐食性から、スパッタリングターゲットおよび固定具として使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

スパッタリングターゲット:TZM モリブデンロッドは、金属の導電層や絶縁層などの高性能薄膜を成膜するためのスパッタリングターゲットに加工されます。その均質な微細構造により、スパッタリングされたフィルムの均質性が保証されます。

治具とサポート:TZM モリブデンロッドは、PVD 装置の治具やサポートの製造に使用され、高温および高真空での安定性を維持できます。例えば、OLED スクリーン製造では、基板の保持に TZM モリブデンロッドフィクスチャが使用されています。

発熱体:TZM モリブデンロッドは、800~1200°C で安定した熱場を提供できる PVD 機器の発熱体を作るために使用されます。

6.4.3 電子機器の製造における応用

TZM モリブデンロッドは、電子機器の製造に使用され、高温の固定具、電極、およびコネクタを製造しています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

高温フィクスチャ:TZM モリブデンロッドは、ウェーハ処理のフィクスチャの製造に

著作権および法的責任に関する声明

使用され、高温アニールおよび拡散プロセスで安定性を維持できます。たとえば、Intel のチップ製造装置では、TZM モリブデンロッドフィクスチャを使用しています。

電極:TZM モリブデンロッドは、真空管の電極やマイクロ波デバイスなどの電子機器のモリブデン電極の製造に使用され、高温と高電流に耐えることができます。

コネクタ:TZM モリブデンロッドは、電子機器の組み立て用に高温コネクタに機械加工されており、熱サイクルと機械的ストレスに耐えることができます。

6.5 その他の産業および科学研究分野

TZM モリブデンロッドは、高温実験装置、高温金型および工具、積層造形などの他の産業および科学分野でも広く使用されています。以下では、これら3つの側面から詳細な分析を行います。

6.5.1 高温実験装置への応用

TZM モリブデンロッドは、その高温安定性と耐食性から、材料試験炉、プラズマ物理実験装置、高温反応器などの高温実験装置に広く使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

材料試験炉:TZM モリブデンロッドは、1600°C 以上の安定した熱場を提供できる高温引張および圧縮試験炉の治具および発熱体の製造に使用されます。たとえば、ASTME21 標準試験装置は、TZM モリブデンロッド固定具を使用しています。

プラズマ物理実験:TZM モリブデンロッドは、高エネルギープラズマの侵食に耐えることができるプラズマ実験装置の電極とサポートを製造するために使用されます。例えば、レーザープラズマ実験装置では、TZM 合金電極を使用しています。

高温反応器:TZM モリブデンロッドは、高温および腐食性雰囲気中で安定して動作できる化学反応器の発熱体および支持構造の製造に使用されます。

6.5.2 高温金型および工具への応用

TZM モリブデンロッドは、その高い硬度(250-300 HV)と耐摩耗性により、高温の金型や工具の製造に使用されています。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

ダイカスト金型:TZM モリブデンロッドは、800~1000°C で高い応力と摩耗に耐えることができるアルミニウム合金およびマグネシウム合金のダイカスト金型の製造に使用されます。

熱間鍛造金型:TZM モリブデンロッドは、1200°C 以上の強度と寸法安定性を維持できる航空宇宙部品用の熱間鍛造金型の製造に使用されます。

切削工具:TZM モリブデンロッドは、タングステン合金および高温合金の加工に適した高温切削工具に機械加工されます。

6.5.3 アディティブマニュファクチャリングのアプリケーション

アディティブ・マニュファクチャリング(3D プリンティング)は、レーザー選択溶融(SLM)

著作権および法的責任に関する声明

または電子ビーム溶融(EBM)技術により複雑な形状の TZM 合金部品を製造できる TZM モリブデンロッドの新たな応用分野です。具体的なアプリケーションには、次のようなものがあります。

航空宇宙部品:TZM モリブデンロッドパウダーは、ロケットノズルやタービンブレードの 3D プリントに使用され、複雑な形状を可能にし、処理コストを削減します。例えば、NASA の 3D プリントされた TZM 合金ノズルは、30%軽量です。

医療機器:TZM モリブデンロッドは、高温および腐食性環境でも安定性を維持できるオートクレーブ処理された機器部品を 3D プリントするために使用されます。

科学研究モデル:TZM モリブデンロッド粉末は、材料試験や物理実験のニーズを満たすために、高温実験モデルの 3D プリントに使用されています。



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

7. TZM モリブデンロッドの技術的課題と今後の展開

高性能超合金として、TZM モリブデンロッドは、その優れた高温強度、耐クリープ性、および低い熱膨張係数により、航空宇宙、原子力産業、半導体製造などの分野で広く使用されています。しかし、ますます過酷なアプリケーション環境と産業技術の急速な発展に伴い、TZM モリブデンロッドの調製と適用は、高温耐酸化性、複雑な形状の製造、生産コスト管理など、多くの技術的課題に直面しています。同時に、新素材、インテリジェント製造、グリーン生産技術は、TZM モリブデンロッドの将来の開発に新たな機会を提供します。この章では、技術的課題、新素材と技術、インテリジェントでグリーンな製造、将来の開発動向の 4 つの側面から、TZM モリブデンロッドの現状と将来を包括的に説明します。

7.1 技術的な課題

TZM モリブデンロッドの調製と適用は、高温耐酸化性の向上、複雑な形状や大型サイズ

著作権および法的責任に関する声明

の製造の難しさ、製造コストの管理など、多くの技術的課題に直面しています。これらの課題は、ハイエンドアプリケーションにおける TZM モリブデンロッドの性能と経済性に直接影響します。以下、3つの側面から詳細に分析します。

7.1.1 耐高温耐酸化性の向上

高温環境(>1000°C)での TZM モリブデンロッドの耐酸化性は、そのアプリケーションの主なボトルネックです。TZM モリブデンロッドは、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、炭素(C)を添加することで耐酸化性を向上させますが、酸化性雰囲気ではセラミックスや一部のニッケル基合金ほどの性能を発揮しません。具体的な課題は次のとおりです。

酸化物の揮発:1200°C を超える酸化環境では、揮発性の三酸化モリブデン(MoO_3)が TZM モリブデンロッドの表面に形成され、急速な材料損失が発生します。結果は、1200°C の空気中の TZM モリブデンロッドの酸化的重量増加率は約 $0.5\text{--}1 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ であり、これはセラミック材料($0.01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$)よりもはるかに高いことを示しています。

保護層の安定性:TZM モリブデンロッドは、モリブデンシリサイド(MoSi_2)またはアルミナ(Al_2O_3)コーティングを通じて耐酸化性を向上させることができますが、これらのコーティングは 1500°C 以上または長期の熱サイクル中に剥離または亀裂が発生しやすくなります。例えば、 MoSi_2 (モシイ)コーティングは、1600°C で 100 回の熱サイクル後に 20~30% の剥離率を達成することができます。

複雑な環境適応性:航空宇宙(ロケットノズルなど)や核融合装置では、TZM モリブデンロッドは高温、酸化、プラズマ攻撃に同時に耐える必要があります。単一の酸化防止コーティングで複数の環境要件を満たすことは困難です。

