

# モリブデンるつぼの完全ガイド

中钨智造科技有限公司  
CTIA GROUP LTD

## CTIA GROUP LTD

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

### Copyright and Legal Liability Statement

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

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

## CTIA GROUP の紹介

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

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

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

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



### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

## 内容

### 第1章 はじめに

- 1.1 モリブデンるつぼの定義と重要性
- 1.2 歴史的発展と技術の進化
- 1.3 現代産業および科学研究におけるモリブデンるつぼの役割

### 第2章 モリブデンるつぼの基本原則

- 2.1 モリブデン金属の物理的および化学的性質
- 2.2 高温環境での作業メカニズム
- 2.3 他の耐高温材料との比較
- 2.4 熱力学的および機械的特性

### 第3章 モリブデンるつぼの性能

- 3.1 モリブデンるつぼの物理的および化学的性質
  - 3.1.1 モリブデンるつぼの融点と熱安定性
  - 3.1.2 モリブデンるつぼの密度と熱伝導率
  - 3.1.3 モリブデンるつぼの抗酸化および防食性能
  - 3.1.4 モリブデンるつぼの機械的強度と靱性
- 3.2 モリブデンるつぼの熱的および機械的特性
  - 3.2.1 モリブデンるつぼの熱膨張と高温変形
  - 3.2.2 モリブデンるつぼの耐熱衝撃性
  - 3.2.3 モリブデンるつぼのクリープと長期安定性
  - 3.2.4 モリブデンるつぼの疲労と繰り返しの使用
- 3.3 モリブデンるつぼの微細構造と性能の関係
  - 3.3.1 粒目の構造と配向
  - 3.3.2 元素のドーピング効果
  - 3.3.3 表面形態と高温性能
- 3.4 モリブデンるつぼの寿命と信頼性
  - 3.4.1 寿命に影響を与える要因
  - 3.4.2 故障モード解析
  - 3.4.3 信頼性試験方法
- 3.5 中国タングステンインテリジェントモリブデンるつぼ MSDS

### 第4章 モリブデンるつぼの使用

- 4.1 結晶成長
  - 4.1.1 サファイア結晶(チョクラルスキー法、熱交換法)
  - 4.1.2 シリコン単結晶(チョクラルスキー法)
  - 4.1.3 その他の結晶材料
- 4.2 高温製錬と溶解
  - 4.2.1 希土類金属
  - 4.2.2 非鉄金属および合金

#### Copyright and Legal Liability Statement

- 4.2.3 貴金属の精製
- 4.3 真空および高温熱処理
  - 4.3.1 真空熱処理炉
  - 4.3.2 粉末冶金と焼結
  - 4.3.3 高温焼鈍
- 4.4 科学研究および実験室への応用
  - 4.4.1 高温試験装置
  - 4.4.2 材料性能試験
  - 4.4.3 核物質・プラズマ研究
- 4.5 新しいアプリケーション
  - 4.5.1 アディティブ・マニュファクチャリング
  - 4.5.2 航空宇宙
  - 4.5.3 核融合装置

## 第5章 モリブデンるつばの調製プロセスと技術

- 5.1 原材料の選択と準備
  - 5.1.1 モリブデン鉱石の精製
  - 5.1.2 モリブデン粉末の品質要件
  - 5.1.3 ドーピングと合金化
  - 5.1.4 原材料試験
- 5.2 冶金プロセス
  - 5.2.1 プレスと焼結
    - 5.2.1.1 静水圧プレス
    - 5.2.1.2 焼結炉と雰囲気
  - 5.2.2 鍛造と圧延
    - 5.2.2.1 熱間鍛造と冷間鍛造
    - 5.2.2.2 ローリングプロセス
  - 5.2.3 スピニングとストレッチ
    - 5.2.3.1 スピニングサイコロ
    - 5.2.3.2 ストレッチ温度と潤滑
- 5.3 加工と仕上げ
  - 5.3.1 旋削とフライス加工
    - 5.3.1.1 CNC 加工
    - 5.3.1.2 精度と粗さ
  - 5.3.2 溶接技術
    - 5.3.2.1 電子ビーム溶接
    - 5.3.2.2 レーザー溶接とろう付け
  - 5.3.3 表面処理
    - 5.3.3.1 クリーニングとポリッシング
    - 5.3.3.2 酸化防止コーティング

### Copyright and Legal Liability Statement

- 5.3.4 熱処理と焼鈍
  - 5.3.4.1 グレインコントロール
  - 5.3.4.2 ストレス解消
- 5.4 生産設備と自動化
  - 5.4.1 主要機器
    - 5.4.1.1 真空焼結炉
    - 5.4.1.2 紡績機と旋盤
    - 5.4.1.3 表面処理装置
  - 5.4.2 自動化とインテリジェンス
  - 5.4.3 クリーンルームの要件

## 第 6 章 モリブデンるつぼの品質管理と検査

- 6.1 オンライン検出
  - 6.1.1 寸法と精度
  - 6.1.2 表面欠陥
- 6.2 パフォーマンステスト
  - 6.2.1 高温強度
  - 6.2.2 耐食性
- 6.3 故障解析
  - 6.3.1 亀裂と変形
  - 6.3.2 疲労と寿命

## 第 7 章 モリブデンるつぼの使用上の注意

- 7.1 インストールおよび運用仕様
- 7.2 高温動作環境の要件
- 7.3 熔融材料との相溶性
- 7.4 メンテナンスとクリーニングの方法
- 7.5 安全運用および保護対策

## 第 8 章 モリブデンるつぼの輸送と保管

- 8.1 パッケージング要件
- 8.2 耐衝撃性と耐湿性
- 8.3 保管環境と条件
- 8.4 在庫管理と品質管理

## 第 9 章 モリブデンるつぼの持続可能性とリサイクル

- 9.1 省エネと排出削減
- 9.2 廃棄物リサイクル技術
- 9.3 リサイクルの経済的および環境的利点
- 9.4 グリーン製造のトレンドと実践

## 第 10 章 モリブデンるつぼの技術的課題と将来の開発

### Copyright and Legal Liability Statement



- 10.1 技術的な課題
  - 10.1.1 抗酸化特性
  - 10.1.2 複雑な形状の製造
  - 10.1.3 コスト管理
- 10.2 新素材と新技術
  - 10.2.1 モリブデン系複合材料
  - 10.2.2 ナノ構造
  - 10.2.3 代替材料
- 10.3 インテリジェントでグリーンな製造
  - 10.3.1 インテリジェント監視
  - 10.3.2 省エネと環境保護
  - 10.3.3 廃棄物のリサイクル
- 10.4 将来のトレンド
  - 10.4.1 高性能設計
  - 10.4.2 クロスドメインアプリケーション
  - 10.4.3 極限環境

## 第 11 章モリブデンるつぼの規格と仕様

- 11.1 国家規格(GB)
  - 11.1.1 GB/T モリブデン材料規格
  - 11.1.2 テストと評価
  - 11.1.3 機器の仕様
- 11.2 国際規格(ISO)
  - 11.2.1 ISO6892 引張試験
  - 11.2.2 ISO 14001 環境マネジメント
  - 11.2.3 ISO 3452 非破壊検査
- 11.3 アメリカンスタンダード(American Standard)
  - 11.3.1 ASTM B386 モリブデン合金
  - 11.3.2 ASTM E384 硬さ試験
  - 11.3.3 ASME 高温容器
- 11.4 その他の国際規格および業界標準
  - 11.4.1 JIS G 0571
  - 11.4.2 DIN EN 10228
  - 11.4.3 GOST 17431
- 11.5 標準の実装と認証
  - 11.5.1 生産とテスト
  - 11.5.2 品質認証
  - 11.5.3 輸出コンプライアンス

## 虫垂

- A. 用語集
- B. 参考文献

### Copyright and Legal Liability Statement

## 第1章 はじめに

### 1.1 モリブデンるつぼの定義と重要性

モリブデンるつぼは、高純度のモリブデン金属を主原料とした耐高温容器で、高温製錬、材料合成、科学研究に広く使用されています。その主な特徴は、高融点(約 2623°C)、優れた耐食性、高温強度、優れた熱伝導率、低い熱膨張係数です。これらの特性により、モリブデンるつぼは極限環境でも構造安定性と化学的不活性を維持できるため、多くの産業や科学研究プロセスで不可欠なツールとなっています。

モリブデンるつぼは、その材料と目的という2つの側面から説明できます。材料の観点から見ると、モリブデンるつぼは通常、純度が 99.95%を超えるモリブデン金属またはモリブデン合金でできており、粉末冶金、鍛造、機械加工、溶接などのプロセスによって形成されます。目的の観点から、モリブデンるつぼは、主に希土類金属の製錬、サファイア結晶成長、半導体材料調製、高温合金合成などの高温環境での材料溶融、蒸発、焼結、結晶成長などのプロセスに使用されます。

#### 重要性

現代の産業および科学研究におけるモリブデンるつぼは、次の側面に反映されています。

高温安定性:モリブデンの高い融点と優れた高温強度により、1100°C〜1700°C 以上の温度で安定して動作し、他の多くの金属るつぼ(アルミニウム、銅、低融点合金るつぼなど)をはるかに超えています。これにより、モリブデンるつぼは、高温製錬および材料合成に適した容器になります。たとえば、希土類金属製錬では、モリブデンるつぼは極端な高温に耐え、化学的安定性を維持して不純物の汚染を回避できます。

耐食性:モリブデンるつぼは、特に希土類金属、酸化物、または特定の腐食性化学物質と接触した場合に、さまざまな酸、アルカリ、熔融金属に対して優れた耐食性を示します。対照的に、タングステンるつぼは、融点が高いにもかかわらず、特定の化学環境ではモリブデンるつぼほど耐食性がない場合があります。

高純度材料の調製:モリブデンるつぼの高純度および低不純物放出特性は、高純度材料の製造に特に適しています。例えば、サファイア結晶の成長過程において、モリブデンるつぼは、結晶の品質と光学特性を確保するために、無公害の高温環境を提供することができます。同様に、半導体業界では、モリブデンるつぼを使用して、高純度のシリコンやその他の化合物材料を調製します。

プロセスの柔軟性:さまざまなアプリケーション要件に応じて、モリブデンるつぼは、機械加工、溶接、リベット留め、スタンピングなど、さまざまな処理方法で調製できます。これらの処理方法により、モリブデンるつぼにはさまざまなサイズ、形状、性能があり、小規模な実験室実験から大規模な工業生産まで、さまざまなニーズに対応します。

#### Copyright and Legal Liability Statement



経済性と寿命:モリブデンるつぼの製造コストは比較的高いですが、その長い耐用年数と高温環境での信頼性により、非常に費用対効果が高くなります。他のるつぼ材料(タンタルるつぼなど)と比較して、モリブデンるつぼは希土類製錬やその他の分野での耐用年数が長く、製造プロセスでの交換頻度とメンテナンスコストを削減します。

科学研究の推進力:科学研究の分野では、モリブデンるつぼは材料科学、物理学、化学実験で広く使用されています。例えば、高温超伝導材料、ナノ材料、新合金の開発において、モリブデンるつぼは安定した実験プラットフォームを提供し、最先端技術の開発を促進します。

## 1.2 歴史的発展と技術の進化

モリブデンが発見され、適用されたのは比較的遅いですが、るつぼ製造におけるその発展は、現代の産業と科学研究に大きな影響を与えています。以下では、モリブデンの発見から、モリブデンるつぼの初期の応用、現代技術の進化までの歴史的発展について詳しく説明します。

### モリブデンの発見と初期応用

モリブデンは、1778 年にスウェーデンの化学者カール・ヴィルヘルム・シェーレによって最初に発見され、モリブデン酸をモリブデン酸から分離し、新しい元素として確認されました。1792 年、別のスウェーデンの化学者がモリブデン酸を還元して金属モリブデンを抽出することに成功しました。融点が高く、加工が難しいため、モリブデンの初期の用途は主に化学試薬と顔料の製造に限定されていました。

19 世紀の終わりに、冶金技術の進歩に伴い、モリブデンは鉄鋼業界の合金元素として使用され始めました。たとえば、モリブデンと鋼の合金は、鋼の高温強度と耐食性を大幅に向上させ、武器製造や機械産業で広く使用されていました。しかし、モリブデンるつぼの開発は、材料の純度と加工技術によってまだ制限されていました。20 世紀初頭になって初めて、粉末冶金技術の台頭により、モリブデンるつぼの製造の基礎が築かれました。

### モリブデンるつぼ

20 世紀初頭、モリブデンるつぼは、研究所や小規模な産業用途に登場し始めました。初期のモリブデンるつぼは、主に粉末冶金によって調製され、すなわち、モリブデン粉末を成形するためにプレスされ、次いで高温で焼結された。この方法では高純度のモリブデンるつぼを製造できますが、るつぼの密度と機械的強度が低いため、高温高圧環境での用途が制限されます。

第二次世界大戦中、軍事および航空産業の急速な発展により、モリブデンるつぼの需要が急増しました。例えば、モリブデンるつぼは、高温合金や特殊材料の製錬に使用され、航空機エンジンや装甲材料の製造を支えました。この期間中、モリブデンるつぼの加工技術

#### Copyright and Legal Liability Statement

が大幅に向上し、るつぼ製造に機械加工および鍛造プロセスが適用されるようになり、製品の密度と耐久性が向上しました。

## 現代のテクノロジーの進化

20 世紀後半、希土類金属、半導体、サファイアクリスタル産業の台頭により、モリブデンるつぼの応用分野は急速に拡大し、製造技術も革命的な進歩を遂げました。以下は、モリブデンるつぼ技術の進化におけるいくつかの重要な側面です。

高純度モリブデン材料:現代のモリブデンるつぼは通常、純度 99.95%以上のモリブデン金属を使用しており、電子ビーム溶融やゾーン溶融などの高度な精製技術により不純物が除去されます。これにより、るつぼの化学的安定性と高温性能が大幅に向上し、高純度材料調製のニーズを満たします。

多様な加工技術:アプリケーション要件に応じて、モリブデンるつぼの製造プロセスは、次のようなさまざまなタイプに発展しました。

機械加工るつぼ:モリブデンロッドまたはモリブデンプレートから旋削、フライス加工、その他のプロセスを経て処理され、高精度で複雑な形状のるつぼに適しています。

溶接るつぼ:モリブデンプレートを切断してカールさせ、真空溶接して製造します。低コストですが、溶接品質を厳密に管理する必要があります。

リベット留めるつぼ:モリブデンプレートを機械的に接続して作られ、大型るつぼの製造に適しています。

スタンプされるつぼ:モリブデンプレートを型に打ち抜くことによって形成され、小さなるつぼの大量生産に適しています。

ドーピングと合金化:モリブデンるつぼの高温強度と耐食性を向上させるために、現代の製造プロセスでは、モリブデンに微量元素(酸化セリウム、水素化チタン、希土類元素など)を添加することがよくあります。たとえば、酸化セリウムを添加すると、希土類製錬におけるモリブデンるつぼの耐用年数を大幅に延ばすことができます。

高度な焼結技術:現代のモリブデンるつぼの焼結プロセスは、通常、酸化を防ぎ、るつぼの密度を高めるために、真空または水素保護雰囲気で行われます。静水圧プレス技術の適用により、るつぼの均一性と機械的特性がさらに向上します。

カスタマイズされた設計:産業および科学研究のニーズの多様化に伴い、モリブデンるつぼのサイズ、形状、性能は、顧客のニーズに応じてカスタマイズできます。例えば、サファイアの結晶成長には大型の厚肉モリブデンるつぼが必要ですが、半導体業界では小型で高精度のるつぼが必要です。

## Copyright and Legal Liability Statement

環境保護と持続可能性:近年、モリブデンるつぼの製造プロセスは、環境保護と資源リサイクルに焦点を当て始めています。例えば、廃モリブデンるつぼは、化学処理や再製錬により金属モリブデンを回収することでリサイクルすることができ、生産コストや環境負荷を低減することができます。