改善点は次のとおりです。

新しいコーティングの開発:多層複合コーティング($\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ など)の研究により、勾配構造を通じてコーティングと基板の接着強度と熱サイクル安定性を向上させます。最近の研究では、ナノコンポジットコーティングにより、1500°C で TZM モリブデンロッドの寿命を最大 50%延長できることが示されています。

表面改質:酸化防止元素(シリコンやアルミニウムなど)は、レーザー表面処理またはイオン浸透技術により TZM モリブデンロッドの表面に導入され、その場保護層を形成します。例えば、レーザークラディングシリサイド層は、酸化的重量増加を $0.1 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ に低減することができます。

合金の最適化:チタン、ジルコニウム、炭素の含有量を調整することにより、炭化物粒子(TiC 、 ZrC)の分布とサイズを最適化し、マトリックスの耐酸化性を高めます。実験では、ジルコニウム含有量を 0.15%に増やすと、酸化速度を大幅に低下させることができることが示されました。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

7.1.2 複雑な形状と大規模製造

TZM モリブデンロッドの複雑な形状と大きな寸法は、特に複雑な形状(湾曲したノズルなど)や大規模なコンポーネント(原子炉支持ビームなど)を製造する必要がある航空宇宙および原子力産業において、技術的な困難に直面しています。具体的な課題は次のとおりです。

粉末冶金の限界:TZM モリブデンロッドは通常、粉末冶金プロセスによって調製されますが、このプロセスは複雑な形状のニアネット形状を達成するのが困難です。静水圧プレス(CIP)は複雑なブランクを作製できますが、寸法精度はわずか $\pm 0.5\text{mm}$ で、航空宇宙で要求される 0.01mm の \pm を満たすことは困難です。

加工の難しさ:TZM モリブデンロッドの高硬度(250-300 HV)と低靱性により、旋削、フライス加工、穴あけ加工中に亀裂が発生しやすくなります。たとえば、めねじや微細な穴などの複雑な形状の加工は、工具の急速な摩耗と加工コストの 30~50%の増加につながる可能性があります。

大規模な均一性:大型の TZM モリブデンロッド(直径 100mm>長さ>1m)の製造では、微細構造と特性の均一性を確保する必要があります。焼結プロセス中の温度勾配と不均一な収縮は、内部の多孔性や亀裂につながる可能性があります、拒否率は最大 10~15%です。

改善点は次のとおりです。

アディティブ・マニュファクチャリング(3D プリンティング):レーザー選択的溶解(SLM)または電子ビーム溶融(EBM)技術を使用して、複雑な形状の TZM モリブデンロッド部品を直接プリンティングします。SLM テクノロジーは、寸法精度を $\pm 0.05\text{mm}$ に向上させ、スクラップ率を 5%未満に低減します。NASA の最新の研究では、SLM によって調製された TZM ノズルは 30%軽量で、20%高性能であることが示されています。

精密鍛造&圧延:多軸鍛造および精密圧延装置により、大型 TZM モリブデンロッドの粒度配向と密度を最適化します。例えば、ドイツの SMS グループの 4 段圧延機は、大判バーの密度を理論密度の 99.5%に増加させています。

熱間静水圧プレス(HIP):焼結後に熱間静水圧プレス技術を使用して、大型ブランクの微細孔を排除し、均一性を向上させます。HIP プロセス(2000°C、200MPa)により、不良率を 2%以下に低減します。

7.1.3 生産コスト管理

TZM モリブデンロッドの高い製造コストは、一部の分野での幅広い用途を制限します。コスト源には、原材料、プロセスの複雑さ、品質管理が含まれます。具体的な課題は次のとおりです。

原材料コスト:高純度モリブデン粉末(純度 $\geq 99.95\%$)とチタンおよびジルコニウム添加剤の価格は高く、総コストの 40~50%を占めています。たとえば、2023 年の Chinatungsten

Online レポートによると、高純度モリブデン粉末の価格は約 50~70 米ドル/kg です。

プロセスの複雑さ:粉末冶金、真空焼結、TZM モリブデンロッドの高温加工には、高価な設備(真空焼結炉、精密圧延機など)が必要であり、1 つの設備投資には最大で数百万ドルがかかります。さらに、加工中の工具の摩耗とスクラップ率(約 10%)は、コストをさらに増加させます。

品質管理コスト:インライン試験(超音波、X 線)および性能試験(高温引張およびクリープ試験)には、製造コストの 20~30%を占める高精度の機器と専門家がが必要です。

改善点は次のとおりです。

原料の最適化:モリブデン粉末の精製プロセス(プラズマ還元など)を改善することにより、酸素含有量と不純物が減少し、添加剤の量が削減されます。例えば、H.C.スタルクのプラズマ還元技術は、モリブデン粉末のコストを 15%削減することができます。

プロセスの簡素化:SLM や HIP などのニアネットシェイプ技術により、その後の加工ステップ、スクラップ率、加工コストが削減されます。研究によると、ニアネットシェイプは加工コストを 20~30%削減できることが示されています。

自動生産:インテリジェントな生産ライン(PLC 制御やオンライン検出システムなど)を通じて、生産効率を向上させ、人件費を削減します。

7.2 新素材・新技術

新しい材料と技術の開発は、TZM モリブデンロッドの性能向上と応用分野の拡大のための新たな機会を提供します。以下は、変性合金設計、ナノ構造と複合材料、他の高温材料との競争という 3 つの側面からの詳細な分析です。

7.2.1 変性合金設計

合金設計を変更し、TZM 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、その特性をさらに改善することができます。方法には以下が含まれます。

新しい元素を追加する:少量の希土類元素(ランタン、セリウムなど)またはレニウム(Re)を TZM 合金に導入して、耐酸化性と高温強度を向上させます。例えば、0.1%ランタンを添加すると、TZM モリブデンロッドの再結晶温度が 1500°C に上昇し、引張強度が 10~15%上昇します。

炭化物の最適化:炭素含有量(0.02-0.05%)の正確な制御と焼結プロセスを通じて、炭化物粒子(TiC、ZrC)のサイズ(0.5-2 ミクロン)と分布を最適化し、沈殿の強化を強化します。研究によると、均一に分布したナノスケールの炭化物は、クリープ率を最大 20%削減できることが示されています。

溶液強化:チタンとジルコニウム(Ti:0.6-0.8%、Zr:0.15-0.2%)の固溶体含有量を増やすことにより、モリブデンマトリックスの格子歪みが改善され、高温強度と耐食性が向上し

著作権および法的責任に関する声明

ます。

7.2.2 ナノ構造と複合材料

ナノ構造と複合材料技術は、TZM モリブデンロッドの性能最適化に新たな方向性を提供します。方法には以下が含まれます。

ナノ結晶構造: TZM モリブデンロッドの粒径は、高エネルギーボールミリングと急速焼結技術により 50~100nm に制御されます。ナノ結晶構造により、材料の強度と靱性が大幅に向上します。例えば、ナノ結晶 TZM モリブデンロッドの破壊靱性は、従来の TZM ($15\text{-}20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) よりも高い $25 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に達することができます。

複合材料: TZM モリブデンロッドは、セラミックス (SiC、 Al_2O_3 など) または炭素ベースの材料 (グラフェンなど) と配合され、金属マトリックス複合材料 (MMC) を形成します。SiC/TZM 複合材料の耐酸化性は 1500°C で 2 倍高く、核融合装置のデフレクターに適しています。

ナノコーティング: ナノスケールの抗酸化コーティング ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ など) は、化学気相成長法 (CVD) または物理蒸着法 (PVD) によって TZM モリブデンロッドの表面に堆積されます。ナノコーティングの熱膨張係数は基板との適合性が高く、剥離速度は 5% 未満に減少します。

7.2.3 他の高温材料との競争

TZM モリブデンロッドは、タングステン合金、ニッケル基合金、セラミックス、炭素基複合材料などの他の高温材料との競争に直面しています。具体的な比較には、次のようなものがあります。

タングステン合金: タングステン合金 (密度 19.3 g/cm^3) は、融点 (3422°C) と強度が高いですが、TZM モリブデンロッド (10.2 g/cm^3) よりもはるかに密度が高いため、重量に敏感な航空宇宙用途では制限されます。TZM モリブデンロッドは、耐酸化性を最適化することにより、 1600°C 未満の一部のタングステン合金アプリケーションを置き換えることができます。

ニッケル基合金: ニッケル基合金 (インコネル 718 など) は、 $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$ での耐酸化性と靱性に優れていますが、高温強度 ($200\text{-}300 \text{ MPa}$) は TZM モリブデンロッド ($400\text{-}500 \text{ MPa}$) よりも劣ります。TZM モリブデンロッドは、ナノコーティング技術により、より高い温度で競合します。

セラミックスおよび炭素系複合材料: セラミックス (SiC、 ZrB_2 など) は、耐酸化性に優れていますが、脆性は高いです。カーボン/カーボン複合材料は軽量ですが、酸化性環境では複雑なコーティング保護が必要です。TZM モリブデンロッドは、金属の靱性とセラミックの耐酸化性を兼ね備えた複合材料 (TZM/SiC など) で設計されています。

改善には、TZM マトリックス複合材料の開発、コーティング技術の最適化、および高温材料市場における TZM モリブデンロッドの競争力を強化するための製造コストの削減が含まれます。

著作権および法的責任に関する声明

7.3 インテリジェントでグリーンな製造

インテリジェントでグリーンな製造技術は、TZM モリブデンロッド生産の開発方向であり、生産効率を向上させ、エネルギー消費を削減し、環境汚染を減らすことができます。以下は、インテリジェントな生産監視、省エネで環境に優しい生産、廃棄物のリサイクルの3つの側面からの詳細な分析です。

7.3.1 インテリジェントな生産監視技術

インテリジェントな生産監視技術は、リアルタイムのデータ収集と分析を通じて TZM モリブデンロッドの生産プロセスを最適化し、品質の一貫性と効率を向上させます。具体的な技術には、以下のようなものがあります。

インライン検査システム:超音波、X線、目視検査技術を使用して、TZM モリブデンロッドのサイズ、欠陥、微細構造をリアルタイムで監視します。例えば、X線イメージングシステムでは、0.1mm を超える内部欠陥を検出し、不良率を 0.5%未満に低減することができます。

インダストリアル・インターネット・オブ・シングス(IIoT):センサーと PLC システムを通じて、焼結温度、鍛造圧力、および処理パラメータがリアルタイムで収集され、分析のためにクラウドに送信されます。IIoT システムは、生産性を最大 20%向上させ、機器の故障率を 15%削減することができます。

AI 最適化:機械学習アルゴリズムを使用して、プロセスパラメータがパフォーマンスに与える影響を予測し、焼結温度、圧延変形、コーティングの厚さを最適化します。たとえば、AI 最適化により、TZM モリブデンロッドの粒径を 10~20 ミクロンに制御でき、耐クリープ性が向上します。

7.3.2 省エネで環境にやさしい生産技術

TZM モリブデンロッドの製造プロセス(真空焼結、熱間鍛造など)はエネルギー集約的であり、二酸化炭素排出量を削減するための省エネで環境に優しい技術が必要です。具体的な対策は次のとおりです。

高効率焼結炉:高効率真空焼結炉(タングステンヒーターなど)は、加熱曲線と保持時間を最適化することにより、エネルギー消費を 15~20%削減するために使用されます。例えば、ドイツの ALD 社の焼結炉では、1回の焼結1回のエネルギー消費を 500kWh 以下に抑えることができます。

再生可能エネルギー:生産設備の動力源を太陽光または風力に切り替えることで、炭素排出量を削減します。たとえば、ヨーロッパの一部の TZM モリブデンロッド生産者は、50%の再生可能エネルギー供給を達成しています。

排気ガス処理:粉末冶金および表面処理の過程で、高効率ろ過システム(HEPA フィルターなど)を使用して揮発性酸化物と酸性廃ガスを処理し、排出物が EU RoHS 基準を満たしていることを確認します。

著作権および法的責任に関する声明

研究によると、省エネで環境に優しい技術により、TZM モリブデンロッド製造の炭素排出量を 30%削減できることが示されており、これはグリーン製造の世界的な傾向と一致しています。

7.3.3 廃棄物の効率的なリサイクル

TZM モリブデンロッドの製造におけるスクラップ(切削チップ、焼結残渣など)には、高価値のモリブデン、チタン、ジルコニウムが含まれており、効率的なリサイクル技術により、コストと環境への影響が削減されます。方法には以下が含まれます。

ケミカルリサイクル:モリブデン、チタン、ジルコニウムは、酸溶解および電気化学的分離技術によって廃棄物から抽出されます。回収率は 95%に達し、コストは 20%削減できます。例えば、H.C.スタルクの化学回収プロセスにより、モリブデンの回収率は 98%に向上します。

メカニカルリサイクル:スクラップは、破碎、スクリーニング、再焼結技術により、TZM モリブデンバーブランクに再処理されます。メカニカルリサイクルは、リサイクル率約 90%の大型スクラップ材に適しています。

クローズドループリサイクルシステム:生産ラインのクローズドループリサイクルシステムを確立し、廃棄物を直接粉末冶金プロセスに再利用して、資源の無駄を削減します。Chinatungsten Online によると、クローズドループリサイクルにより、スクラップ率を 5%未満に減らすことができます。

廃棄物リサイクル技術は、生産コストを削減するだけでなく、循環型経済の要件を満たし、TZM モリブデンロッド産業の持続可能な開発を促進します。

7.4 将来のトレンド

TZM モリブデンロッドの将来の開発は、航空宇宙、核融合、新エネルギー、その他の分野のニーズを満たすために、高性能設計、クロスドメインアプリケーション拡張、および極限環境アプリケーションに焦点を当てます。以下、3つの側面から詳細に分析します。

7.4.1 高性能な設計と最適化

高性能設計により、材料、プロセス、構造の最適化により、TZM モリブデンロッドの性能がさらに向上します。具体的なトレンドには、以下のようなものがあります。

マルチスケールシミュレーション:分子動力学と有限要素解析を使用して、高温および高応力環境での TZM モリブデンロッドの性能をシミュレートし、合金の組成と微細構造を最適化します。例えば、シミュレーションでは、0.1%のレニウムを添加すると引張強度が 15%増加することが示されています。