CTIA GROUP LTD は、モリブデンるつぼの研究開発と製造において重要な役割を果たしています。そのウェブサイトは、モリブデンるつぼに関する豊富な技術情報と市場動向を提供しています。たとえば、同社が開発した高純度モリブデンるつぼは、希土類製錬やサファイア結晶の成長に広く使用されています。その製品は、高密度( $\geq 9.8\text{g/cm}^3$ )と長寿命で知られています。

### 1.3 現代産業および科学研究におけるモリブデンるつぼの役割

現代の産業や科学研究において、モリブデンるつぼは、その優れた性能と幅広いアプリケーションシナリオで重要な役割を果たしています。以下では、その役割について、産業応用、科学研究への貢献、将来の動向という3つの側面から詳しく説明します。

#### 産業用アプリケーション

希土類金属製錬:モリブデンるつぼは、希土類金属とその酸化物を製錬するための主要な容器です。希土類金属(ネオジム、ジスプロシウム、テルビウムなど)は高温で非常に腐食性が高く、モリブデンるつぼはこれらの腐食性物質の侵食に効果的に抵抗でき、製錬プロセスの純度と効率を確保します。例えば、NdFeB 磁石の製造では、モリブデンるつぼを使用して高純度のネオジム金属を溶解します。

サファイア結晶の成長:サファイア結晶は、LED 基板、光学窓、時計の鏡に広く使用されています。それらの成長は高温(約  $2050^{\circ}\text{C}$ )で行う必要があります。モリブデンるつぼは、高温安定性と低不純物放出特性により、チョクラルスキー法と熱交換器法を使用した結晶成長に理想的な容器です。

半導体産業:半導体材料(シリコンやガリウムヒ素など)の調製では、モリブデンるつぼが高温蒸発および堆積プロセスで使用されます。その高い純度と耐食性により、半導体材料の品質を確保し、材料の純度に関するチップ製造の厳しい要件を満たします。

高温合金と特殊材料:モリブデンるつぼは、高温合金(ニッケル基合金、チタン合金など)や特殊セラミックスの焼結と溶解に使用されます。これらの材料は、航空宇宙、エネルギー、医療分野で広く使用されています。例えば、航空機エンジンのタービンブレードの製造では、モリブデンるつぼを使用して高温合金原料を溶解します。

太陽光発電と新エネルギー:モリブデンるつぼは、太陽光発電業界でポリシリコンと単結晶シリコンを製造するために使用されます。その高温性能は、シリコンインゴットの製錬と精製をサポートします。また、モリブデンるつぼは、全固体電池や燃料電池材料の研究開発にも利用されています。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## 科学研究への貢献

材料科学:モリブデンるつぼは、新材料を合成するための信頼性の高い実験プラットフォームを提供します。例えば、高温超伝導材料(酸化イットリウムバリウムなど)の調製において、モリブデンるつぼは、複雑な化学反応をサポートするための安定した高温環境を提供することができます。

物理学および化学実験:高温および高圧実験では、モリブデンるつぼを使用して、材料の相転移、熱力学的特性、化学反応速度を研究します。例えば、モリブデンるつぼは、金属-セラミック複合材料の焼結挙動を研究するために使用されます。

ナノテクノロジー:モリブデンるつぼは、ナノ材料(カーボンナノチューブやグラフェンなど)の調製に役割を果たします。その高い温度安定性と化学的不活性は、蒸着や熱分解などのプロセスをサポートします。

エネルギー研究:原子力エネルギーと再生可能エネルギーの分野では、モリブデンるつぼを使用して、高温燃料電池と原子炉材料の性能を研究しています。例えば、モリブデンるつぼは、高温溶融塩反応器の材料の適合性を試験するために使用されます。

## 今後の動向

インテリジェントな製造:インダストリー4.0の進歩により、モリブデンるつぼの製造はよりインテリジェントになります。たとえば、センサーとデータ分析を使用して、焼結プロセスを最適化し、るつぼの密度と一貫性を向上させることができます。

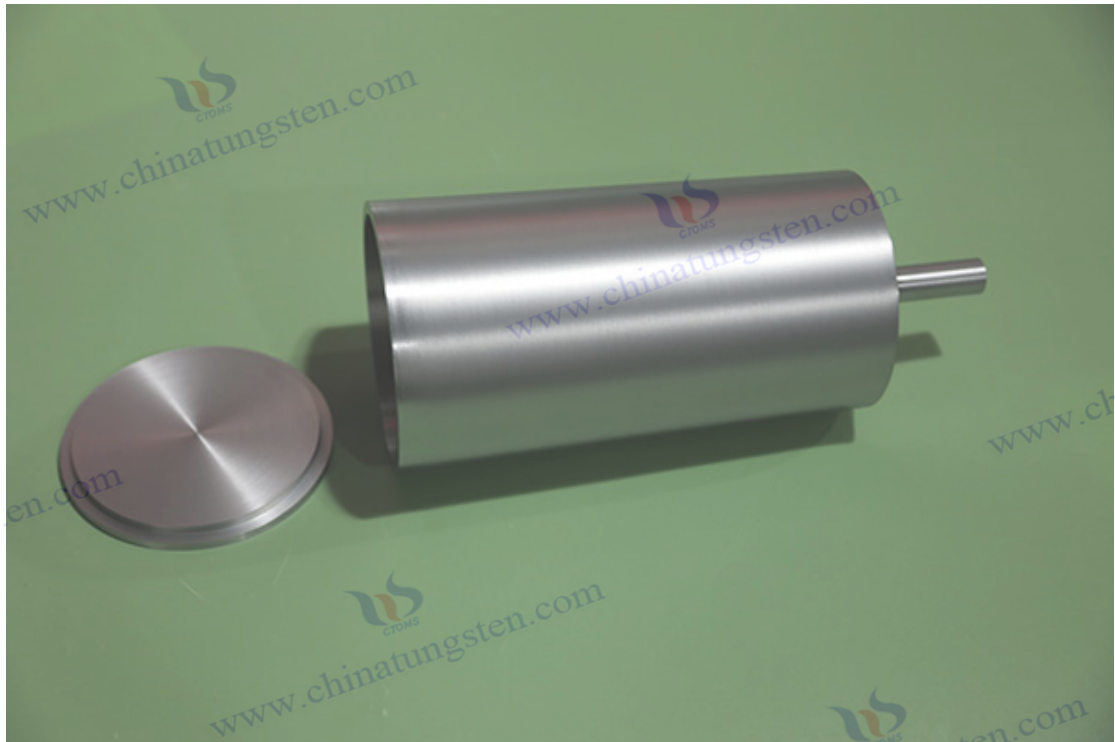
グリーン生産:環境規制の強化により、モリブデンるつぼ製造のグリーン化が促進されました。将来的には、モリブデンるつぼの生産は、環境フットプリントを削減するために、エネルギー効率と廃棄物のリサイクルにもっと注意を払うでしょう。

新素材の開発:モリブデンるつぼは、グラフェン、二次元材料、量子材料などの新興分野の準備においてより大きな役割を果たすでしょう。例えば、モリブデンるつぼは、二次元遷移金属硫化物( $\text{MoS}_2$ など)の高温合成に使用することができます。

業界横断的なアプリケーション:生物医学と宇宙探査の発展に伴い、モリブデンるつぼは、生体材料の高温合成や宇宙環境での材料の調製に使用される可能性があります。

### Copyright and Legal Liability Statement





CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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



## 第2章 モリブデンるつぼの基本原理

### 2.1 モリブデン金属の物理的および化学的性質

モリブデンは、元素記号 Mo と原子番号 42 の遷移金属で、周期表の 6 番目のグループに属します。高融点、耐食性、優れた機械的特性で知られており、モリブデンるつぼの主な材料です。以下では、モリブデン金属の特性と、モリブデンるつぼの性能への影響について、物理的特性と化学的特性の 2 つの側面から詳しく説明します。

#### 物性

##### 融点と沸点:

モリブデンは 2623°C(約 2896K)で、タングステンやレニウムなどの少数の金属に次ぐものです。これにより、モリブデンるつぼは、非常に高温の環境(希土類金属の製錬やサファイア結晶の成長など)でも構造安定性を維持できます。

沸点は約 4639°C であり、モリブデンは高温での揮発性が低く、長期間の高温運転に適していることを示しています。

##### 密度:

モリブデンは 10.28 g/cm<sup>3</sup>で、タングステン(19.25 g/cm<sup>3</sup>)よりも低くなっていますが、他の多くの金属(2.7 g/cm<sup>3</sup>のアルミニウムなど)よりも高くなっています。これにより、モリブデンるつぼは高強度で比較的軽量になり、加工と輸送が容易になります。

##### 熱伝導率と熱膨張係数:

モリブデンの熱伝導率は室温で 138W/(m・K)であり、熱伝導率が高く、熱を迅速に伝達してるつぼ内の均一な温度分布を確保できることを示しています。これは、サファイア結晶の成長など、正確な温度制御が必要なプロセスにとって非常に重要です。

熱膨張係数が低いのは  $4.8 \times 10^{-6}$  /K(20-1000°C)であり、これはモリブデンるつぼのサイズが高温でほとんど変化しないことを意味し、熱応力によって引き起こされる亀裂のリスクを軽減します。

##### 伝導性:

モリブデンの電気伝導率は  $1.9 \times 10^7$  S/m であり、良好な電気伝導率を示しています。これにより、モリブデンるつぼは、真空蒸着コーティングプロセスなど、特定の電気加熱またはプラズマ環境で有利になります。

##### 機械的特性:

モリブデンは、室温で高い硬度(モース硬度約 5.5)と引張強度(約 600-700MPa)を持っています。モリブデンは高温になると強度が低下しますが、ドーピング(酸化セリウムや希土類元素の添加など)により、その高温強度を大幅に向上させることができます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

モリブデンは延性に優れており、鍛造、圧延、延伸により薄板や複雑な形状に加工できます。様々な仕様のるつぼの製造に適しています。

## 化学的性質

### 耐食性:

モリブデンは、室温および中温ではほとんどの酸(塩酸、硫酸など)およびアルカリに対して良好な耐食性を備えていますが、高温では強酸化性酸(硝酸など)または溶融アルカリと反応する可能性があります。

高温の非酸化性雰囲気(真空や不活性ガスなど)では、モリブデンは溶融金属(希土類金属、アルミニウム、マグネシウムなど)や酸化物に対して優れた化学的安定性を示し、高純度材料の製錬に適しています。

モリブデンは酸素と反応しやすく、空気中で 600°C 以上に加熱すると三酸化モリブデンを形成します。したがって、モリブデンるつぼは通常、真空または不活性雰囲気(アルゴンや窒素など)で使用されます。

### 酸化挙動:

低温(<400°C)では、モリブデンの表面に緻密な酸化物保護層が形成され、さらなる酸化を遅らせます。しかし、高温では酸化物が揮発し、モリブデンが急速に酸化されるため、るつぼの寿命を延ばすためには、保護雰囲気や表面コーティング(シリサイドコーティングなど)が必要になります。

### 他の要素との反応性:

モリブデンは、高温では炭素、窒素、硫黄などの非金属とゆっくりと反応しますが、超高温(>1500°C)では炭化モリブデン( $\text{Mo}_2\text{C}$ )や窒化モリブデン( $\text{MoN}$ )を形成し、るつぼの性能に影響を与える可能性があります。したがって、炭素系材料や窒素含有雰囲気を使用する場合は注意が必要です。

モリブデンは、特定の溶融金属(リチウムやナトリウムなど)に対して優れた耐食性を備えていますが、溶融ニッケルまたは鉄合金と接触するとわずかな腐食が発生する可能性があります。

### モリブデンるつぼの性能

モリブデンは、高温環境下でのモリブデンるつぼの性能を直接決定します。例えば、高融点と低い熱膨張係数により、1700°C 以上の環境でのるつぼの構造安定性が確保されます。良好な熱伝導率により、るつぼ内の温度が均一になり、結晶成長の欠陥が減少します。耐食性により、るつぼと溶融材料との間の反応が減少し、製品の純度が確保されます。

## 2.2 高温環境での作業メカニズム

高温環境下でのモリブデンるつぼには、熱伝導、熱放射、化学反応、および機械的応答の

複雑な相互作用が関与します。以下は、熱、化学、機械の3つの側面からその動作原理の詳細な分析です。

## 熱メカニズム

### 熱伝導:

モリブデンるつぼの高い熱伝導率により、外部熱源(抵抗加熱や誘導加熱など)からるつぼの内部にエネルギーを迅速に伝達し、熔融材料または反応物が均一に加熱されるようになります。例えば、サファイア結晶成長では、モリブデンるつぼが均一に加熱することにより、アルミナ熔融物の安定した結晶化を促進します。

不均一な加熱条件下では、モリブデンるつぼの熱膨張係数が低いため、熱応力が減少し、るつぼの亀裂や変形が回避されます。

### 放熱:

高温(>1000°C)では、モリブデンるつぼの表面は熱放射を通じて周囲環境にエネルギーを放出します。モリブデンの放射率は約0.1~0.3です(温度と表面状態によって異なります)。放射率が低いと、熱損失が減り、エネルギー効率が向上します。

熱効率をさらに向上させるために、最新のモリブデンるつぼは、多くの場合、表面を研磨するか、反射コーティング(酸化ジルコニウムコーティングなど)を追加して放射損失を減らします。

### 温度勾配管理:

結晶成長または製錬中、モリブデンるつぼは特定の温度勾配を維持する必要があります。例えば、チョクラルスキー結晶の成長では、結晶成長の方向性を促進するために、るつぼの底部の温度が上部の温度よりもわずかに低い必要があります。モリブデンるつぼの熱伝導率と幾何学的設計(壁の厚さや形状など)は、シミュレーションを通じて最適化し、理想的な温度分布を確保できます。

## 化学的メカニズム

### 化学的安定性:

真空または不活性雰囲気では、モリブデンるつぼはほとんどの熔融金属や酸化物と有意に反応しません。例えば、希土類金属製錬では、モリブデンるつぼはネオジムまたはセリウムの高温腐食に耐え、材料の純度を維持することができます。

酸素含有雰囲気では、モリブデンるつぼは保護雰囲気または表面コーティングによって酸化から保護する必要があります。例えば、シリサイドモリブデン( $\text{MoSi}_2$ )コーティングは、高温で安定した  $\text{SiO}_2$  保護層を形成することができ、るつぼの寿命を大幅に延ばすことができます。

### Copyright and Legal Liability Statement

不純物制御:

高純度モリブデンるつぼ(不純物含有量<0.05%)は、熔融材料との反応を最小限に抑え、汚染を回避します。例えば、半導体シリコンインゴット製造では、モリブデンるつぼの低不純物放出により、シリコンの高純度(>99.9999%)が保証されます。

## 力学

高温強度:

高温でのモリブデンは温度の上昇とともに減少しますが、希土類酸化物( $\text{La}_2\text{O}_3$ や  $\text{CeO}_2$ など)をドーピングした後、その高温強度を大幅に向上させることができます。例えば、セリウムドーピングモリブデンるつぼは、 $1700^\circ\text{C}$  で約 200MPa の引張強度を維持でき、これは長期間の高温運転に適しています。

モリブデンるつぼ(つまり、高温でのゆっくりとした変形)も、粒子の精製とドーピングによって最適化され、るつぼの耐用年数が延長されます。

耐熱疲労性:

モリブデンるつぼは、加熱と冷却を繰り返すサイクル中の熱応力により微小亀裂を生じることがあります。現代の製造プロセスでは、粒径を制御し、酸化物粒子などの強化相を追加することで、るつぼの耐熱疲労性が向上しています。

耐衝撃性:

モリブデンるつぼは、高温でも一定の靱性を維持し、積み下ろし時の機械的衝撃に耐えることができます。たとえば、大型の希土類製錬炉では、モリブデンるつぼは熔融金属の衝撃に壊れることなく耐える必要があります。

## 2.3 他の耐高温材料との比較

タングステン、タンタル、グラファイト、アルミナ、ジルコニアなどの他の高温耐性材料を使用したモリブデンるつぼは、その独自の利点と制限を理解するのに役立ちます。以下は、物理的特性、化学的安定性、コスト、およびアプリケーションシナリオの4つの側面からの詳細な比較です。

### 1. タングステン

物理的特性:

タングステンの融点( $3422^\circ\text{C}$ )はモリブデンの融点よりも高く、高温環境(> $2000^\circ\text{C}$ )に適しています。しかし、タングステンの密度( $19.25 \text{ g/cm}^3$ )はモリブデンのほぼ2倍であるため、タングステンるつぼは重く、加工が困難です。

タングステンの熱伝導率( $173 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ )はモリブデンの熱伝導率よりもわずかに高いですが、その熱膨張係数( $4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$ )はモリブデンの熱伝導率と似ており、熱応力性能は似

#### Copyright and Legal Liability Statement



ています。

#### 化学的安定性:

タングステンは、特に熔融鉄やニッケルと接触した場合、モリブデンよりも熔融金属による腐食に対して耐性があります。しかし、タングステンは酸素を含む雰囲気により速く酸化し、より厳しい保護雰囲気を必要とします。

#### 費用:

タングステンは通常、モリブデンよりも高価であり、硬度が高く脆いため、加工コストが高くなります。モリブデンるつぼは、1700°C 未満の用途により経済的です。

#### アプリケーションのシナリオ:

タングステン るつぼ は、主に超高温環境(モリブデンが耐えられない>2000°C プロセスなど)で使用されますが、モリブデンるつぼは希土類製錬やサファイア結晶の成長により一般的です。

## 2. タンタル

#### 物理的特性:

タンタル(3017°C)の融点はモリブデンとタングステンの間にあり、その密度(16.6 g/cm<sup>3</sup>)はモリブデンよりも高く、タングステンよりも低くなっています。タンタルの熱伝導率(57 W/(m・K))はモリブデンの熱伝導率よりもはるかに低いいため、熱分布にムラが生じます。

#### 化学的安定性:

タンタルは、酸や熔融金属に対して優れた耐食性を持ち、特に強酸性環境ではモリブデンよりも優れています。しかし、タンタルは高温の酸素含有雰囲気では酸化しやすく、厳しい真空環境が必要です。

#### 費用:

タンタルの価格はモリブデンやタングステンよりもはるかに高く、その資源は不足しているため、タンタルるつぼの製造コストが非常に高くなります。通常、特殊な化学プロセスでのみ使用されます。

#### アプリケーションのシナリオ:

タンタルるつぼは、主に腐食性の高い化学反応(フッ化物製錬など)に使用されますが、モリブデンるつぼは、より広範な高温製錬や結晶成長で優位に立っています。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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



### 3. グラファイト

#### 物理的特性:

黒鉛は融点が $>3500^{\circ}\text{C}$ と非常に高いですが、密度( $1.8\text{--}2.2\text{g/cm}^3$ )はモリブデンに比べて格段に低く、軽量で加工が容易です。グラファイト( $100\text{--}200\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )の熱伝導率はモリブデンと同等ですが、熱膨張係数が高いため、熱応力が発生しやすくなります。

#### 化学的安定性:

グラファイトは、非酸化性雰囲気では良好な化学的安定性を持っていますが、酸素含有環境では容易に酸化されるため、空気中での使用が制限されます。グラファイトは、特定の熔融金属と反応して製品を汚染する可能性もあります。

#### 費用:

グラファイトるつぼの製造コストは、大規模で低コストの生産に適したモリブデンの製造コストよりもはるかに低くなっています。ただし、その寿命は短く、頻繁に交換する必要があります。

#### アプリケーションのシナリオ:

グラファイトるつぼは非鉄金属製錬(アルミニウムや銅など)で広く使用されていますが、モリブデンるつぼは高純度で高温のプロセス(半導体シリコン製造など)に適しています。

### 4. アルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )と酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )

#### 物理的特性:

酸化アルミニウムの融点は約  $2072^{\circ}\text{C}$ 、酸化ジルコニウムの融点は約  $2715^{\circ}\text{C}$  で、どちらもモリブデンの融点よりも低くなっています。両方の熱伝導率( $20\text{--}30\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )はモリブデンの熱伝導率よりもはるかに低いため、熱分布が不均一になります。

セラミック材料の密度(アルミナで約  $3.9\text{g/cm}^3$ 、ジルコニアで約  $5.8\text{g/cm}^3$ )はモリブデンよりも低いですが、非常に脆く、熱衝撃による亀裂が発生しやすいです。

#### 化学的安定性:

アルミナとジルコニアは酸化性雰囲気で良好に機能しますが、希土類金属などの特定の熔融金属と接触すると反応し、製品を汚染する可能性があります。

#### 費用:

セラミックるつぼはモリブデンよりも安価ですが、高温高压での寿命が短く、メンテナンスコストが高くなります。

#### アプリケーションのシナリオ:

#### Copyright and Legal Liability Statement

セラミックるつぼは主に小規模な実験室実験や非金属材料の焼結に使用されますが、モリブデンるつぼは工業規模での高温製錬に適しています。

#### 要約

モリブデンるつぼは、1700°C 未満の温度範囲で最高の性能とコストのバランスを持ち、高融点、耐食性、加工の柔軟性を兼ね備えています。タングステンやタンタルと比較して、モリブデンるつぼはより経済的で、加工が容易です。グラファイトやセラミックスと比較して、モリブデンるつぼは高純度と高温安定性に優れています。Chinatungsten Online(news.chinatungsten.com)によると、希土類および半導体産業におけるモリブデンるつぼの市場シェアは、その幅広い適用性を反映して成長を続けています。

## 2.4 熱力学および機械的特性

高温環境下でのモリブデンるつぼは、その作業効率と耐用年数を決定します。以下は、熱力学と力学の2つの側面からの詳細な分析です。

### 熱力学特性

#### 熱容量と比熱:

モリブデンは約  $0.25\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  (室温) は、温度が上昇するとわずかに増加します。比熱容量が低いということは、モリブデンるつぼが加熱中に必要なエネルギーが少なく済み、急速な加熱プロセスに適していることを意味します。

熱容量は、るつぼの質量とサイズに直接関係しています。大型のモリブデンるつぼは加熱時間が長くなりますが、熱伝導率が高いため、このプロセスを効果的に短縮できます。

#### 熱膨張と熱応力:

モリブデン ( $4.8 \times 10^{-6} / \text{K}$ ) は、高温での体積変化を抑制し、熱応力による亀裂のリスクを低減します。例えば、サファイア結晶の成長では、モリブデンるつぼは 2050°C でも形状安定性を保つことができます。

熱応力は、るつぼの肉厚と形状(丸みを帯びたコーナーなど)を最適化することで、さらに低減できます。

#### 位相安定性:

モリブデンは、固体領域(<2623°C)で相変化がなく、熱力学的安定性が高いため、相変化による体積変化や性能低下を回避できます。

融点に近い温度では、モリブデンの蒸気圧は低く(2000°C で約 10 Pa)、材料の損失が減少します。

#### 熱放射とエネルギー損失:

#### Copyright and Legal Liability Statement

モリブデンるつぼは、熱放射損失を低減し、エネルギー利用を改善します。最新のモリブデンるつぼは、表面の研磨やコーティングにより、熱放射性能がさらに最適化されていることがよくあります。

## 機械的特性

高温強度とクリープ:

1700°Cでのモリブデンは約 100~200MPa で、これは多くの金属よりもはるかに高いです。

酸化物( $\text{CeO}_2$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ など)をドーピングすることにより、高温強度を 300MPa 以上に高めることができます。

モリブデンは高温で応力が増加すると加速しますが、結晶粒の精製とドーピングによりクリープを大幅に低減できます。例えば、1700°Cでのセリウムドーピングモリブデンるつぼのクリープ速度は、 $10^{-5}/\text{s}$ 未満に制御できます。

疲労と熱衝撃:

モリブデンるつぼは、繰り返される熱サイクル中の疲労により微小亀裂を生じることがあります。現代の製造プロセスでは、粒径(通常は $<50\mu\text{m}$ )を制御し、強化相を追加することで耐疲労性が向上しています。

モリブデンの強靱性により、急速冷却などの特定の熱衝撃に耐えることができますが、その完全性は維持されます。

硬度と耐摩耗性:

室温でのモリブデンのピッカース硬度は約 200~250HV で、高温ではわずかに減少します。モリブデンドープるつぼの硬度は 300HV まで上げることができ、耐摩耗性が向上し、長期使用に適しています。

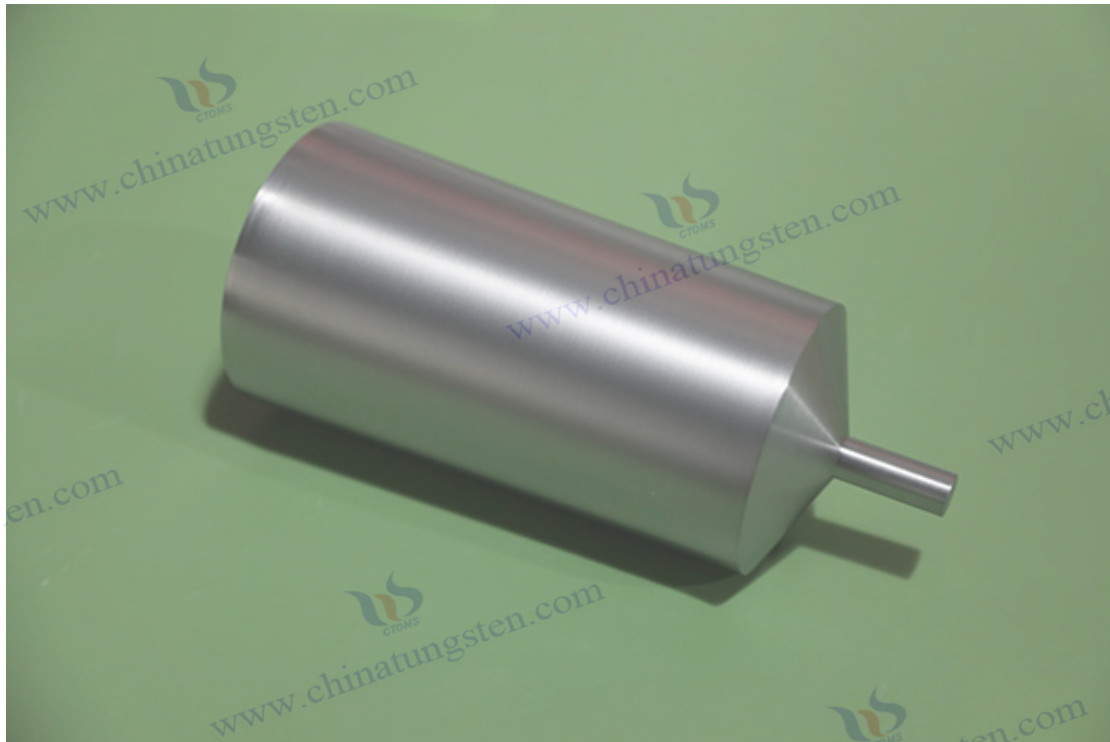
処理性能:

モリブデンは、鍛造、圧延、または機械加工によって複雑な形状のるつぼにすることができます。しかし、モリブデンは室温では脆く、割れを防ぐために高温( $>1000^\circ\text{C}$ )での熱間加工が必要です。

実用化における性能

希土類製錬では、モリブデンるつぼの熱力学および機械的特性により、1700°Cでの長期安定性が保証されます。例えば、モリブデンるつぼは、均一な温度分布を維持しながら、溶融ネオジムの腐食や機械的衝撃に耐えることができます。サファイア結晶の成長では、モリブデンるつぼの低熱膨張と高温強度により、数週間の連続運転をサポートします。

### Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

### 第3章 モリブデンるつぼの性能

#### 3.1 モリブデンるつぼの物理的および化学的性質

モリブデンるつぼは、主にその基本材料であるモリブデンの物理的および化学的特性に由来します。これらの特性は、高温および高腐食環境でのモリブデンるつぼの性能を決定します。以下では、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つの側面から詳しく説明します。

##### 3.1.1 モリブデンるつぼの融点と熱安定性

モリブデンは 2623°C で、既知の金属の中ではタングステン、レニウムに次いで融点が高い材料の一つです。この高融点により、モリブデンるつぼは極めて高温の環境下でも優れた安定性を発揮し、レアアース金属の製錬、サファイア結晶成長、半導体材料調製プロセスで広く使用されています。

熱安定性性能:

モリブデンるつぼは、1700°C 以下の温度でも長時間安定して動作でき、2000°C 以上の温度にも短時間耐えることができます。例えば、サファイア結晶の成長中、モリブデンるつぼは、構造的完全性と化学的安定性を維持しながら、2050°C で数週間連続的に動作する必要があります。

モリブデンの蒸気圧が低い(2000°C で約 10<sup>-5</sup>Pa)ため、高温での材料損失が最小限に抑えられ、るつぼの寿命が延びます。

#### Copyright and Legal Liability Statement



モリブデンるつぼは、その相変化のない特性にも反映されています。モリブデンは、固体領域(<2623°C)で結晶構造変化を受けないため、相変化による体積膨張や性能低下を回避できます。

影響要因:

不純物含有量:高純度モリブデン( $\geq 99.95\%$ )るつぼは、不純物(炭素、酸素など)が高温で局所的な融解や粒界の弱化を引き起こす可能性があるため、低純度製品よりも熱安定性が優れています。

粉末冶金によって調製されたモリブデンるつぼは、熱安定性を低下させる微細孔を有する可能性がある。鍛造または機械加工されたるつぼは、密度が高く、熱安定性が優れています。

保護雰囲気:モリブデンは酸素を含む環境で酸化しやすく、熱安定性を維持するために真空または不活性雰囲気(アルゴン、窒素など)を使用する必要があります。

### 3.1.2 モリブデンるつぼの密度と熱伝導率

密度:

モリブデンは  $10.28 \text{ g/cm}^3$  で、タングステン( $19.25 \text{ g/cm}^3$ )よりも低く、アルミニウム( $2.7 \text{ g/cm}^3$ )よりも高くなっています。この密度により、モリブデンるつぼは高強度で比較的軽量になり、処理、輸送、設置が容易になります。

高密度モリブデンるつぼ(理論密度の 99.5% 近く)は、静水圧プレスと高温焼結によって製造され、るつぼの機械的強度と耐食性を確保します。対照的に、低密度のるつぼ(理論密度 < 95%)は、細孔のために強度が不足している可能性があります。

熱伝導率:

モリブデンの熱伝導率は室温で  $138 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$  で、温度が上昇するとわずかに減少します ( $1000^\circ\text{C}$  で約  $100 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ )。高い熱伝導率により、モリブデンるつぼは熱を迅速に伝達し、内部の温度分布を均一にすることができます。

サファイア結晶の成長では、均一な温度分布が結晶品質にとって重要です。モリブデンるつぼの高い熱伝導率は、温度勾配によって引き起こされる結晶欠陥を低減します。

対照的に、セラミックるつぼ(アルミナなど、熱伝導率が約  $20 \sim 30 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ )の熱伝導率はモリブデンよりもはるかに低いため、熱分布が不均一になり、高精度プロセスでの使用が制限されます。

実用化:

希土類製錬では、モリブデンるつぼの高い熱伝導率が急速な加熱と均一な熔融をサポート

し、生産効率を向上させます。

### 3.1.3 モリブデンるつぼの抗酸化および防食性能

酸化防止特性:

モリブデンは低温(<400°C)で表面に緻密な酸化物層を形成し、さらなる酸化を遅らせます。しかし、高温(>600°C)では酸化物が揮発し、急速に酸化します。

耐酸化性を向上させるために、モリブデンるつぼは通常、真空または不活性雰囲気で使用されます。例えば、半導体シリコンインゴットの製造では、モリブデンるつぼは酸化を避けるために高真空(<10<sup>-4</sup>Pa)環境で運転されます。