カスタマイズされたデザイン:TZM モリブデンロッドの組成、コーティング、形状は、アプリケーションのニーズ(ロケットノズルやフュージョンデフレクターなど)に応じてカスタマイズできます。例えば、航空宇宙部品には強度を高めるために高チタン含有量(0.8%)を、核融合装置には耐酸化性を高めるために高ジルコニウム含有量(0.2%)を搭載することができます。

傾斜機能材料(FGM):TZM ベースの傾斜角材料は、材料内に性能勾配(表面酸化層、内

著作権および法的責任に関する声明

部高韧性マトリックスなど)を形成することにより、全体的な特性を改善するために開発されています。FGMは、1600°CでのTZMモリブデンロッドの寿命を2倍に延ばすことができます。

7.4.2 クロスドメインアプリケーション拡張

TZMモリブデンロッドの応用分野は、従来の高温産業から新エネルギー、医療、国防の分野に拡大しています。具体的なトレンドには、以下のようなものがあります。

新エネルギー:TZMモリブデンロッドは、800~1000°Cで安定して動作できる固体酸化燃料電池(SOFC)のコネクタと電極の製造に使用されます。たとえば、Bloom EnergyのSOFCはTZM合金コネクタを使用しています。

医療機器:TZMモリブデンロッドは、高温および高放射線に耐えることができる高温滅菌装置および放射性同位元素容器の部品の製造に使用されます。たとえば、医療用コバルト60容器のTZMコンポーネントの寿命は最大20年です。

防衛産業:TZMモリブデンロッドは、極超音速機用の熱保護システムやミサイルノズルの製造に使用されており、3000°Cを超える瞬間的な熱負荷に耐えることができます。

クロスセクターアプリケーションの拡大は、2030年までに20%の成長が見込まれるTZMモリブデンロッド市場の成長を促進します。

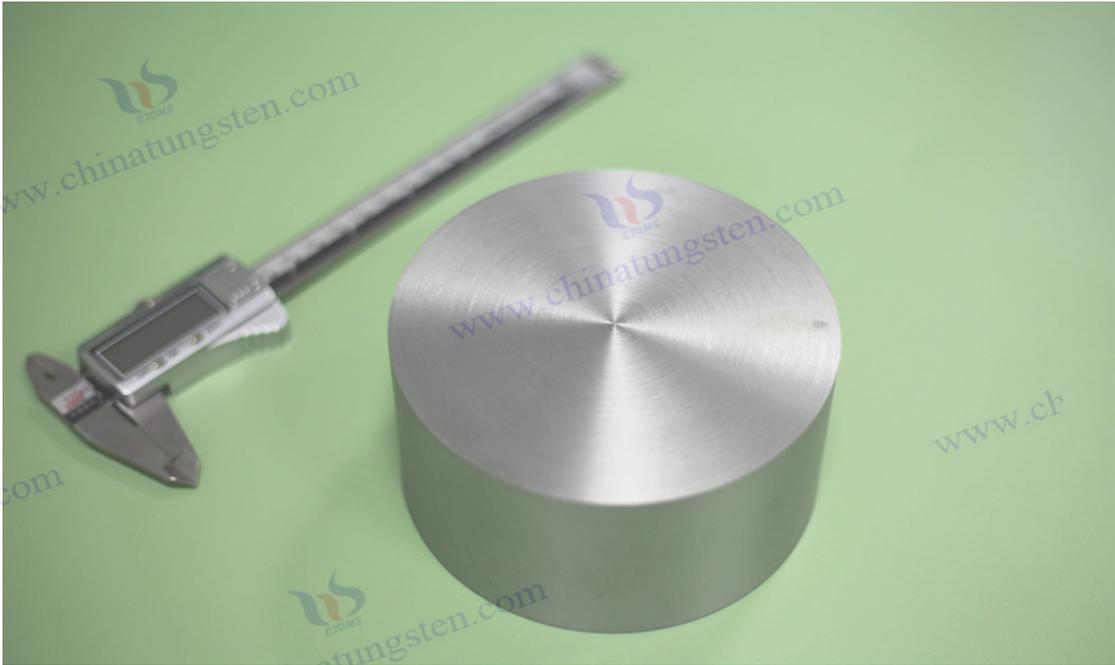
7.4.3 極限環境でのアプリケーション

極端な環境(超高温、強い放射線、強い腐食など)でのTZMモリブデンロッドの適用は、将来の開発の焦点です。具体的なトレンドには、以下のようなものがあります。

超高温環境:新しい抗酸化コーティングと複合材料の開発により、TZMモリブデンロッドは、次世代ロケットエンジンやプラズマスラスタなど、2000°Cを超える超高温環境に適用できます。

強い放射線環境:核融合や宇宙探査では、TZMモリブデン棒に高エネルギーの中性子とガンマ線を照射する必要があります。希土類元素の添加と微細構造の最適化により、ITERと月面基地のニーズを満たすために耐放射線性を向上させることができます。

腐食性の高い環境:オフショアおよび化学産業では、TZMモリブデンロッドは酸性ガスや塩水噴霧に対する耐性が必要です。表面窒化および複合コーティング技術により、腐食速度を0.005 mm/年に低減します。



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

8. TZM モリブデンロッドの規格と仕様

高性能超合金として、TZM モリブデンロッドは、航空宇宙、原子力産業、半導体製造などの分野で広く使用されており、その製造、テスト、およびアプリケーションは厳格な基準と仕様に従う必要があります。これらの規格は、TZM モリブデンロッドの品質一貫性、安全性、国際市場競争力を確保するための材料組成、性能試験、生産プロセス、品質管理、環境管理をカバーしています。この章では、TZM モリブデンロッドに関連する規格と仕様について、国内規格(国内規格)、国際規格(ISO)、アメリカ規格(アメリカ規格)、その他の国際規格および業界規格、および規格の実装と認証の 5 つの側面から包括的に説明します。

8.1 国家規格(GB)

世界最大のモリブデン資源の生産国であり、TZM モリブデンロッドの製造業者である中国は、TZM モリブデンロッドの生産と適用を規制するための一連の国家規格(GB/T)を策定しました。これらの規格は、材料特性、試験方法、および機器プロセスを網羅しており、国内企業と国際貿易の統一された基盤を提供します。以下、3 つの側面から詳細に分析します。

8.1.1 GB/T モリブデンおよびモリブデン合金材料規格

中国国家規格(GB/T)は、モリブデンおよびモリブデン合金(TZM など)の化学組成、物理的特性、および処理要件を詳細に指定しており、主な規格は次のとおりです。

GB/T 3462-2017 モリブデンおよびモリブデン合金バー: この規格は、TZM モリブデンロッド (Mo \geq 99.38%、Ti:0.4-0.55%、Zr:0.06-0.12%、C:0.01-0.04%)、寸法公差(直径 \pm 0.02 mm、長さ \pm 1 mm)、表面品質(Ra \leq 3.2 ミクロン)および機械的特性(引張強度 \geq 400 MPa、1200°C)。