表面コーティング技術(モリブデンシリサイド MoSi<sub>2</sub>や酸化ジルコニウム ZrO<sub>2</sub>コーティングなど)は、耐酸化性を大幅に向上させることができます。モリブデンシリサイドコーティングは、高温で安定した SiO<sub>2</sub>保護層を形成し、るつぼの寿命を延ばします。

耐食性:

モリブデンるつぼは、さまざまな熔融金属(希土類金属、アルミニウム、マグネシウムなど)や酸化物に対して優れた耐食性を備えています。例えば、NdFeB 磁石の製造では、モリブデンるつぼは熔融ネオジムの腐食に耐え、製品の純度を維持することができます。

モリブデンは、酸(塩酸や硫酸など)やアルカリに対して優れた耐食性を持っていますが、強酸化性酸(硝酸など)や熔融アルカリで反応する可能性があります。

特定の高温材料(ニッケルや鉄合金など)と接触すると、モリブデンがわずかに腐食する可能性があるため、表面改質または適切な動作条件の選択によって制御する必要があります。

改善策:

希土類酸化物(CeO<sub>2</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など)をドーピングすると、特に熔融希土類金属と接触した場合に、モリブデンるつぼの耐食性を高めることができます。

### 3.1.4 モリブデンるつぼの機械的強度と靱性

機械的強度:

モリブデンは室温で約 600~700MPa ですが、高温(1700°C)では 100~200MPa に低下します。ドーピング(CeO<sub>2</sub>など)により、高温強度を 300MPa まで高めることができます。

モリブデンるつぼは約 200~250 HV で、ドーピング後に 300 HV に達する可能性があり、耐摩耗性と耐衝撃性が向上します。



鍛造モリブデンるつぼは、鍛造プロセスによって細孔が除去され、粒子が精製されるため、粉末冶金るつぼよりも高くなります。

タフネス:

モリブデンは室温では脆性(延性は限定的)ですが、高温(>1000°C)では良好な靱性を示すため、熱間加工や高温運転に適しています。

モリブデンるつぼは、積み下ろし中の機械的衝撃に耐えることができます。たとえば、希土類製錬では、モリブデンるつぼは熔融金属の衝撃に壊れることなく耐える必要があります。

酸化物ドーピングまたは粒度制御(<50 $\mu$ m)により、靱性をさらに向上させ、熱サイクル中の亀裂成長を低減することができます。

実用化:

大型の希土類製錬炉では、モリブデンるつぼの機械的強度と靱性により、高温高压下での信頼性が確保されます。

### 3.2 モリブデンるつぼの熱的および機械的特性

モリブデンるつぼは、特に熱膨張、耐熱衝撃性、クリープ、疲労性能の観点から、高温環境での性能を決定します。以下は詳細な分析です。

#### 3.2.1 モリブデンるつぼの熱膨張と高温変形

熱膨張:

モリブデンは  $4.8 \times 10^{-6}/K$  (20-1000°C) であり、これは多くの金属(アルミニウムなど:  $23 \times 10^{-6}/K$ ) やセラミック(アルミナなど:  $8 \times 10^{-6}/K$ ) よりもはるかに低いです。熱膨張係数が低いいため、高温での体積変化が減少し、熱応力による亀裂のリスクが軽減されます。

サファイア結晶の成長では、モリブデンるつぼの熱膨張が低いいため、るつぼの形状が 2050°C で安定しており、結晶成長の欠陥を回避できます。

高温変形:

高温では、モリブデンるつぼは熱応力や外力によりわずかに変形することがあります。変形の程度は、るつぼの肉厚、形状、および昇温速度に関係しています。

設計の最適化(壁の厚さを増やす、角を丸くするなど)により、変形を減らすことができます。たとえば、大きなモリブデンるつぼの肉厚は通常 10~20 mm で、変形に耐える能力を向上させます。

希土類酸化物をドーピングすることで、高温剛性を高め、変形を減らすことができます。例えば、セリウムドープモリブデンるつぼの 1700°C での変形は、純粋なモリブデンるつ

ばの変形よりも約 20%低くなっています。

### 3.2.2 モリブデンるつぼの耐熱衝撃性

耐熱衝撃性:

モリブデンるつぼは、その高い熱伝導率、低い熱膨張係数、および特定の靱性に由来します。これらの特性により、急激な加熱や急冷による熱ストレスに耐えることができます。

希土類製錬では、モリブデンるつぼは室温から 1700°C まで急激な温度上昇を受ける必要があります。その熱衝撃耐性により、るつぼにひびが入りません。

影響要因:

粒度:細粒(<50 $\mu$ m)は、熱応力を分散させ、耐熱衝撃性を向上させることができます。

表面品質:研磨された表面またはコーティングは、表面の欠陥によって引き起こされる亀裂の伝播を減らすことができます。

動作条件:加熱および冷却速度が遅い(例:<10°C/分)と、耐熱衝撃性がさらに向上する可能性があります。

改善策:

酸化物(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など)を添加すると、モリブデンの靱性が向上し、耐熱衝撃性が向上します。

### 3.2.3 モリブデンるつぼのクリープと長期安定性

クリープ特性:

クリープとは、モリブデンるつぼが高温で連続的な応力下でゆっくりと変形することです。1700°C でのモリブデンのクリープ速度は約 10<sup>-5</sup>/s(応力 100MPa)であり、ドーピングにより 10<sup>-6</sup>/s まで低減できます。

クリープ速度は、温度、応力、粒度と密接に関連しています。高温で大きな粒子はクリープを加速します。ドーピングと細かい粒子はそれを遅くしながら。

長期安定性:

モリブデンるつぼは、その耐クリープ性と耐酸化性に依存します。真空または不活性雰囲気では、セリウムドーピングモリブデンるつぼは、1700°C で数千時間、大きな変形なしに動作できます。

改善策:

粒径をコントロール(<30 $\mu$ m)し、耐クリープ性を向上させました。

酸化物または炭化物の強化相(ZrO<sub>2</sub>、TiC など)を追加して、高温剛性を高めます。

### 3.2.4 モリブデンるつぼの疲労と繰り返しの使用

疲労性能:

モリブデンるつぼは、繰り返される熱サイクル中の疲労により微小亀裂を生じることがあります。疲労性能は、粒径、表面欠陥、ドーピング要素に関連しています。

細粒で酸化物をドーブしたモリブデンるつぼは、耐疲労性が高くなります。例えば、セリウムドーブモリブデンるつぼは、1500°C で 200 回以上の熱サイクルに耐えることができます。

再利用:

モリブデンるつぼは、運転条件とメンテナンス対策に依存します。適切な保護雰囲気とゆっくりとした温度上昇と下降の条件下で、モリブデンるつぼは何百回も再利用できます。

表面コーティング (MoSi<sub>2</sub> (モ Si<sub>2</sub>) など) は、疲労亀裂の成長を抑え、サイクル寿命を延ばすことができます。

実用化:

半導体業界では、モリブデンるつぼは複数回の加熱冷却サイクルを経る必要があり、その耐疲労性は製造コストに直接影響します。

### 3.3 モリブデンるつぼの微細構造と性能の関係

モリブデンるつぼは、粒状構造、ドーピング元素、表面形態など、その微細構造と密接に関連しています。以下は詳細な分析です。

#### 3.3.1 粒体の構造と配向

穀物の構造:

モリブデンるつぼは通常 10~100μm です。細粒(<50μm)は、粒界密度を高めることにより、強度、靱性、耐クリープ性を向上させます。

大きな粒子(>100μm)は、高温強度の低下や亀裂成長の促進につながる可能性があるため、現代のモリブデンるつぼは細粒構造を採用する傾向があります。

グレインオリエンテーション:

モリブデンるつぼは、機械的特性に大きな影響を与えます。鍛造または圧延プロセスでは、テクスチャー(<110>配向など)が誘発され、引張強度と耐熱衝撃性が向上します。

粉末冶金るつぼなどのランダム配向の粒子構造は、等方性用途でより一般的ですが、テクスチャー付きるつぼよりもわずかに弱いです。

実用化:

モリブデンるつぼは、一貫した温度分布を確保し、サファイア結晶成長中の結晶欠陥を低減します。

#### 3.3.2 ドーピング要素の影響

ドーピング要素:

一般的に使用されるドーピング元素には、酸化セリウム( $\text{CeO}_2$ )、酸化ランタン( $\text{La}_2\text{O}_3$ )、酸化イットリウム( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )、炭化チタン( $\text{TiC}$ )などがあります。これらの元素は、固溶体強化または第2相強化を通じてモリブデンるつぼの性能を向上させます。

酸化セリウム(0.5-2 wt %)は、粒子を微細化し、高温強度と耐クリープ性を向上させ、耐食性を高めることができます。

酸化ランタンは、靱性と耐熱衝撃性を向上させるため、リサイクルシナリオに特に適しています。

作用機序:

ドーピング元素は、粒界でピンニング効果を形成し、粒の成長とクリープを抑制します。

酸化物粒子は、熱応力を分散させ、亀裂の成長を抑えることができます。

ドーピングは、モリブデンの耐酸化性も向上させることができます。例えば、酸化セリウムは、安定した保護層の形成を促進することができる。

### 3.3.3 表面形態と高温性能

表面形態:

モリブデンるつぼは、その高温性能に重要な影響を及ぼします。研磨面( $R_a < 0.8\mu\text{m}$ )は、亀裂の発生点を減らし、耐熱衝撃性と耐食性を向上させることができます。

表面が粗い( $R_a > 2\mu\text{m}$ )と、応力集中により亀裂が発生し、寿命が短くなることがあります。

表面改質:

コーティング( $\text{MoSi}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ など)は、表面の耐酸化性と耐食性を向上させることができます。例えば、 $\text{MoSi}_2$ (モスィイ)コーティングは  $1700^\circ\text{C}$  で  $\text{SiO}_2$ (酸化チタン)保護層を形成し、るつぼの寿命を大幅に延ばします。

プラズマ溶射または化学気相成長(CVD)は、均一な表面コーティングを生成して、高温性能を向上させることができます。

実用化:

半導体業界では、研磨されたモリブデンるつぼの表面欠陥が少ないため、高純度シリコンの調製が保証されます。

## 3.4 モリブデンるつぼの寿命と信頼性

モリブデンるつぼは、その産業用途の重要な指標です。以下は、寿命に影響を与える要因、故障モード、信頼性試験方法の3つの側面から分析したものです。

### 3.4.1 寿命に影響を与える要因

動作条件:

温度:1700°C を超える動作温度は、クリープと酸化を加速し、寿命を縮めます。

雰囲気:酸素を含む雰囲気は急速な酸化を引き起こし、真空または不活性ガスの保護が必要です。

サーマルサイクリング:頻繁な加熱-冷却サイクルは、疲労亀裂のリスクを高めます。

材料の品質:

高純度 Mo( $\geq 99.95\%$ )およびドーパ Mo るつぼは、低純度製品よりも大幅に長くなります。微細な粒子と均一な微細構造が長寿命につながります。

加工技術:

鍛造または機械加工されたるつぼの密度と機械的特性は、粉末冶金るつぼの密度と機械的特性よりも優れており、寿命が長くなります。

溶接るつぼの溶接品質は耐用年数に重要な影響を及ぼし、厳密に制御する必要があります。

### 3.4.2 故障モード解析

酸化不良:

酸素含有雰囲気中では、 $\text{MoO}_3$ (約 1)がモリブデンるつぼの表面に形成されて揮発し、材料の損失や細孔形成を引き起こします。

解決策:保護雰囲気または酸化防止コーティングを使用してください。

クリープ障害:

高温では、継続的な応力によりるつぼがゆっくりと変形し、最終的には故障します。

解決策:酸化物をドーピングするか、結晶粒構造を最適化します。

熱疲労破壊:

熱サイクルが繰り返されると、微小亀裂の成長が誘発され、るつぼの破裂が引き起こされました。

解決策:表面を磨き、粒子を洗練し、ゆっくりと温度を上げ下げします。

腐食障害:

熔融金属または酸化物との反応により、るつぼ壁の薄化または穿孔が発生します。

解決策:耐食性のドーパ材料を選択するか、保護コーティングを追加します。

### 3.4.3 信頼性試験方法

高温クリープ試験:

1700°C で一定の応力を加え、クリープ率と変形を測定して長期安定性を評価しました。

標準:ASTM E139(クリープ試験仕様)。

サーマルサイクルテスト:

実際の運転条件を模擬し、複数回の加熱・冷却サイクルを行い、き裂の形成と成長を観察しました。



規格:ISO 1893(耐火材料の熱衝撃試験)。

抗酸化試験:

酸素含有雰囲気中で 600～1000℃ に加熱し、酸化重量増加または材料損失を測定します。

標準:ASTM G54(高温酸化試験)。

腐食試験:

るつぼは熔融金属または酸化物にさらされ、肉厚の損失と表面変化が測定されます。

標準:ASTM G31(腐食試験仕様)。

### 3.5 中国タングステンインテリジェントモリブデンるつぼ MSDS

製品安全データシート(MSDS)は、モリブデンるつぼの使用、保管、取り扱いに関する安全ガイダンスを提供します。以下は、業界標準と Chinatungsten Online 情報に基づく Chinatungsten インテリジェントモリブデンるつぼの MSDS の要約です。

#### 1. 製品の識別

製品名:モリブデンるつぼ

化学名:モリブデン(Mo)

CAS 番号:7439-98-7

#### 2. 危険源の特定

物理的状态:固体金属、銀白色、無臭。

主な危険:

酸化モリブデン( $\text{MoO}_3$ )蒸気は高温で放出される可能性があり、吸入すると呼吸器刺激を引き起こす可能性があります。

ほこりや切りくずは、皮膚や目の炎症を引き起こす可能性があります。

環境への影響:モリブデンは低毒性の金属ですが、廃棄物は規制に従って処理する必要があります。

#### 3. 成分情報

主成分:モリブデン( $\geq 99.95\%$ )

不純物:炭素( $< 0.01\%$ )、酸素( $< 0.005\%$ )、窒素( $< 0.003\%$ )

ドーピング元素:酸化ランタン( $\text{La}_2\text{O}_3$ , 0.5-1%)

#### 4. 応急処置

吸入:症状が続く場合は、被害者を新鮮な空気に移動し、医師の診察を受けてください。

皮膚に付着した部分:露出した部分を石鹸と水で洗い、刺激が発生した場合は医師に相談してください。

アイコンタクト:少なくとも 15 分間多量の水ですすぎ、必要に応じて医師の診察を受けてください。

#### Copyright and Legal Liability Statement



摂取:まれですが、発生した場合はすぐに医師の診察を受けてください。.