著作権および法的責任に関する声明

この規格では、密度が理論密度の 98%以上に達するように、TZM モリブデンロッドを真空焼結または雰囲気焼結によって調製する必要があります。

GB/T 4194-2015 モリブデンおよびモリブデン合金の化学分析方法:この規格は、誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES)および蛍光 X 線分光法(XRF)を含む、TZM モリブデンロッド中のモリブデン、チタン、ジルコニウム、炭素、および不純物元素の分析方法を詳細に指定しています。例えば、酸素含有量は $\leq 0.005\%$ に制御し、鉄やケイ素などの不純物 $\leq 0.01\%$ に抑える必要があります。

GB/T 17792-2014 モリブデンおよびモリブデン合金バーの一般的な技術条件:この規格は、TZM モリブデンロッドの微細構造要件、表面欠陥検出、およびパッケージングおよび輸送要件をカバーしています。この規格では、バーの表面にスケール、引っかき傷、多孔性があることはありません。

8.1.2 超合金の試験・評価基準

超合金の試験および評価基準は、高温環境下での TZM モリブデンロッドの機械的特性、耐酸化性、および耐クリープ性を評価するために使用されます。主な基準は次のとおりです。

GB/T 4338-2015 金属材料の高温引張試験方法:この規格は、1000-1600°C での TZM モリブデンロッドの引張試験方法を指定しており、環境をテストするために真空または不活性雰囲気(アルゴンなど)の使用が必要であり、温度制御精度は $\pm 5^\circ\text{C}$ です。試験結果は、1200°C での TZM モリブデンロッドの引張強度が 400~500MPa、伸びが 5~10%であることを示しています。

GB/T 2039-2012 金属材料のクリープおよび耐久強度試験方法: この規格は、1400°C および 20 MPa での TZM モリブデンロッドのクリープ性能をテストするために使用され、クリープ速度は 10⁻⁶/s 未満で、寿命は ≥ 5000 時間です。試験には、高温クリープ試験機(Instron 5980 シリーズなど)が必要です。

GB/T 16878-1997 金属材料の高温硬度の試験方法:この規格は、1000°C での TZM モリブデンロッドのピッカース硬度(HV)試験方法を指定し、硬度は 200-250HV に維持する必要があります。試験結果は、TZM モリブデンロッドの高温硬度が純粋なモリブデン(150-200 HV)よりも優れていることを示しています。

これらの規格は、ロケットノズル、原子炉部品などの高温用途における TZM モリブデンロッドの信頼性を保証します。Chinatungsten Online の技術報告書によると、GB/T 4338 と GB/T 2039 の実装は、航空宇宙分野での TZM モリブデンロッドのアプリケーション品質を大幅に向上させました。

8.1.3 実行装置とプロセス仕様

装置およびプロセス指定は TZM のモリブデン棒の工程プロセスの標準化そして安全を保障する。主な基準は次のとおりです。

GB/T 15067-2016 モリブデンおよびモリブデン合金加工装置の技術条件:この規格は、

著作権および法的責任に関する声明

真空焼結炉、鍛造機、および圧延装置の性能要件を指定しています。たとえば、真空焼結炉は、 10^{-3} - 10^{-2} の真空度と $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度均一性に到達する必要があります。鍛造機の圧力範囲は 500~2000 トンです。

GB 50828-2012 超合金の製造に関する安全仕様:この規格では、TZM モリブデンロッド製造ワークショップに防爆装置、排気ガス処理システム(HEPA フィルターなど)、およびクリーンルーム(ISO クラス 7、粒子濃度 $<10,000$ 粒子/ m^3)を装備する必要があります。この規格は、粉末冶金プロセスにおける粉塵や酸化を防ぐための対策も指定しています。

GB / T 29490-2013 エンタープライズエネルギー管理システムの要件:この規格は、TZM モリブデンロッドメーカーが高效率焼結炉(エネルギー消費 <500 kWh /時間)や再生可能エネルギー電源の使用など、エネルギー消費を最適化するように導きます。

これらの仕様は、TZM モリブデンロッド生産の安全性、効率性、環境への配慮を保証します。例えば、TZM モリブデンロッドの中国メーカーは、GB/T 15067 を導入することで、生産効率を 20%向上させ、スクラップ率を 5%未満に削減しました。

8.2 国際規格(ISO)

国際標準化機構(ISO)規格は、TZM モリブデンロッドのグローバルな生産と適用のための統一仕様を提供し、材料試験、環境管理、および非破壊検査をカバーしています。以下、3つの側面から詳細に分析します。

8.2.1 ISO6892 金属材料の引張試験

ISO 6892-1:2019 および ISO 6892-2:2018 を含む ISO 6892 シリーズの規格は、室温および高温での TZM モリブデンロッドの引張試験方法を指定しています。

ISO 6892-1:2019(室温での引張):万能試験機(Instron 5982 など)を使用して、TZM モリブデンロッドの引張強度(600-700 MPa)、降伏強度(500-600 MPa)、および伸び(10-15%)の試験が必要です。試験は、 $R_a \leq 0.4$ ミクロンの表面粗さで一定のひずみ速度(10^{-3} /s)で実行されます。

ISO 6892-2:2018(高温引張): 1000 - 1600°C での引張試験方法を指定し、真空または不活性雰囲気(アルゴン、純度 $\geq 99.999\%$ など)の使用と $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度制御精度を必要とします。

試験結果は、 1200°C での TZM モリブデンロッドの引張強度が 400~500MPa であり、200~300MPa の純粋なモリブデンよりも優れていることを示しています。

8.2.2 ISO 14001 環境マネジメントシステム

ISO 14001:2015 は、TZM モリブデンロッドメーカーが環境への影響を減らすための指針となる、世界的に認められた環境マネジメントシステムの規格です。具体的な要件は次のとおりです。

エネルギー管理:高效率の発熱体(タングステンヒーター)や再生可能エネルギー源の使用など、焼結炉や処理装置のエネルギー消費を最適化する必要があります。TZM モリ

著作権および法的責任に関する声明

ブデンロッドメーカーのエネルギー消費は、500kWh / トン未満に制御する必要があります。

廃棄物管理:粉末冶金および表面処理中に発生する廃棄物(モリブデン粉塵、酸性廃棄物など)は、分別してリサイクルする必要があります。例えば、ケミカルリサイクルにより、モリブデンの回収率を 98%まで向上させることができます。

排出ガス制御:揮発性酸化物(MoO_3)と酸性ガスの排出が地域の規制(EU RoHS 規格など)に準拠していることを確認するために、高効率の排気ガス処理システム(HEPA フィルターなど)の設置が必要です。

プランゼーなど、世界有数の TZM モリブデンロッドメーカーは ISO 14001 の認証を取得しており、グリーン製造のトレンドに沿って炭素排出量を 30%削減しています。

8.2.3 非破壊検査のための ISO3452 規格

ISO 3452-1:2021 を含む ISO 3452 シリーズの規格は、表面の亀裂や欠陥を検出するための TZM モリブデンロッドの浸透探傷試験方法を指定しています。具体的な要件は次のとおりです。

浸透探傷試験(PT):蛍光または可視染料の透過性を使用して、TZM モリブデンロッドの表面の亀裂、細孔、および引っかき傷を検出します。ロケットノズルなどの航空宇宙部品に対して最大 0.05mm の検出感度。

検査プロセス:表面洗浄、浸透剤塗布、現像剤塗布、欠陥観察など。この規格では、周囲照度が 500~1000 lx、温度が 20~25°C である必要があります。

受け入れ基準:表面亀裂の長さ $\leq 0.1\text{mm}$ 、細孔径 $\leq 0.05\text{mm}$.TZM モリブデンロッドは、航空宇宙用途の 100%浸透探傷試験に合格する必要があります。

8.3 アメリカ規格(米国規格)

アメリカの規格(ASTM、ASME)は、特に航空宇宙および原子力産業における TZM モリブデンロッドの世界的なアプリケーションに重要な影響を与えています。以下、3つの側面から詳細に分析します。

8.3.1 モリブデンおよびモリブデン合金棒の ASTM B387 規格

ASTM B387-18 は、TZM モリブデンロッドのコア規格であり、材料の組成、特性、および処理要件を指定しています。

化学組成: $\text{Mo} \geq 99.38\%$ 、 $\text{Ti}: 0.4-0.55\%$ 、 $\text{Zr}: 0.06-0.12\%$ 、 $\text{C}: 0.01-0.04\%$ 、不純物(Fe 、 Si など) $\leq 0.01\%$ 。

機械的特性:室温で引張強度 600-700 MPa、伸び 10-15%;1200°C での引張強度 400-500MPa。この規格では、ASTM E8(室温引張)および ASTM E21(高温引張)に準拠した試験が必要です。

寸法と表面:直径公差 $\pm 0.02\text{mm}$ 、表面粗さ $\text{Ra} \leq 0.4$ ミクロン、亀裂、酸化物スケール、多孔性はありません。

著作権および法的責任に関する声明

微細構造:粒径 10~30 ミクロン、密度 \geq 理論密度 98%。

8.3.2 ASTM E384 微小硬さ試験

ASTM E384-17 は、材料の硬度と微細構造の均一性を評価するための TZM モリブデンロッドの微小硬さ試験方法を指定しています。

試験方法:ピッカース硬さ試験機(HV)を使用し、負荷力は 0.5~1 kg、インデント時間は 10~15 秒です。試験結果は、TZM モリブデンロッドの硬度が 250-300 HV であり、炭化物粒子面積が 500 HV に達する可能性があることを示しています。

高温硬度:1000°C でテストされ、硬度は 200~250 HV に維持され、純粋なモリブデンの 150~200 HV よりも優れています。

微細構造解析:走査型電子顕微鏡(SEM)を使用して、インデント周辺の微細構造を観察し、炭化物粒子の分布と強化効果を評価しました。

ASTM E384 は、高温金型および航空宇宙部品における TZM モリブデンロッドの信頼性を保証します。たとえば、ボーイングは ASTM E384 を使用して TZM モリブデンロッドの硬度を試験し、タービブレードサポートの性能を確認しています。

8.3.3 高温機器の製造のための ASME 規格

ASME(American Society of Mechanical Engineers)規格は、原子炉、航空エンジンなどの高温機器における TZM モリブデンロッドの製造と適用を規制しています。主な基準は次のとおりです。

ASME BPVC Section II: 引張強度、クリープ特性、耐酸化性など、TZM モリブデンロッドの材料特性と認証要件を指定します。この規格では、1400°C での TZM モリブデンロッドのクリープ速度を 10^{-6} /s 未満にする必要があります。

ASME BPVC セクション VIII:高温圧力容器内の TZM モリブデンロッドの溶接、熱処理、非破壊検査などの製造プロセスを指定します。この規格では、100%超音波検査(UT)と X 線検査(RT)が必要です。

ASME Y14.5 Dimensions & Tolerances: TZM モリブデンロッドの幾何公差(真円度、真直度など)を指定して、高温機器への設置精度を確保します。

8.4 その他の国際標準および業界標準

中国とアメリカの規格に加えて、日本(JIS)、ドイツ(DIN)、ロシア(GOST)の規格も TZM モリブデンロッドの製造と適用の仕様を提供しています。以下、3 つの側面から詳細に分析します。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

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

8.4.1 JIS G 0571 モリブデン材料の試験基準

JIS G 0571:2012 は、モリブデンおよびモリブデン合金(TZM を含む)の化学組成と特性の試験方法を規定する日本の工業規格です。

化学組成:Mo \geq 99.38%、Ti:0.4-0.55%、Zr:0.06-0.12%、不純物(O、N など) \leq TZM モリブデンロッドの 0.005%。

機械的特性試験:室温引張(引張強度 600-700 MPa)、高温引張(1200°C、400-500 MPa)、硬度試験(HV 250-300)を含む。

表面品質:表面粗さは、亀裂や酸化物スケールのない Ra \leq 3.2 ミクロンである必要があります。この規格では、表面欠陥の浸透探傷試験の方法も指定されています。

JIS G 0571 は、日本の半導体および高温炉製造業で広く使用されています。例えば、日本の東芝(株)は、JIS G 0571 を使用して、イオン注入装置で使用する TZM モリブデンロッドの試験を行っています。

8.4.2 DIN EN10228 非破壊検査規格

DIN EN 10228-3:2016 を含む DIN EN 10228 シリーズの規格は、超音波試験(UT)に重点を置いて、TZM モリブデンロッドの非破壊検査方法を規定しています。

超音波検査:5~10 MHz のプローブを使用して、TZM モリブデンロッド内の亀裂、細孔、介在物を検出します。最大 0.1mm の検出感度で、航空宇宙および原子力産業の部品に適しています。

許容基準:内部欠陥サイズ \leq 0.1mm、表面亀裂長さ \leq 0.05mm。この規格では、信頼性の高いコンポーネント(原子炉の制御棒など)の 100%検査が義務付けられています。

試験装置:試験結果の再現性を確保するためには、高精度の超音波検出器(ドイツのクラウトクレマーなど)を使用する必要があります。

8.4.3 GOST 17431 モリブデン合金規格

GOST 17431-72 は、モリブデン合金のロシア規格であり、TZM モリブデンロッドの製造と試験に適しています。

化学組成:Mo \geq 99.38%、Ti:0.4-0.55%、Zr:0.06-0.12%、C:0.01-0.04%、不純物 \leq 0.01%。

機械的特性:室温で引張強度 600-700 MPa、1200°C で引張強度 400-500 MPa、クリープ寿命 \geq 5000 時間(1400°C、20 MPa)。

処理要件:真空焼結または雰囲気焼結によって調製され、密度は \geq 98%の理論密度で、表面粗さは Ra \leq 0.8 ミクロンです。

GOST 17431 は、ロシアの原子力産業および航空宇宙部門で広く使用されており、例えば、ロシアの会社 Rosatom はこの規格を使用して原子炉用の TZM モリブデンロッドを製造しています。

著作権および法的責任に関する声明

8.5 標準の実装と認証

標準的な実施および証明は生産テスト、質の管理システムおよび輸出承諾を含んで、国際市場で TZM のモリブデン棒の質そして競争力を保障するための重要な部分である。以下、3つの側面から詳細に分析します。

8.5.1 本番環境およびテストにおける標準アプリケーション

TZM モリブデンロッドの製造と試験は、上記の国内、国際、および業界標準に厳密に従わなければなりません。具体的な実装には、次のようなものがあります。

原材料管理:GB/T 4194 および ASTM B387 に従って、モリブデン粉末、チタン粉末、ジルコニウム粉末の組成を ICP-OES および XRF を使用して分析し、不純物含有量が $0.01\% \leq$ であることを確認しました。

プロセス制御:GB/T 15067 および ASME BPVC セクション VIII に準拠した焼結、鍛造、機械加工プロセス。例えば、真空焼結炉は、 10°C - 10°C の真空度と $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度均一性を維持する必要があります。

性能試験:ISO 6892、GB/T 4338、および ASTM E384 に従って、TZM モリブデンロッドの引張強度、クリープ特性、硬度をテストします。例えば、 1200°C で引張強度 $\geq 400\text{MPa}$ の高温引張試験を行います。

非破壊検査:ISO 3452 および DIN EN 10228 に準拠した航空宇宙および原子力産業向けの TZM モリブデンロッドの 100%検査で、浸透探傷試験と超音波試験を使用して亀裂や細孔がないことを確認します。

8.5.2 品質マネジメントシステム認証(e.g. ISO 9001)

ISO 9001:2015 は、TZM モリブデンロッドメーカーの品質管理と継続的な改善を導く、世界的に認められた品質マネジメントシステム規格です。具体的な要件は次のとおりです。

プロセス管理:TZM モリブデンロッドの原材料調達、生産プロセス、テスト、パッケージングの全プロセスを記録および追跡する必要があります。例えば、TZM モリブデンロッドの各バッチを原材料までさかのぼることができるように、バッチ管理システムを確立する必要があります。

顧客満足:TZM モリブデンロッドの性能と生産効率の継続的な改善は、顧客からのフィードバックと品質監査を通じて必要です。たとえば、航空宇宙業界のお客様は、寸法公差が $\leq \pm 0.01\text{mm}$ の TZM モリブデンロッドを必要としています。

継続的な改善:データ分析とプロセスの最適化により、不良品と生産コストを削減します。例えば、プランゼーは ISO 9001 の認証を取得しており、TZM モリブデンロッドの製造コストを 15%削減しています。

さらに、航空宇宙産業の TZM モリブデンロッドメーカーは、100%非破壊検査やサプライチェーンの透明性など、航空宇宙産業の特別な要件を満たすために AS9100 認証を取得する必要があります。

8.5.3 輸出および国際標準への準拠

TZM モリブデンロッドの輸出は、多国籍規格の調和と認証を含む、ターゲット市場の規

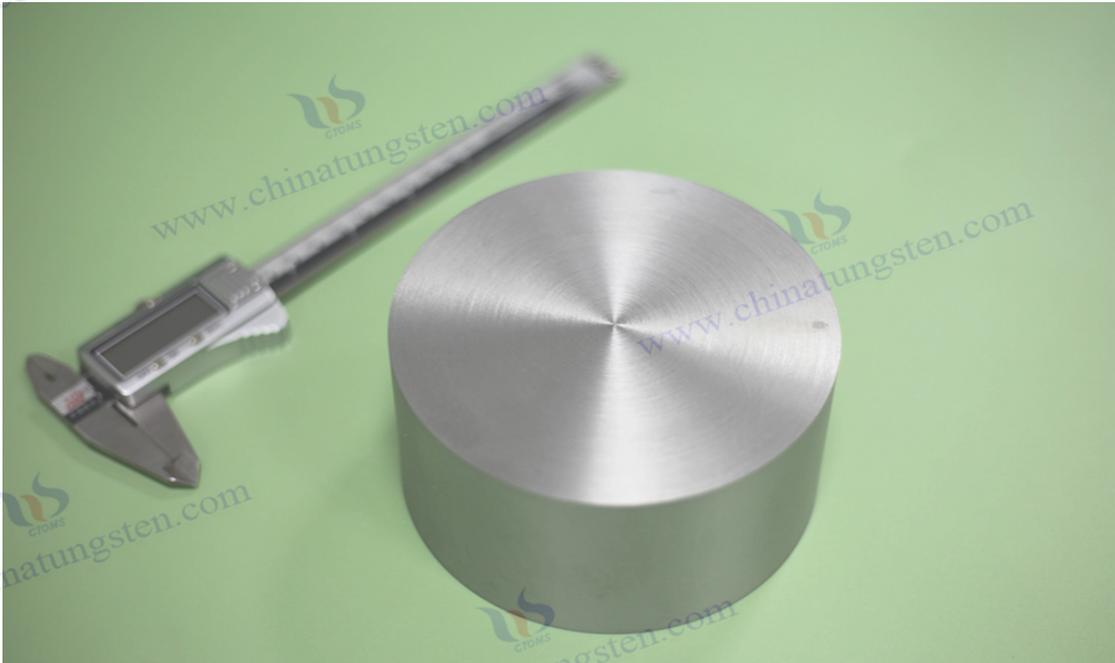
著作権および法的責任に関する声明

格と規制の対象となります。具体的な要件は次のとおりです。

規格の調和:TZM モリブデンロッドは、米国への輸出には ASTM B387 および ASME 規格、ヨーロッパへの輸出には DIN EN 10228 および ISO 14001、日本への輸出には JIS G 0571 に準拠する必要があります。

認証要件:輸出製品は、欧州連合の CE 認証、米国の UL 認証、ロシアの GOST-R 認証など、対象市場の認証を取得する必要があります。認証プロセスには、材料試験、プロセス監査、環境コンプライアンスチェックが含まれます。

コンプライアンス管理:コンプライアンス管理体制を確立し、定期的に第三者監査を受け入れることが求められます。例えば、SGS と TÜV は、TZM モリブデンロッドの輸出に関する共通の認証機関であり、製品が国際規制(RoHS、REACH など)に準拠していることを確認しています。



CTIA GROUP LTD TZM モリブデンロッド

虫垂

A. 用語集

1. 関連用語

TZM 合金

定義:モリブデン(Mo)をマトリックスとして、チタン(Ti、0.4-0.55%)、ジルコニウム(Zr、0.06-0.12%)、炭素(C、0.01-0.04%)を添加した超合金で、優れた高温強度、耐クリープ性、低熱膨張係数を備えています。

モリブデン基合金

定義:モリブデンを主成分とし、特性を改善するために他の元素(チタン、ジルコニウム、レニウムなど)を添加した合金。TZM は、モリブデン基合金の典型的な代表です。

著作権および法的責任に関する声明

耐熱合金

定義: ニッケル基合金、タングステン基合金、モリブデン基合金など、600°C を超える高温環境で機械的ストレスと化学腐食に長期間耐えることができる金属材料。

酸化防止コーティング

定義: TZM モリブデンロッドの表面に保護層(例: モリブデンシリサイド、 Al_2O_3)を塗布して、高温酸化と材料損失を低減します。

熱膨張係数(CTE)

定義: 温度変化下での材料の単位長さあたりの膨張率、TZM モリブデンロッドの熱膨張係数は $5.3 \times 10^{-6}/K$ です。

耐クリープ性

定義: 高温で一定の応力下でのゆっくりとした変形に耐える材料の能力。1400°C での TZM モリブデンロッドのクリープ率は、純粋なモリブデンの約 1/10 です。

破壊靱性

定義: 亀裂の伝播に抵抗する材料の能力、TZM モリブデンロッドの破壊靱性は 15-20 MPa $\cdot m^{1/2}$ であり、これは純粋なモリブデン 10-12 MPa $\cdot m^{1/2}$ のそれよりも高いです。

2. 調製および処理の用語

粉末冶金

定義: 金属粉末を混合し、プレス成形し、高温焼結して金属材料を調製する方法。TZM のモリブデン棒は通常粉末冶金プロセスから成り、焼結の温度は 1800-2000°C です。

真空焼結

定義: 金属粉末のブランクを真空(10^3 - 10^0 Pa)で加熱して、密度の高い材料に結合するプロセス。TZM モリブデンロッドの真空焼結により、密度を理論密度の 98%以上に増やすことができます。

ホット静水圧プレス

定義: 高温(1800-2000°C)および高圧(100-200 MPa)での材料の等方性圧縮により、内部の多孔性と欠陥を排除します。

冷間静水圧プレス

定義: 等方性圧力は、室温で液体媒体によって粉末に加えられ、高密度ピレットを形成します。TZM モリブデンロッドの CIP 圧力は通常 200~300MPa です。

精密鍛造

定義: 高温(1200-1400°C)多軸鍛造装置による TZM モリブデンロッドの塑性変形により、密度と機械的特性を改善します。

著作権および法的責任に関する声明

切削

定義:旋削、フライス加工、穴あけ、および最大 $\pm 0.01\text{mm}$ の公差を持つその他のプロセスによるTZM モリブデンロッドの形状加工。

表面研磨

定義:機械的、化学的、または電気化学的方法によるTZM モリブデンロッド($Ra \leq 0.05$ ミクロン)の表面粗さの低減により、亀裂の発生点を減らします。

非破壊検査

定義:TZM モリブデンロッドの内部および表面欠陥の超音波、X線、または浸透探傷試験法による 0.05mm までの感度での検査。

ニアネットシェイプフォーミング

定義:最終形状に近い部品を直接形成するための準備プロセス(SLM や HIP など)の最適化により、後処理が削減されます。

3. 高温アプリケーション用語

高温強度

定義:高温($>1000^\circ\text{C}$)での引張、圧縮、またはせん断変形に耐える材料の能力。 1200°C でのTZM モリブデンロッドの引張強度は $400\sim 500\text{MPa}$ です。

耐熱衝撃性

定義:急激な温度変化下で亀裂や破損に耐える材料の能力。TZM モリブデンロッドは、熱膨張係数が低い($5.3 \times 10^{-6}/\text{K}$)ため、優れた耐熱衝撃性を備えています。

熱伝導率

定義:熱を伝導する材料の能力、TZM モリブデンロッドの熱伝導率は $139 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ であり、 1200°C で $10\sim 15\%$ しか減少しません。

耐酸化性

定義:高温酸化環境下での酸化物の形成と損失に抵抗する材料の能力。TZM モリブデンロッドは、 1000°C で MoO_2 の保護層を形成し、酸化的重量増加率は $0.1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ 未満でした。

プラズマ侵食

定義:高エネルギープラズマの衝撃を受けた材料の表面損失現象。TZM モリブデンロッドは、純粋なモリブデンよりも優れた 10° のプラズマ衝撃に耐えることができます。

熱防護システム

定義:再突入などの高温での熱損傷から宇宙船を保護するために使用されるシステム。

著作権および法的責任に関する声明

TZM モリブデンロッドは、サーマルシールドとヒートシールドの製造に使用されます。

高温疲労

定義:高温のサイクル応力下で亀裂の発生と伝播に抵抗する材料の能力。1200°CでのTZMモリブデンロッドの疲労寿命は10⁶です。

熱サイクル安定性

定義:加熱と冷却を繰り返す際に材料がその特性と構造を維持する能力。TZMモリブデンロッドは、1000回の熱サイクル(室温-1600°C)に耐えることができます。

4. 材料科学と冶金用語

固溶性強化

定義:チタン原子とジルコニウム原子をモリブデンマトリックスに溶解することにより、格子歪みを引き起こし、材料の強度と硬度を向上させます。

降水量の増加

定義:モリブデンマトリックス中に炭化物粒子(TiC、ZrCなど)を形成することにより、転位運動が妨げられ、高温強度と耐クリープ性が向上します。

粒度

定義:材料中の結晶の平均サイズ、TZMモリブデンロッドの粒度は通常10~30ミクロンであり、強度と靱性に影響を与えます。

再結晶温度

定義:材料の粒子が高温で新しい粒子を形成するために再配置される温度。TZMモリブデンロッドの再結晶温度は1400~1500°Cで、1100°Cの純粋なモリブデンよりも高くなっています。

脱臼

定義:材料の塑性変形と強度に影響を与える結晶内部の線形欠陥。TZMモリブデンロッドは、耐クリープ性を向上させるために、超硬粒子によって転位に固定されています。

粒度境界

定義:材料の強度、靱性、および腐食特性に影響を与える粒子間の界面。TZMモリブデンロッドの粒界はジルコニウムで強化されており、高温の滑りを低減しています。

走査型電子顕微鏡

定義:TZMモリブデンロッドの表面トポグラフィと破壊特性を最大1ナノメートルの分解能で観察するための顕微鏡です。

透過型電子顕微鏡

著作権および法的責任に関する声明

定義:TZM モリブデンロッドの内部微細構造(転位、炭化物粒子など)を最大 0.1nm の分解能で観察するための顕微鏡。

X 線回折

定義:TZM モリブデンロッドの結晶構造、相組成、応力状態の X 線分析。

有限要素解析

定義:高温および高応力下での TZM モリブデンロッドの性能のコンピュータシミュレーションにより、応力分布と故障リスクを予測します。

B. 参考文献

- [1] Chinatungsten オンライン、「TZM モリブデン合金の製造プロセスと技術」、www.chinatungsten.com
- [2] Chinatungsten オンライン、モリブデン粉末精製および合金化技術、www.ctia.com.cn
- [3] Chinatungsten Online、WeChat 公式アカウント、「TZM モリブデンロッド生産プロセスの最適化」、2023 年
- [4] 《粉末冶金:科学、技術、応用》、C.スリヤナラヤナ
- [5] 《高融点金属加工の進歩》、Journal of Materials Processing Technology
- [6] 《Vacuum Sintering of TZM Alloys》、International Journal of Refractory Metals and Hard Materials(高融点金属・硬質材料)
- [7] Chinatungsten オンライン、「TZM モリブデンロッドの自動生産技術」、news.chinatungsten.com
- [8] 《高融点金属の表面工学》、表面・コーティング技術
- [9] Chinatungsten オンライン、「TZM モリブデンロッド生産設備と品質管理」、baike.ctia.com.cn
- [10] 《Materials Science and Engineering: An Introduction》ウィリアム・D・カリストター・ジュニア
- [11] 《Advances in Refractory Metals and Alloys》、Journal of Materials Science 誌
- [12] 《Powder Metallurgy of TZM Alloys》、International Journal of Refractory Metals and Hard Materials(高融点金属・硬質材料)
- [13] 《高温用途の TZM 合金》、材料と設計
- [14] 《Powder Metallurgy of TZM Alloys》、International Journal of Refractory Metals and Hard Materials(高融点金属・硬質材料)