## 5. 消防対策

消火方法:乾燥粉末または二酸化炭素消火器を使用し、水は使用しないでください。

酸化モリブデン蒸気は高温で放出される可能性があります。消防士は呼吸保護具を着用する必要があります。

## 6. 漏れ処理

洗浄方法:漏れたモリブデンのほこりや破片を集めて、ほこりを避けるために密閉容器に入れます。

保護対策:防塵マスク、手袋、ゴーグルを着用してください。

## 7. 取り扱いと保管

操作上の注意:

ほこりが発生しないように、換気の良い場所で使用してください。

高温運転は、酸化を防ぐために真空または不活性雰囲気で行う必要があります。

保管条件:

乾燥した涼しい場所に保管し、強い酸化剤との接触を避けてください。

表面の酸化を防ぐために、防湿包装を使用してください。

## 8. 曝露制御と個人保護

エンジニアリングコントロール:局所的な排気換気を使用して、ほこりや蒸気を制御します。

個人用保護具:

呼吸保護具:NIOSH 認定の防塵マスク。

手の保護:高温耐性手袋。

目の保護具:安全ゴーグル。

暴露限界:OSHA PEL(モリブデン):5 mg /m<sup>3</sup>(呼吸性粉塵)。

## 9. 物理的および化学的性質

融点:2623°C

密度:10.28 g /cm<sup>3</sup>

熱伝導率:138 W /(m · K)

溶解性:水に不溶、硝酸および溶融アルカリに可溶。

## 10. 安定性と反応性

安定性:室温で安定しており、高温で酸化されやすい。

避けるべき条件:酸素含有雰囲気、強酸化剤、高温の裸火。

相容れない材料:強酸、強塩基、酸化剤。

### Copyright and Legal Liability Statement

#### 11. 毒物学的情報

急性毒性:低毒性。高濃度のモリブデン粉塵を吸入すると、軽度の呼吸器刺激を引き起こす可能性があります。

慢性毒性:長期暴露は肺の炎症を引き起こす可能性があり、定期的な健康診断が必要です。

発がん性:IARC では発がん性物質に分類されていません。

#### 12. 生態情報

環境への影響:モリブデンは低毒性の金属ですが、水質汚染を避けるために廃棄物を適切に処理する必要があります。

生体内蓄積性:有意な生体内蓄積性はありません。

#### 13. 廃棄物処理

廃棄方法:地域の規制に従ってリサイクルするか、専門機関に取り扱いを委託してください。

注意: ほこりの拡散を防ぐために、直接投棄しないでください。

#### 14. 配送情報

輸送分類:非危険物。

梱包要件:輸送の安全性を確保するために、防湿および耐衝撃性の梱包を使用してください。

#### 15. 規制情報

国際規制:OSHA、REACH、RoHS の要件に準拠。

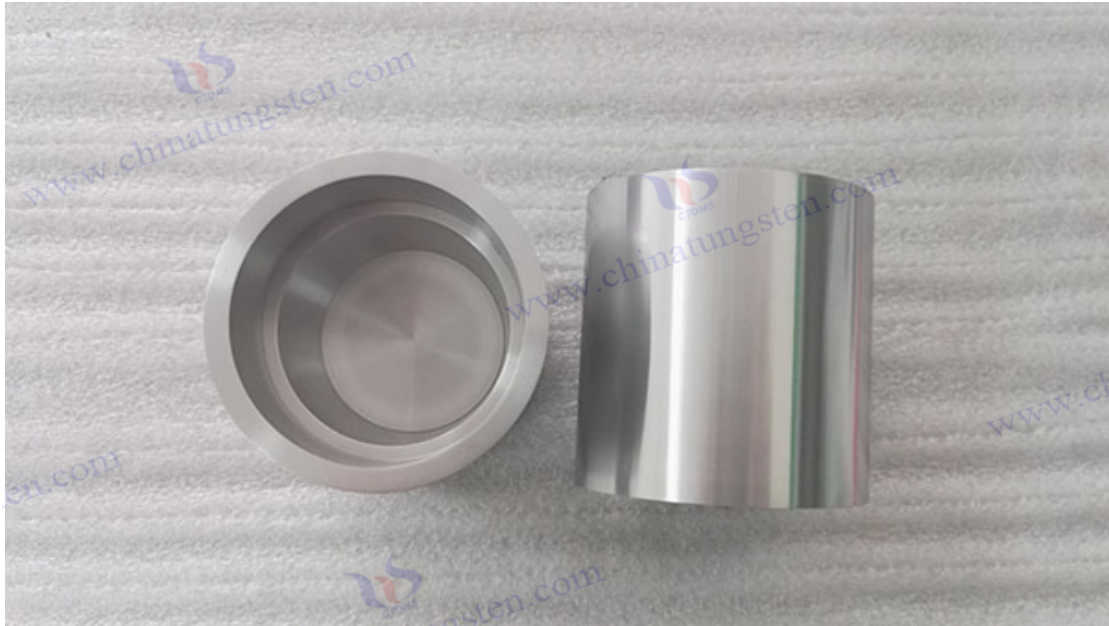
中国の規制:有害化学物質の安全管理に関する規制を遵守します。

#### 16. その他の情報

サプライヤー:CTIA GROUP LTD

電話番号:0592-5129696/5129595

#### Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第4章 モリブデンるつぼの使用

モリブデンるつぼは、融点が高く(2623°C)、優れた耐食性、高温安定性により、多くの産業や科学研究分野で広く使用されています。この章では、結晶成長、高温製錬および溶融、真空および高温熱処理、科学研究および実験室への応用、および新興分野でのモリブデンるつぼの具体的な使用について、プロセスの詳細、性能要件、およびグローバルな業界慣行をカバーしながら詳しく説明します。

### 4.1 結晶成長

モリブデンるつぼは、結晶成長の分野、特にサファイア、シリコン単結晶、その他の結晶材料の調製において重要な役割を果たします。その高純度( $\geq 99.95\%$ )、低不純物放出、および高温安定性により、結晶の高品質が保証されます。

#### 4.1.1 サファイアクリスタル(チョクラルスキー法、熱交換法)

サファイア( $Al_2O_3$ )単結晶は、その高い硬度(モース硬度 9)、優れた光学的透明性、および熱安定性により、LED 基板、光学窓、時計ミラー、レーザーに広く使用されています。モリブデンるつぼは、サファイア結晶の成長に不可欠な容器であり、主にチョクラルスキー法と熱交換器法(HEM)で使用されます。

#### チャイの方法:

プロセスの概要:チョクラルスキー法は、モリブデンるつぼ(約 2050°C)で高純度アルミナを溶解し、種結晶を使用して溶融物から単結晶をゆっくりと引き出します。モリブデンるつぼは、安定した結晶成長を確保するために、高温に耐え、均一な温度分布を維持する必要があります。

#### Copyright and Legal Liability Statement

モリブデンるつぼの要件:

高温安定性:モリブデンるつぼは、変形や亀裂を防ぐために、2050°C で構造的完全性を維持する必要があります。

高純度:不純物(炭素や鉄など)が溶融物を汚染し、結晶の光学特性に影響を与える可能性があります。モリブデンるつぼの純度は通常、 $\geq 99.95\%$ である必要があります。

熱伝導率:モリブデンの高い熱伝導率( $138 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ )により、均一な溶融温度が保証され、結晶欠陥が減少します。

サイズと設計:チョクラルスキー法では、鍛造または溶接で調製した大型のモリブデンるつぼ(直径 200~500 mm、壁厚 10~20 mm)が必要です。

#### 熱交換方法:

プロセスの概要:熱交換法は、モリブデンるつぼでアルミナを溶かし、底部冷却と上部加熱を使用して温度勾配を形成し、結晶の下から上への成長を促進します。この方法は、大きなサファイアクリスタル(直径 $>300\text{mm}$ )の製造に適しています。

モリブデンるつぼの要件:

耐熱衝撃性:熱交換法には複雑な温度勾配が含まれ、モリブデンるつぼは亀裂のない急速な熱サイクルに耐える必要があります。

耐食性:モリブデンるつぼは、溶融アルミナによるわずかな腐食に耐える必要があります。酸化セリウム( $\text{CeO}_2$ )をドーピングすることで、耐食性を高めることができます。

機械的および熱的ストレスに耐えるために、壁が厚い(15-30 mm)モリブデンるつぼ。

#### 4.1.2 シリコン単結晶(チョクラルスキー法)

半導体および太陽光発電産業の中核材料であり、チップ製造や太陽電池に広く使用されています。チョクラルスキー法は、シリコン単結晶を製造するための主要な方法であり、モリブデンるつぼは、いくつかの特別なプロセスで補助容器または高温成分として使用されます。

プロセスの概要:

チョクラルスキー法は通常、石英るつぼを使用して高純度シリコン( $>99.9999\%$ )を溶解しますが、一部の高温補助プロセス(シリコンインゴット精製や特殊ドーピングなど)では、モリブデンるつぼを使用して高温シリコン溶融物または関連材料を取り扱います。

モリブデンるつぼは、その高い温度安定性と耐食性により、チョクラルスキー機器のホットフィールドコンポーネント(熱シールドやヒーターサポートなど)にも使用されます。

モリブデンるつぼの要件:

高純度:シリコン溶融物の汚染を避けるために、モリブデンるつぼの不純物放出を極端に低くする必要があります。

耐食性:シリコンメルト(約  $1414^\circ\text{C}$ )は、モリブデンるつぼの腐食がほとんどありませんが、長期間の使用では微量侵食を防ぐ必要があります。

#### Copyright and Legal Liability Statement



熱安定性:モリブデンるつぼは、チョクラスキー法の熱環境に適応するために、1500～1600℃で性能を維持する必要があります。

#### 実用化:

半導体業界では、モリブデンるつぼは、ホウ素ドーパまたはリンドーパシリコン結晶の調製など、特殊なシリコン単結晶のドーピングプロセスで使用されます。シリコン単結晶の製造における高純度モリブデンるつぼの補助的な適用により、結晶の純度と生産効率が向上します。

制限事項:チョクラスキー法でのモリブデンるつぼの直接使用は、石英るつぼのコスト優位性によって制限されますが、それでも高純度または特別なプロセスではかけがえのないものです。

### 4.1.3 その他の結晶材料

モリブデンるつぼは、ガリウムヒ素(GaAs)、リン化インジウム(InP)、タンタル酸リチウム(LiTaO<sub>3</sub>)、水晶などの他の結晶材料の成長にも使用されます。

#### ガリウム砒素およびリン化インジウム:

用途:ガリウムヒ素とリン化インジウムは、5G通信および光電子デバイスで 사용되는高周波半導体材料です。

プロセス:水平ブリッジマン法または垂直勾配凝固法(VGF)では、モリブデンるつぼは溶融と結晶成長に使用され、1200～1400℃で操作する必要があります。

要件:モリブデンるつぼは、ヒ素またはリン蒸気による腐食に耐える必要があり、通常は耐久性を高めるために表面コーティング(MoSi<sub>2</sub>など)でコーティングされています。

#### タンタル酸リチウムと水晶:

アプリケーション:タンタル酸リチウムは弾性表面波装置に使用され、水晶振動子は発振器やセンサーに使用されます。

プロセス:モリブデンるつぼは、チョクラスキープロセスまたは溶融プロセスの容器として使用され、動作温度は通常1200～1600℃です。

要件:モリブデンるつぼは、結晶の光学的および電気的特性を確保するために、安定した熱場と低不純物環境を提供する必要があります。

## 4.2 高温製錬と溶融

モリブデンるつぼは、希土類金属、非鉄金属、合金、貴金属を高温製錬および溶融で処理するために使用されます。その耐食性と高温強度により、理想的な選択肢となっています。



## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

#### 4.2.1 希土類金属

希土類金属(ネオジム、セリウム、ジスプロシウムなど)は、磁石、合金、触媒への用途により、高い需要があります。モリブデンるつぼは、希土類金属製錬における製錬および精製に使用されます。

プロセスの概要:

希土類金属は、通常 1500~1700°C の動作温度で、電気分解または真空製錬によって酸化物またはハロゲン化物から抽出されます。

モリブデンるつぼは、熔融希土類金属の強い腐食性に耐え、高純度を維持する必要があります。

モリブデンるつぼの要件:

高温で腐食性。モリブデンるつぼは、耐食性を高めるためにドーパ(CeO<sub>2</sub>など)または表面コーティングする必要があります。

高温強度:モリブデンるつぼは、変形や亀裂を防ぐために、機械的強度を 1700°C に維持する必要があります。

低不純物:モリブデンるつぼの純度(≥99.95%)により、希土類金属の高純度(>99.9%)が保証されます。

実用化:

NdFeB 磁石の製造では、モリブデンるつぼを使用して高純度ネオジムを溶解し、磁石の高性能要件を満たします。

#### 4.2.2 非鉄金属および合金

モリブデンるつぼは、非鉄金属(アルミニウム、マグネシウム、チタンなど)や高温合金(ニッケル基合金、コバルト基合金など)の製錬に広く使用されています。

プロセスの概要:

非鉄金属および合金は、1200~1800°C の範囲の温度で真空誘導溶融またはアーク溶融によって製造されます。

モリブデンるつぼは、製品の品質と一貫性を確保するために、高純度の金属または合金を溶かすために使用されます。

モリブデンるつぼの要件:

耐食性:モリブデンるつぼは、熔融アルミニウムまたはマグネシウムの腐食に耐える必要があります。酸化物をドーピングすることで耐用年数を延ばすことができます。

熱安定性:モリブデンるつぼは、熱応力による変形を避けるために、高温でその形状を維持する必要があります。

サイズの柔軟性:小型の実験室用るつぼ(容量<1 L)から工業用グレードのるつぼ(容量>10 L)まで、モリブデンるつぼはニーズに応じてカスタマイズできます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

実用化:

航空宇宙産業では、モリブデンるつぽを使用してニッケルベースの高温合金を溶解し、タービンブレードやエンジン部品を製造しています。

#### 4.2.3 貴金属の精製

モリブデンるつぽは、貴金属(金、銀、プラチナ、パラジウムなど)の精製と回収における高温製錬および精製に使用されます。

プロセスの概要:

貴金属は、1000~2000°C の範囲の温度で真空溶解または化学精製によって精製されます。

モリブデンるつぽは、貴金属の高純度(>99.99%)と低不純物を確保するための溶融容器として使用されます。

モリブデンるつぽの要件:

化学的不活性:モリブデンるつぽは、汚染を防ぐために溶融貴金属との反応を避ける必要があります。

高純度:モリブデンるつぽ(炭素<0.01%など)の不純物放出が少ないため、貴金属の品質が保証されます。

耐酸化性:酸素含有雰囲気では、モリブデンるつぽは保護雰囲気またはコーティングによって酸化から保護する必要があります。

実用化:

宝飾品やエレクトロニクス業界では、モリブデンるつぽが高純度プラチナの精製に使用され、精密な製造ニーズに対応しています。

### 4.3 真空および高温熱処理

モリブデンるつぽは、真空および高温熱処理プロセスでの材料焼結、焼鈍、および性能最適化に使用され、粉末冶金、航空宇宙、電子産業で広く使用されています。

#### 4.3.1 真空熱処理炉

真空熱処理炉は金属や合金の機械的特性を改善するために使用され、モリブデンるつぽは容器または熱場部品として使用されます。

プロセスの概要:

真空熱処理は、1000-1800°C の温度範囲で  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ Pa の真空環境で行われます。

モリブデンるつぽは、加工する材料(チタン合金、鋼など)の運搬や、熱シールドやヒーターサポートなどの部品として使用されます。

モリブデンるつぽの要件:

耐酸化性:真空環境は、モリブデンの酸化を効果的に防止し、るつぽの寿命を確保します。

高温強度:モリブデンるつぽは高温での機械的ストレスに耐える必要があり、酸化物をド

ーピングすると強度を高めることができます。

熱伝導率:モリブデンの高い熱伝導率により、均一な熱場が確保され、熱処理効果が最適化されます。

実用化:

航空宇宙産業では、モリブデンるつぼはチタン合金の真空熱処理に使用され、強度と耐食性が向上しています。

#### 4.3.2 粉末冶金と焼結

粉末冶金は、プレスと焼結によって高性能材料を準備し、モリブデンるつぼは高温焼結プロセスで使用されます。

プロセスの概要:

金属またはセラミック粉末をモリブデンるつぼで 1200~1800°C で焼結し、緻密な材料を形成します。

モリブデンるつぼは、酸化や汚染を防ぐために、真空または不活性雰囲気で作動する必要があります。

モリブデンるつぼの要件:

化学的安定性:モリブデンるつぼは、製品の純度を維持するために粉末材料との反応を避ける必要があります。

耐クリープ性:長期間の高温運転では、モリブデンるつぼのクリープ率を低くする必要があります。

表面品質:研磨面(Ra<0.8μm)により、粉体の付着を抑え、洗浄を容易にします。

実用化:

超硬合金の製造では、モリブデンるつぼを使用して炭化タングステン粉末を焼結し、切削工具の高い硬度と耐摩耗性を確保します。

#### 4.3.3 高温焼鈍

高温焼鈍は、材料の内部応力を排除し、結晶構造を改善するために使用され、モリブデンるつぼは焼鈍容器として使用されます。

プロセスの概要:

アニーリング温度は通常 1000~1600°C で、真空または不活性雰囲気で行われます。

モリブデンるつぼは、金属、合金、またはセラミックのサンプルを保持し、均一な加熱と冷却を保証します。

モリブデンるつぼの要件:

熱安定性:モリブデンるつぼは、変形を避けるために高温で安定した形状を維持する必要

があります。

低熱膨張:モリブデンの低熱膨張係数( $4.8 \times 10^{-6}/K$ )は、熱応力を低減します。

耐食性:モリブデンるつぼは、特定の焼きなまし材料(ニッケル合金など)からのわずかな腐食に耐える必要があります。

実用化:

ステンレス鋼の製造では、モリブデンるつぼは、材料の延性と耐食性を向上させるために、高温焼鈍に使用されます。

#### 4.4 科学研究および実験室への応用

モリブデンるつぼは、科学研究や実験室で高温実験、材料試験、最先端の研究に使用されています。その高い純度と安定性により、正確な実験結果をサポートします。

##### 4.4.1 高温試験装置

モリブデンるつぼは、高温実験装置(管状炉やるつぼ炉など)の反応容器や加熱部品として使用されます。

アプリケーションのシナリオ:

材料合成:モリブデンるつぼは、新しい合金、セラミックス、または複合材料の高温合成に使用されます。

化学反応:モリブデンるつぼは、酸化物還元や蒸着などの高温化学反応をサポートします。

温度範囲:1000-2000°C、通常は真空または不活性雰囲気。

モリブデンるつぼの要件:

高純度:実験結果を妨げる不純物を避けてください。

小型設計:ラボラトリーライセンス要件:ラボ用モリブデンるつぼは通常、取り扱いが簡単な小型(容量<500mL)です。

耐熱衝撃性:急激な温度上昇および下降実験をサポートします。

実用化:

高温超伝導材料(YMCO など)、モリブデンるつぼを使用して超伝導セラミックスを焼結し、高温安定性を確保します。

##### 4.4.2 材料性能試験

モリブデンるつぼは、クリープ、疲労、耐食性などの高温での材料特性の試験に使用されます。

アプリケーションのシナリオ:

クリープ試験:1700°Cで一定の応力が加えられ、材料の変形が測定されます。

腐食試験:材料を熔融金属または酸化物にさらして、耐食性を評価します。

熱疲労試験:熱サイクルをシミュレートし、亀裂の成長を観察します。

#### Copyright and Legal Liability Statement



モリブデンるつぼの要件:

高温強度:故障することなく長期間のテストをサポートします。

化学的に不活性:試験材料との反応を防ぎます。

表面品質:研磨された表面は干渉を減らします。

実用化:

航空宇宙材料試験では、モリブデンるつぼを使用してニッケル基合金の高温特性を評価します。

#### 4.4.3 核物質および血漿の研究

モリブデンるつぼは、核物質やプラズマ研究における高温実験や材料調製に利用されています。

アプリケーションのシナリオ:

核物質:モリブデンるつぼは、高温溶融塩炉材料の適合性をテストするために使用されます。

プラズマ研究:モリブデンるつぼは、高温で強い放射線にさらされるプラズマ発生器の容器として使用されます。

温度範囲:1500-2000°C、非常に高い耐久性が必要です。

モリブデンるつぼの要件:

耐放射線性:モリブデンるつぼは、中性子線またはプラズマ放射線による損傷に耐える必要があります。

高温安定性:長期間の高温運転をサポートします。

耐食性:溶融塩やプラズマによる腐食に強い。

実用化:

国際熱核融合実験炉(ITER)の研究では、モリブデンるつぼを使用して高温プラズマ材料の性能を試験しています。

#### 4.5 新しいアプリケーション

アディティブ・マニファクチャリング、航空宇宙、核融合などの新興分野でのモリブデンるつぼは、ハイテク産業におけるその可能性を反映して急速に拡大しています。

##### 4.5.1 アディティブ・マニファクチャリング

アディティブ・マニファクチャリング(3D プリンティング)は、複雑な金属部品の製造に使用され、モリブデンるつぼは高温の粉末溶融に役割を果たします。

アプリケーションのシナリオ:

#### Copyright and Legal Liability Statement

レーザーまたは電子ビームの溶融:モリブデンるつぼは、1500～1800℃の温度でチタン合金、ニッケル合金、その他の粉末を溶融するために使用されます。

粉末床溶融結合:モリブデンるつぼは、高温の均一性を確保するための粉末容器として機能します。

モリブデンるつぼの要件:

熱伝導率:急速な溶融と凝固をサポートします。

耐食性:金属粉による侵食に強い。

小型化:小型の3Dプリント装置に適しています。

実用化:

航空部品の製造では、モリブデンるつぼがチタン合金部品の3D印刷に使用され、生産効率が向上します。

#### 4.5.2 航空宇宙

モリブデンるつぼは、航空宇宙分野で高温材料の準備と試験に使用されます。

アプリケーションのシナリオ:

高温合金:モリブデンるつぼは、ニッケルベースまたはコバルトベースの合金を溶かしてタービンブレードを製造するために使用されます。

複合材料:モリブデンるつぼは、1600～1800℃の温度でセラミックマトリックス複合材料(CMC)を焼結するために使用されます。

熱保護材料:モリブデンるつぼは、宇宙船の熱保護材料の性能をテストするために使用されます。

モリブデンるつぼの要件:

高温強度:長期間の高温運転をサポートします。

耐熱衝撃性:急激な熱サイクルに耐えます。

高純度:一貫した材料特性を確保します。

実用化:

ボーイングは、モリブデンるつぼを使用して、次世代エンジンのニーズを満たす高温合金を製造しています。

#### 4.5.3 核融合装置

核融合装置(トカマクや慣性閉じ込め核融合など)には高温の材料が必要であり、モリブデンるつぼは材料の調製と試験に使用されます。

アプリケーションのシナリオ:

プラズマ面材料(PFM):モリブデンるつぼは、タングステンベースまたはモリブデンベース

#### Copyright and Legal Liability Statement

の PFM を 1800~2000℃ の温度で焼結するために使用されます。

燃料容器:モリブデンるつぼは、重水素-トリチウム燃料またはその他の高温材料を溶かすために使用されます。

高温試験:モリブデンるつぼは、核融合環境のシミュレーションと材料特性の試験に使用されます。

モリブデンるつぼの要件:

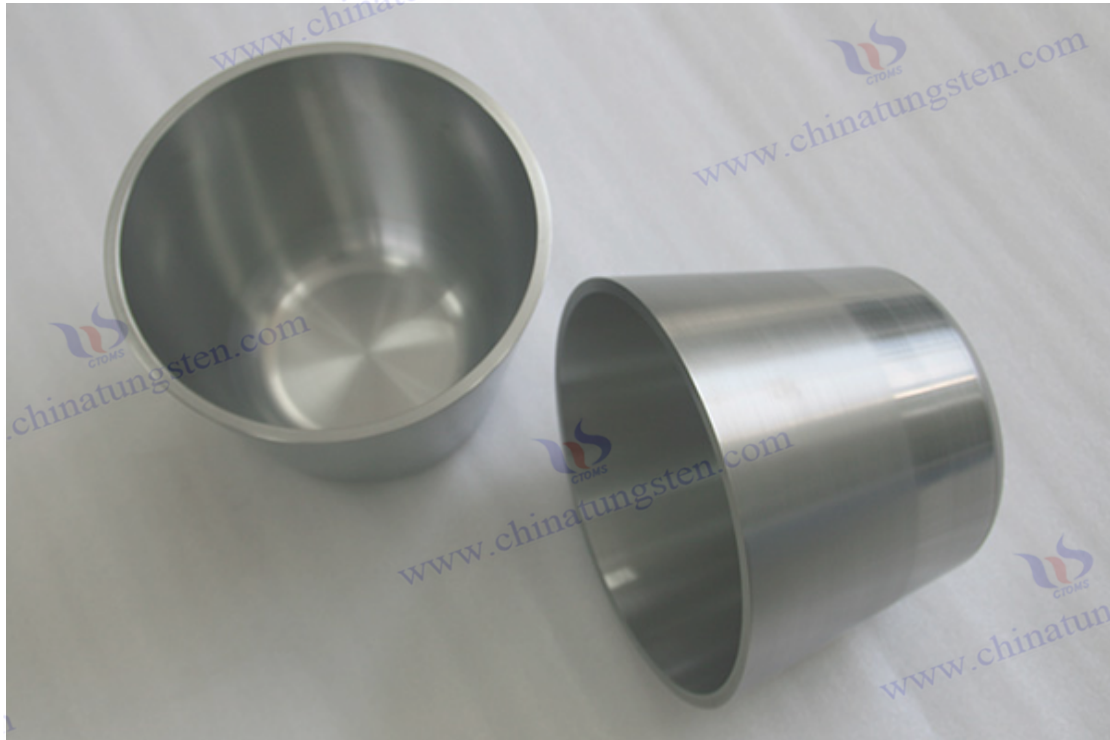
耐放射線性:高エネルギー中性子やプラズマ放射線に耐性があります。

高温安定性:超高温(>2000℃)での動作をサポートします。

耐食性:プラズマや溶融材料による侵食に強い。

実用化:

中国の EAST トカマク装置では、モリブデンるつぼを使用して、プラズマに直面した材料の耐久性を試験しています。



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第5章 モリブデンるつぼの調製プロセスと技術

モリブデンるつぼは、原材料の精製、粉末冶金、精密加工、表面処理を統合した複雑な技術システムです。その目標は、サファイア結晶の成長、希土類製錬、半導体製造などのハイエンドアプリケーションのニーズを満たすために、高純度、高密度、高温、耐食性のるつぼを製造することです。この章では、原材料の選択と準備、冶金プロセス、加工と仕上

### Copyright and Legal Liability Statement

げ、生産設備と自動化などをカバーするモリブデンるつぼの準備プロセスを包括的かつ詳細に調査し、主要なグローバル企業の技術的実践と学術研究を参照して、詳細な技術の詳細とプロセスパラメータを提供します。

## 5.1 原材料の選択と準備

モリブデンるつぼは、原材料の品質、特にモリブデン粉末の純度、粒度分布、微細構造に直接依存します。原材料の選択と調製は、るつぼの性能の一貫性と信頼性を確保するための基礎です。

### 5.1.1 モリブデン鉱石の精製

モリブデンは主にモリブデン( $\text{MoS}_2$ )から抽出され、精製プロセスには、高純度のモリブデン化合物を製造するための鉱石のドレッシング、焙煎、化学処理、精製が含まれます。

#### 鉱石ドレッシング:

プロセスフロー:モリブデンは、破碎、粉砕、浮選によって原石から分離されます。原鉱石には通常 0.1~0.5%のモリブデンが含まれており、浮選後、50~60%のモリブデンを含む濃縮物が得られます。

#### 浮選技術:

コレクター:キサントゲン酸塩(キサント酸ブチルなど、濃度 0.1-0.5 g / L)は、硫化モリブデンの疎水性を高めます。

発泡剤:パインオイル(濃度 0.05-0.2g/L)により、安定した泡が発生します。

阻害剤:ケイ酸ナトリウム(0.5-2 g / L)は、ケイ酸塩ミネラルを阻害し、モリブデン選択性を改善します。

回収率:高品質の浮選プロセスは 90~95%に達することができ、尾鉱中のモリブデン含有量は<0.02%です。

高度な技術:高压研削ローラー(HPGR)は、研削効率を向上させ、エネルギー消費を 20~30%削減できます。多段浮選(荒削り-洗浄-清掃など)は、不純物(Si、Fe、Cu など)をさらに低減します。

#### 焙煎:

プロセスフロー:モリブデン精鉱をロータリーキルンまたはマルチハース炉で 600~700°Cで焙煎し、 $\text{MoS}_2$ を三酸化モリブデン( $\text{MoO}_3$ )に酸化し、反応は  $2\text{MoS}_2 + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{MoO}_3 + 4\text{SO}_2$ です。

#### Copyright and Legal Liability Statement

プロセスパラメータ:

酸素濃度:モリブデンの過度の酸化と揮発を避けるために 20〜25%。

焙煎時間:4〜8 時間、硫黄含有量<0.1%を確保します。

テールガス処理:湿式脱硫( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液)を使用して  $\text{SO}_2$ を除去し、排出基準(中国 GB 28662 など)を満たしています。

設備:ロータリーキルン(直径 1〜3m、長さ 10〜20m)に精密な温度制御システム( $\pm 10^\circ\text{C}$ )を装備し、焙煎効率を向上させます。

#### 化学精製:

アンモニア溶解: $\text{MoO}_3$ はアンモニア水溶液(濃度 10-15%)と反応してモリブデン酸アンモニウム溶液を形成し、これをろ過して不溶性不純物( $\text{SiO}_2$ や  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ など)を除去し、これを焼成( $500-600^\circ\text{C}$ )して  $\text{MoO}_3$ (純度>99.9%)を生成します。

精錬:

電子ビーム溶融:真空度< $10^{-5}\text{Pa}$ 、温度> $3000^\circ\text{C}$  で  $\text{MoO}_3$ を溶解し、揮発性不純物(S や P など)を除去します。

純度>99.95%のモリブデン金属は、局所的な高温(> $2600^\circ\text{C}$ )で複数回精製することにより得られます。

#### 環境保護とリサイクル:

廃液は中和沈殿処理を行い、モリブデン酸アンモニウムを回収します(回収率>80%)。

排ガスは脱硫・除塵後に排出され、 $\text{SO}_2$ 濃度は< $50\text{mg}/\text{m}^3$ で EU REACH 規制に適合しています。

#### 5.1.2 モリブデン粉末の品質要件

モリブデン粉末は、モリブデンるつぼの調製のためのコア原料です。その純度、粒子サイズ、形態、流動性は、るつぼの密度と性能に直接影響します。

純度:

標準:通常のモリブデンるつぼは  $99.95\%\geq$ モリブデン粉末の純度を必要とし、ハイエンドアプリケーション(サファイア結晶成長など)は  $99.99\%\geq$ を必要とします。

不純物の制限:

高温での炭化モリブデン( $\text{Mo}_2\text{C}$ )の。

酸素(O):<0.005%、焼結欠陥を避けるため。

窒素(N):<0.003%、粒界の脆化を低減します。

金属不純物(Fe、Si、Al):<0.001%、溶融純度を確保します。

#### Copyright and Legal Liability Statement



検出方法:

誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS):金属不純物を<0.1ppmの精度で検出します。

酸素・窒素分析装置:OとNの含有量を<0.001%の精度で測定します。

炭素および硫黄分析装置:CおよびS含有量を<0.005%の精度で測定します。

粒子サイズと形態:

粒子サイズ範囲:1~10 $\mu$ m、平均粒子サイズ 3~5 $\mu$ m。微粒子径は焼結活性を向上させ、均一な粒度分布(D50/D90<2)によりピレットの一貫性を確保します。

形態学:ほぼ球形または多面体の粒子、表面積 2~5m<sup>2</sup>/g、棒状または薄片状の粒子(流動性が悪い)を避けます。

生産技術:

プラズマ噴霧:流動性<25 s / 50gの球状モリブデン粉末を生成します。

噴霧乾燥:粒度分布を制御、D50 偏差<0.5 $\mu$ m。

流動性と見かけ密度:

見かけ密度:1.0-2.5 g/cm<sup>3</sup>、できれば 2.0 g/cm<sup>3</sup>以上でプレス効率を向上させます。

流動性:ホール流量<30 s / 50g で、金型の均一な充填を保証します。

試験方法:ASTM B213(流動性試験)、ASTM B212(見かけ密度試験)。

生産プロセス:

水素還元:MoO<sub>3</sub>は、900-1100°Cの水素流(純度99.999%)でモリブデン粉末に還元されます。

このプロセスは、次の 2 つの段階に分かれています。

低温低下(600-800°C):MoO<sub>2</sub>を生成し、酸素含有量を制御します。

高温還元(900-1100°C):モリブデン粉末を生成し、粒子サイズを微細化します。

パラメータの最適化:

水素流量:0.5-2m<sup>3</sup>/h、適切な削減を確保します。

短縮時間:6~12 時間、粒子サイズ<5 $\mu$ m に制御。

### 5.1.3 ドーピングと合金化

ドーピングと合金化は、微量元素や金属を添加することにより、モリブデンるつぼの高温強度、耐クリープ性、耐食性を向上させます。

ドーピング要素:

酸化セリウム(CeO<sub>2</sub>):0.5-2 重量%、粒を微細化(<30 $\mu$ m)、1700°C(>300MPa)で引張強度を高めます。

酸化ランタン(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):0.5-1 重量%、靱性と耐熱衝撃性を高め、サイクル寿命を延ばします。

酸化イットリウム(Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):0.5-1 重量%、耐酸化性と耐食性を向上させます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

炭化チタン(TiC):0.1~0.5 重量%で硬度(>300 HV)と耐摩耗性を向上させます。

ドーピング方法:

ドライミキシング:モリブデン粉末とドーパントは、高エネルギーボールミル(200-400 rpm、2-4 時間)を使用して混合されます。

湿式混合:噴霧乾燥(入口温度 200°C、出口温度 80°C)により、均質な複合粉末を調製しました。

合金:

Mo-W 合金:10~30%のタングステン(www.tungsten.com.cn)を含み、融点は 2800°C に増加し、超高温用途に適しています。

Mo-Re 合金:5~25%のレニウムを含んでおり、室温での靱性と高温強度を向上させます。

Mo-Zr 合金:0.5~2%のジルコニウムを含み、耐食性を高め、希土類製錬に適しています。

合金化方法:

Co-reduction:MoO<sub>3</sub>と WO<sub>3</sub>は水素中で Co-Reduced され、還元温度が制御されます(1000-1200°C)。

メカニカルアロイ:高エネルギーボールミリングは、モリブデン粉末と合金元素を、ボールと材料の比率が 10:1 で 4~8 時間混合します。

パフォーマンスの改善:

- 1700°C でドーピングされたモリブデンのつぼは 10<sup>-6</sup>/s に減少し、耐用年数が 50%延長されます。

Mo-W 合金のつぼは、2000°C で>200MPa の引張強度を維持します。

検出:

走査型電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分散型分光法(EDS)を組み合わせることで、ドーピング元素の分布の均一性が確認されました。

X 線回折(XRD)を使用して相組成を分析し、不純物が生成されていないことを確認します。

#### 5.1.4 原材料試験

厳格な原材料試験により、モリブデン粉末とドーパントの品質が製造の要件を満たしていることが保証されます。

化学組成分析:

ICP-MS:Fe、Si、Al などの金属不純物の検出で、検出限界は<0.05ppm です。

酸素・窒素分析装置:O と N の含有量を<0.001%の精度で測定します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

炭素および硫黄分析装置:C および S 含有量を<0.005%の精度で測定します。

身体性能テスト:

レーザー粒度分布測定器:粒度分布、D10、D50、D90 偏差<0.5 $\mu$ m を測定します。

ホール流量計:試験の流動性、精度 $\pm$ 0.5 秒。

見かけ密度計: $\pm$ 0.01 g/cm<sup>3</sup>の精度でかさ密度を測定します。

微細構造の観察:

SEM:モリブデン粉末の形態を 1000~5000 倍の倍率で分析します。

透過型電子顕微鏡(TEM):ナノスケールの粒子構造を観察し、結晶欠陥がないことを確認します。

ARD:結晶構造を検出し、モリブデン粉末が体心立方体(BCC)構造であることを確認します。

規格と仕様:

ASTM B386(モリブデンおよびモリブデン合金規格)および GB / T 3462(中国モリブデン材料規格)に準拠しています。

ISO 17025 認定試験所は、試験の信頼性を確保します。

## 5.2 冶金プロセス

冶金学的プロセスは、モリブデン粉末を高密度ピレットに変換してモリブデンるつぼの初期構造を形成し、プレスと焼結、鍛造と圧延、紡績、延伸などの技術のカバーします。

### 5.2.1 プレスと焼結

モリブデンるつぼブランクは、粉末成形と高温緻密化によるものです。

#### 5.2.1.1 静水圧プレス

プロセスの概要:

冷間静水圧プレス(CIP)は、高圧液体(油または水)を使用してモリブデン粉末に等方性圧力を加え、高密度ピレットを調製します。

圧力:100~300MPa、できれば 200MPa。

保持時間:ブランクのサイズにもよりますが、5~10 分。

グリーンボディ密度:6.0-7.0 g/cm<sup>3</sup>(理論密度 60-70%)で、焼結に均一な構造を提供します。

備品:

静水圧プレス:圧力範囲 50-400 MPa、高圧ポンプ(出力 50-200 kW)を装備。

金型:柔軟な金型(ゴムやポリウレタンなど)、耐圧性>300 MPa、るつぼ設計(円筒形または円錐形)による形状。

金型設計では、焼結収縮率(15~20%)を考慮して、最終的な寸法精度( $\pm$ 0.5 mm)を確保しま

#### Copyright and Legal Liability Statement

す。

プロセスの最適化:

モリブデン粉末の前処理:真空脱気(200-300°C、真空度 $<10^{-2}$ Pa)により、吸着ガスを除去し、酸素含有量を $<0.005\%$ 削減します。

バインダー:ポリビニルアルコール(PVA、0.5-1 wt%)またはポリエチレングリコール(PEG、0.3-0.8 wt%)を添加すると、ブランクの強度が向上し、焼結前(400-600°C)に揮発する必要があります。

金型充填:振動充填(周波数 50-100 Hz)により、密度偏差 $<2\%$ のモリブデン粉末の均一な分布が保証されます。

ケース:China Tungsten Online の静水圧プレスプロセスは、双方向の振動充填により、ピレットの密度均一性を 15%向上させます。

品質管理:

超音波検査:ブランクに内部に亀裂や層間剥離がないことを確認します。

密度測定:浮力法を使用してブランクの密度を試験し、精度は $\pm 0.01\text{g/cm}^3$ です。

#### 5.2.1.2 焼結炉と雰囲気

焼結プロセス:

温度:1800-2200°C、段階的な加熱:

低温( $<1200^\circ\text{C}$ ):水分、バインダー、ガスを除去し、加熱速度  $5\sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

中温(1200-1600°C):粒子表面の活性化、ネック形成、昇温速度  $3\sim 5^\circ\text{C}/\text{分}$ 。

高温(1600-2200°C):穀物の成長、緻密化、および 4~8 時間の保温。

最終密度: $9.8\sim 10.2\text{ g/cm}^3$ (理論密度 $>95\%$ )、気孔率 $<1\%$ 。

収縮率: $15\sim 20\%$ 、寸法偏差( $\pm 0.2\text{ mm}$ )は、金型設計とプロセス最適化を通じて制御する必要があります。

焼結雰囲気:

真空焼結:

真空度: $<10^{-3}\cdot\text{Pa}$ 、好ましくは $<10^{-4}\cdot\text{Pa}$

利点:酸化を防ぎ、不純物汚染を減らし、高純度につばに適しています。

機器:揮発性不純物(S、P など)を収集するためのコンデンサーを装備しています。

水素焼結:

水素純度:99.999%、流量  $0.5\sim 2\text{m}^3/\text{h}$ 。

利点:微量酸化物を減らし、酸素含有量を $<0.003\%$ に低下させます。

注:炭化を避けるために、炉内の炭素含有量を $<0.01\%$ に制御する必要があります。

#### Copyright and Legal Liability Statement

雰囲気モニタリング:質量分析計を使用して、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO の含有量をリアルタイムで検出し、<10ppm を確保します。

備品:

真空焼結炉:

発熱体:モリブデンまたはタングステン線、電力 100-500kW。

炉:モリブデンまたはタングステンが裏打ちされ、サイズ直径 0.5-2m。

温度制御精度:±5°C、赤外線温度計を装備。

水素焼結炉:

ガス精製システム(モレキュラーシーブ+パラジウム触媒)、水素露点<-70°C を装備。

安全システム:防爆バルブと水素漏れ検出器。

品質管理:

密度試験:アルキメデス法は、焼結ブランクの密度を±0.01 g /cm<sup>3</sup>の精度で測定するために使用されます。

微細構造解析:SEM による粒径(20-50μm)と細孔分布の観察。

非破壊検査:X 線検査では、内部に亀裂や介在物がないことを確認します。

### 5.2.2 鍛造と圧延

鍛造と圧延は、高温塑性変形を通じて細孔を排除し、粒子を微細化し、ピレット密度と機械的特性を改善します。

#### 5.2.2.1 熱間鍛造と冷間鍛造

熱間鍛造:

温度:1200-1600°C、できれば 1400°C、水素(99.999%)またはアルゴン雰囲気で実施。

過程:

装置:油圧鍛造機(圧力 1000-5000 トン)またはハンマー鍛造機(周波数 50-100 回/分)。

変形:パスあたり 10~20%、総変形 30~50%。

金型:モリブデンまたは高温合金、表面は MoS<sub>2</sub>([www.tungsten-disulfide.com](http://www.tungsten-disulfide.com))潤滑剤でコーティングされています。

利点:

密度は理論密度>99.5%に増加しました。

粒径を<50μm に微細化し、引張強度は>800MPa です。

テクスチャー(<110>配向など)を誘発して、耐熱衝撃性を向上させます。

手記:

鍛造速度(<0.1m/s)を制御して、亀裂を防ぎます。

ピレット

冷間鍛造:

#### Copyright and Legal Liability Statement



温度:室温または $<400^{\circ}\text{C}$ 、小さなつぼや薄肉部品の精密鍛造に使用されます。

過程:

設備:高精度鍛造機(圧力 500-2000 トン)。

変形:パスあたり $<10\%$ 、 $<2\%$ 。

制限事項:モリブデンは室温で脆く、亀裂を避けるために制御されたひずみ速度( $<0.01\text{ s}^{-1}$ )が必要です。

用途:肉厚 $<2\text{mm}$ 、表面粗さ  $Ra<0.8\mu\text{m}$  の小型るつぼの製造。

品質管理:

超音波探傷:内部に亀裂や層間剥離がないことを確認します。

硬さ試験:ピッカース硬さ(HV)200-300、加工強化効果を確認。

### 5.2.2.2 ローリングプロセス

プロセスの概要:

圧延プロセスは、溶接または紡績るつぼのために、焼結または鍛造ビレットをモリブデンプレートまたはホイルに加工します。

装置:4 ロールまたはマルチロールミル、ロール表面材料はセラミックまたはタングステン合金、耐摩耗性 $>1000$  時間です。

熱延:

温度:水素または真空環境で  $1000\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 、できれば  $1200^{\circ}\text{C}$ 。

プロセスパラメータ:

パスあたりの変形: $10\sim 20\%$ 、総変形 $>80\%$ 。

圧延速度: $0.5\sim 1\text{ m/s}$ 、ローラー表面圧力  $100\sim 500\text{ MPa}$ 。

潤滑剤:グラファイトまたは  $\text{MoS}_2$ コーティング、摩擦係数 $<0.1$ 。

利点:

密度は理論値( $>99.8\%$ )に近い。

成形 $<110>$ 、テクスチャ、引張強度 $>900\text{MPa}$ 。

手記:

ストレスを和らげるための中間焼鈍( $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、1-2 時間)。

ローラーの表面温度( $<200^{\circ}\text{C}$ )を制御して、付着を防ぎます。

冷間圧延:

温度:室温または $<200^{\circ}\text{C}$ 、薄いモリブデンシート(厚さ  $0.1\sim 1\text{mm}$ )の製造に使用されます。

プロセスパラメータ:

パスあたりの変形: $5\sim 10\%$ 、総変形 $<50\%$ 。

#### Copyright and Legal Liability Statement

圧延速度:1-2 m / s、表面粗さ  $Ra < 0.8 \mu m$ 。

手記:

加工硬化をなくすためには、複数回の焼鈍( $600-800^{\circ}C$ 、30 分)が必要です。

表面洗浄により、潤滑剤の残留物が除去されます。

品質管理:

表面検査:レーザー顕微鏡による粗さ測定、 $Ra < 0.5 \mu m$ 。

厚さ測定:超音波厚さ計、精度 $\pm 0.01 mm$ 。

テクスチャ解析:電子後方散乱回折(EBSD)により、結晶粒の配向を確認します。

### 5.2.3 スピニングとストレッチ

スピニング成形と延伸成形は、塑性変形によって薄肉または複雑な形状のモリブデンのつばを調製するために使用され、中小規模のつばの大量生産に適しています。

#### 5.2.3.1 スピニングサイコロ

プロセスの概要:

スピニングは、モリブデンプレートをスピンし、局所的な圧力を加えて  $800 \sim 1200^{\circ}C$  の温度でつばを形成することによって行われます。

設備:CNC 紡績機、出力 50-200 kW、回転速度 100-600 rpm。

形作る:

材質:高温合金(インコネルなど)またはセラミック( $SiC$ )、摩耗寿命 $> 1000$  回。

デザイン:コーナー半径 $> 2 mm$  で、応力集中を避けます。壁の厚さ 1~5 mm、寸法公差 $\pm 0.1 mm$ 。

表面処理:摩擦を減らすために  $MoS_2$  または  $ZrO_2$  でコーティングします。

プロセスパラメータ:

送り速度:0.5-2 mm / s、できれば 1 mm / s。

圧力:10-50 kN、壁の厚さに応じて調整されます。

潤滑剤:グラファイト懸濁液または  $MoS_2$  コーティング、摩擦係数 $< 0.1$ 。

加熱方法:誘導加熱または火炎加熱、温度制御精度 $\pm 10^{\circ}C$ 。

利点:

肉厚均一性 $\pm 0.1 mm$ 、表面粗さ  $Ra < 0.8 \mu m$ 。

高い生産効率、ワンピース成形時間 $< 10$  分。

品質管理:

レーザー距離計:壁の厚さ、精度 $\pm 0.05 mm$  のリアルタイム監視。

表面検査:光学顕微鏡で傷やひび割れがないことを確認します。

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

### 5.2.3.2 延伸温度と潤滑

ストレッチプロセス:

モリブデンプレートは、600~1000°C、好ましくは 800°C の温度でダイを通してのつぼ形状に引き伸ばされます。

設備:油圧ストレッチマシン、圧力 100-500 トン。

プロセスパラメータ:

引張速度:0.1-0.5 mm / s、変形<30%。

金型のコーナー半径:>3 mm、応力集中を抑えます。

金型:高温合金またはセラミック、表面は Ra<0.5μm に研磨されています。

潤滑:

潤滑剤:グラファイト懸濁液(濃度 5-10%)または MoS<sub>2</sub>粉末、コーティング厚さ 10-50μm。

塗布方法:スプレーまたはブラシ、摩擦係数<0.1。

クリーニング:ストレッチ後、超音波洗浄(40 kHz)を使用して潤滑剤を取り除き、汚染を防ぎます。

品質管理:

壁の厚さの測定:超音波厚さ計、精度±0.01mm。

表面検査:SEM は表面欠陥を分析し、微小な亀裂がないことを確認します。

## 5.3 加工と仕上げ

機械加工および仕上げプロセスは、旋削、フライス加工、溶接、表面処理、熱処理など、モリブデンのつぼの寸法精度、表面品質、および高温性能を保証します。

### 5.3.1 旋削とフライス加工

旋削加工とフライス加工は、モリブデンのつぼの内面と外面を加工し、高精度と高表面品質の要件を満たすために使用されます。

#### 5.3.1.1 CNC 加工

プロセスの概要:

CNC 旋盤:内外の円筒面の加工用で、直径 50~500mm のつぼに適しています。

CNC フライス盤:つぼの底部やフランジなどの複雑な形状の加工用。

ナイフ:

超硬合金(WC-Co):硬度>90HRA、荒加工に適しています。

ダイヤモンドコーティング工具:硬度>5000 HV、仕上げ加工に適しています。

切削データ:

荒加工:切削速度 20-30 m / min、送り速度 0.1-0.2 mm / r、切削深さ 0.5-2 mm。

仕上げ:切削速度 40-50 m / min、送り速度 0.05-0.1 mm / r、切削深さ 0.1-0.5mm。

#### 冷却と潤滑:

ドライカッティング:液体汚染を避け、高純度のるつぼに適しています。

最小限の潤滑(MQL):圧縮空気+微量オイルミスト(<0.1 mL/min)を使用して、ツールの摩耗を減らします。

工具寿命:超硬工具>100 分、ダイヤモンド工具>500 分。

#### 備品:

5 軸 CNC 旋盤:加工精度 $\pm 0.005\text{mm}$ 、レーザー工具設定システムを装備。

マシニングセンター:複雑な形状のるつぼに適した、統合された旋削およびフライス盤の複合機能。

#### 品質管理:

座標測定機(CMM): $\pm 0.002\text{mm}$  の精度で寸法公差を測定します。

レーザースキャナー:真円度と同軸度、偏差<0.01mm を確認します。

#### 5.3.1.2 精度と粗さ

##### 精度要件:

直径公差:大きなるつぼ $\pm 0.05\text{mm}$ 、小さなるつぼ $\pm 0.01\text{mm}$ 。

壁の厚さの均一性: $\pm 0.1\text{mm}$  で、均一な熱場を確保します。

真円度:<0.02mm、熱応力集中を防ぎます。

同軸度:<0.01 mm、結晶成長の要件を満たしています。

##### 表面粗さ:

内面: $Ra < 0.8\mu\text{m}$  で、溶融物の密着性を低減します。

外面: $Ra < 1.6\mu\text{m}$  で、クラックのリスクを軽減します。

##### 検出方法:

表面粗さ試験機:精度 $\pm 0.01\mu\text{m}$ 。

レーザー顕微鏡:3D 形態解析、倍率 1000 倍。

#### 5.3.2 溶接技術

溶接は、大型または複雑な形状のモリブデンるつぼを調製するために使用され、溶接強度、シーリング、および高温性能を確保する必要があります。

##### 5.3.2.1 電子ビーム溶接

##### プロセスの概要:

電子ビーム溶接(EBW)は、真空度<10 $\cdot$  Pa の真空チャンバー内で、高エネルギーの電子ビ

ーム(エネルギー10 $\cdot$  J)を用いてモリブデンシートを溶かします。

##### 溶接パラメータ:

電圧:60-100 kV、できれば 80 kV。

#### Copyright and Legal Liability Statement



電流:50-200 mA、ボードの厚さに応じて調整されます。

溶接速度:0.5~2 m / min、できれば 1 m / min。

溶接シームの深さ:5~10 mm、壁厚が 3~8 mm のるつぽに適しています。

利点:

溶接部は純粋で、酸素汚染がなく、酸素含有量は<0.002%です。

熱影響部(HAZ)は<0.5mm、粒成長は<10 $\mu$ m です。

溶接強度は母材の 90~95%に達します。

プロセスの最適化:

表面前処理:酸洗い(10%HNO<sub>3</sub>溶液)+超音波洗浄(40kHz)で酸化物を除去し、表面粗さ Ra<0.5 $\mu$ m。

位置決め精度:レーザーアライメントシステム、偏差<0.05mm。

後処理:溶接研磨(Ra<0.8 $\mu$ m)により、応力集中を解消します。

品質管理:

X線探傷:欠陥サイズが 0.1mm 未満の細孔や亀裂を検出します。

引張試験:溶接引張強度>600MPa。

ヘリウム質量分析計のリーク検出:気密性を確認し、リーク率は<10<sup>-9</sup>Pa・Pa・メートル<sup>3</sup>/s。

### 5.3.2.2 レーザー溶接とろう付け

レーザー溶接:

機器:ファイバーレーザー(出力 2-5 kW)または Nd:YAG レーザー(パルスエネルギー0.1-1 J)。

プロセスパラメータ:

パルス幅:0.5-2 ms、周波数 10-50 Hz。

溶接速度:1~3 m / min、溶接幅 0.5~2 mm。

シールドガス:アルゴン(99.999%)、流量 10-20 L / min。

利点:

高精度で、肉厚<2mm のるつぽに適しています。

熱影響部は<0.3mm で、穀物の成長を抑えます。

手記:

表面を Ra<0.5 $\mu$ m まで洗浄し、油分、汚れ、酸化物を除去します。

レーザーフォーカス(偏差 0.1mm<)を制御することで、均一な溶接を実現します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

ろう付け:

はんだ:銀ベースのはんだ(Ag-Cu、融点 780-850°C)またはモリブデンベースのはんだ(Mo-Ni、融点 1200°C)。

プロセスパラメータ:

ろう付け温度:800-1200°C、保持時間 5-10 分。

雰囲気:真空( $<10^{-3}$ Pa)または水素(99.999%)。

利点: 複雑な形状のるつぼに適しており、接合強度は $>400$ MPa です。

注:過度の浸透を避けるために、はんだを均一に塗布する必要があります(厚さ 0.1~0.3 mm)。

品質管理:

超音波検査:溶接部に多孔性や融合の欠如がないことを確認します。

微小硬さ試験:溶接硬さ 200-250HV。

SEM 分析:溶接部の微細構造、粒径 $<20\mu\text{m}$ を観察します。

### 5.3.3 表面処理

表面処理は、モリブデンるつぼの耐酸化性、耐食性、表面品質を向上させ、耐用年数を延ばします。

#### 5.3.3.1 クリーニングと研磨

清掃:

超音波洗浄:

周波数:40-80 kHz、電力 1-5kW。

洗浄液:脱イオン水+中性洗剤(pH 6-8)、温度 50-70°C。

時間:汚染の程度に応じて 10~20 分。

酸 洗:

溶液:10%  $\text{HNO}_3$ または 5%  $\text{HCl}$  を 5~10 分間浸します。

後処理:脱イオン水リンス+真空乾燥(100°C、 $<10^{-2}$ Pa)。

品質管理:

表面分析:X 線光電子分光法(XPS)により、残留酸化物がないことが確認されました。

清浄度試験:パーティクルカウンター、パーティクル $<100$  粒子/ $\text{cm}^2$ ( $>0.5\mu\text{m}$ )。

研磨:

機械研磨:

研磨剤:アルミナ(粒子径 0.5-5 $\mu\text{m}$ )またはダイヤモンド懸濁液(粒径 0.1-1 $\mu\text{m}$ )。

設備:自動研磨機、速度 500-1000rpm、圧力 10-50kPa。

#### Copyright and Legal Liability Statement

表面粗さ:  $Ra < 0.5\mu m$ 、好ましくは  $< 0.3\mu m$ 。

電気化学研磨:

電解質: リン酸(50%)+硫酸(30%)+水、温度  $40-60^{\circ}C$ 。

電流密度:  $0.5-2 A/cm^2$ 、時間 5-15 分。

利点: 微細な欠陥を取り除き、耐食性を向上させます。

品質管理:

表面粗さ試験機:  $Ra$  を測定、精度  $\pm 0.01\mu m$ 。

レーザー顕微鏡: 表面の形態を解析し、傷がないことを確認します。

### 5.3.3.2 酸化防止コーティング

コーティングタイプ:

シリサイドモリブデン( $MoSi_2$ ):

厚さ:  $50-200\mu m$ 、接着強度  $> 50MPa$ 。

$1700^{\circ}C$  で  $SiO_2$ (酸化)保護層が形成され、酸化防止寿命は  $> 1000$  時間です。

ジルコニア( $ZrO_2$ ):

厚さ:  $100-300\mu m$ 、熱反射率  $> 80\%$ 。

耐酸化性と熱効率を向上させ、結晶成長に適しています。

アルミナ ( $Al_2O_3$ ):

厚さ:  $50-150\mu m$ 、優れた耐食性、希土類製錬に適しています。

コーティングプロセス:

化学気相成長法(CVD):

温度:  $1000-1200^{\circ}C$ 、雰囲気:  $SiCl_4 + H_2$ 。

成膜速度:  $0.5-2\mu m/h$ 、コーティング均一性  $\pm 5\mu m$ 。

プラズマ溶射:

電力:  $30-100 kW$ 、噴霧速度  $100-400 m/s$ 。

ガス:  $Ar + H_2$ 、流量  $50-100 L/min$ 。

コーティング気孔率:  $< 2\%$ 、接着強度  $> 60MPa$ 。

物理蒸着法(PVD):

温度:  $400-600^{\circ}C$ 、真空度  $< 10^{-4} Pa$ 。

成膜速度:  $0.1-0.5\mu m/min$ 、薄いコーティング ( $< 50\mu m$ ) に適しています。

品質管理:

コーティング厚さ: 超音波厚さ計、精度  $\pm 1\mu m$ 。

接着強度: ASTM C633 規格に準拠した引張試験。

微細構造: コーティング組成と界面の SEM+EDS 分析。

#### Copyright and Legal Liability Statement

### 5.3.4 熱処理と焼鈍

熱処理と焼鈍は、結晶粒構造を制御し、処理応力を緩和し、高温特性を改善するために使用されます。

#### 5.3.4.1 グレインコントロール

プロセスの概要:

温度:1200-1600°C、できれば 1400°C。

絶縁時間:るつぼのサイズに応じて 1~4 時間。

雰囲気:水素(99.999%)または真空( $<10^{-3}$ Pa)。

対象:粒度 20-50 $\mu$ m、強度と耐クリープ性を最適化します。

プロセスの最適化:

加熱速度:5-10°C / min、熱ストレスを避けます。

冷却速度:>50°C/min、穀物の成長を抑制します。

ドーピング:CeO<sub>2</sub>または La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ピン粒界、粒径偏差<10 $\mu$ m。

品質管理:

光学顕微鏡: $\pm 1\mu$ m の精度で粒度を測定します。

BEDS:粒度を解析し、<110>のテクスチャー比が>60%であることを確認します。

#### 5.3.4.2 ストレス解消

プロセスの概要:

温度:800-1000°C、できれば 900°C。

断熱時間:壁の厚さにもよりますが、2~6 時間。

雰囲気:真空( $<10^{-3}$ Pa)またはアルゴン(99.999%)。

目標:残留応力<50MPa、ひび割れリスクの低減

プロセスの最適化:

二次ストレスを避けるために、500°C までゆっくりと冷却(<5°C/分)。

多段アニーリング:800°C(2 時間)+600°C(1 時間)で応力分布を最適化します。

品質管理:

X 線ストレスアナライザー:残留応力を $\pm 5$ MPa の精度で測定します。

超音波探傷:内部に亀裂がなく、欠陥サイズが<0.1mm であることを確認します。

### 5.4 生産設備と自動化

高度な生産設備と自動化技術により、モリブデンるつぼの製造効率、品質の一貫性、生産の安全性が向上します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

### 5.4.1 主要機器

#### 5.4.1.1 真空焼結炉

仕様:

最高温度:2300°C、温度制御精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

真空度: $<10^{-4}\text{Pa}$ 、分子ポンプと機械式ポンプを装備。

電力:100-500 kW、炉のサイズは直径 0.5-2 m。

発熱体:モリブデンまたはタングステンワイヤー、寿命>5000 時間。

機能:

多段温度制御:低温( $<1200^{\circ}\text{C}$ )、中温(1200-1600°C)、高温(1600-2200°C)の焼結をサポートします。

雰囲気制御:統合質量分析計、 $\text{O}_2$ 含有量 $<10\text{ppm}$ 。

データロギング:温度、圧力、ガス流量のリアルタイム監視。

セキュリティシステム:

過熱保護:自動電源オフ、しきい値  $2350^{\circ}\text{C}$ 。

真空リーク検出:アラームしきい値 $>10^{-3}\text{Pa}$ 。

#### 5.4.1.2 紡績機と旋盤

紡績機:

電力:50-200 kW、回転速度 100-600rpm。

制御システム:CNC、加工精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

金型:高温合金またはセラミック、耐摩耗性寿命>1000 回。

機能:薄肉るつぼ(肉厚 1~5mm)の成形をサポートし、成形時間は<10 分です。

CNC 旋盤:

タイプ:5 軸リンケージ、加工直径 0.1-1m。

ツール:ダイヤモンドコーティング、切削速度 30-60 m / min。

精度:寸法公差 $\pm 0.005\text{mm}$ 、真円度 $<0.01\text{mm}$ 。

機能:内部および外部表面仕上げ、表面粗さ  $Ra<0.5\mu\text{m}$  をサポートします。

#### 5.4.1.3 表面処理装置

超音波洗浄機:

周波数:40-80 kHz、電力 1-5kW。

洗浄タンク:マルチタンク設計(洗浄、すすぎ、乾燥)、容量 50-200L。

機能:酸化物、油、粒子、清浄度 $<100$  粒子/ $\text{cm}^2$ )を取り除きます。

血しょう噴霧装置:

電力:30-100 kW、噴霧速度 100-400 m / s。

ガス: $\text{Ar}+\text{H}_2$ 、流量 50-100 L / min。

ロボットアーム:6 軸リンケージ、膜厚均一性 $\pm 5\mu\text{m}$ 。

機能:接着強度 $>60\text{MPa}$  の  $\text{MoSi}_2$ および  $\text{ZrO}_2$ コーティングを生成します。

#### Copyright and Legal Liability Statement



電気化学研磨装置:

電解質:リン酸+硫酸、電流密度  $0.5-2 \text{ A/cm}^2$ 。

機能:表面仕上げ( $Ra < 0.3 \mu\text{m}$ )と耐食性を向上させます。

#### 5.4.2 自動化とインテリジェンス

自動化技術:

ロボットシステム:

ローディングおよびアンローディングロボット:モリブデン粉末の充填、ブランクハンドリング、完成品の包装に使用され、荷重は  $50 \sim 200 \text{ kg}$  です。

溶接ロボット:視覚認識システムを装備、溶接精度 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 。

CNC システム:

統合された CAD/CAM ソフトウェアは、処理パスを最適化し、処理時間を  $10 \sim 15\%$  短縮します。

G コードプログラミングをサポートし、複雑な形状のるつぼと互換性があります。

オンライン監視:

赤外線温度計:焼結温度、精度 $\pm 2^\circ\text{C}$  を監視します。

圧力センサー:静水圧押圧を $\pm 0.1 \text{ MPa}$  の精度で検出します。

レーザースキャナー: $\pm 0.01 \text{ mm}$  の精度でるつぼの寸法をリアルタイムで測定します。

賢い:

インダストリー4.0:

モノのインターネット(IoT):デバイスが接続され、温度、圧力、生産データをリアルタイムでアップロードします。

ビッグデータ分析:プロセスパラメータを最適化し、スクラップ率を $< 1.5\%$ に削減します。

人工知能(AI):

予知保全:振動と温度のデータに基づいて機器の故障を予測し、ダウンタイムを  $20\%$  削減します。

プロセスの最適化:AI モデルが焼結温度と圧力を調整し、密度を  $0.5\%$  増加させました。

デジタルツイン:

るつぼの製造プロセスを仮想的にモデル化し、焼結、鍛造、機械加工をシミュレーションします。

金型設計を最適化し、 $\pm 0.1\%$  の収縮予測精度を達成します。

#### 5.4.3 クリーンルームの要件

クリーンルームは、モリブデンるつぼの製造プロセスが無公害であり、高純度アプリケーションのニーズを満たすことを保証します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

清潔度レベル:

ISO 5(クラス 100):粒子濃度<100 粒/m<sup>3</sup>(粒子径≥0.5μm)

ISO 7(10,000):非クリティカルプロセスの場合、粒子濃度<10,000 粒子/m<sup>3</sup>。

環境制御:

温度:20-25°C、変動±1°C。

湿度:40~60%、変動±5%。

正圧:>10 Pa、外部粒子の侵入を防ぎます。

設備と対策:

高効率フィルター(HEPA):ろ過効率>99.97%、交換サイクル 6~12 ヶ月。

エアシャワー:入口風速>20 m/s で、人の表面の粒子を取り除きます。

ダストフリーフロア:エポキシ樹脂コーティング、表面抵抗 10<sup>6</sup>-10<sup>9</sup>Ω。

人員保護:

クリーンルーム用衣類(ポリエステル)、マスク、手袋、靴カバーを着用してください。

トレーニング:ISO 14644 クリーンルームの運用仕様。

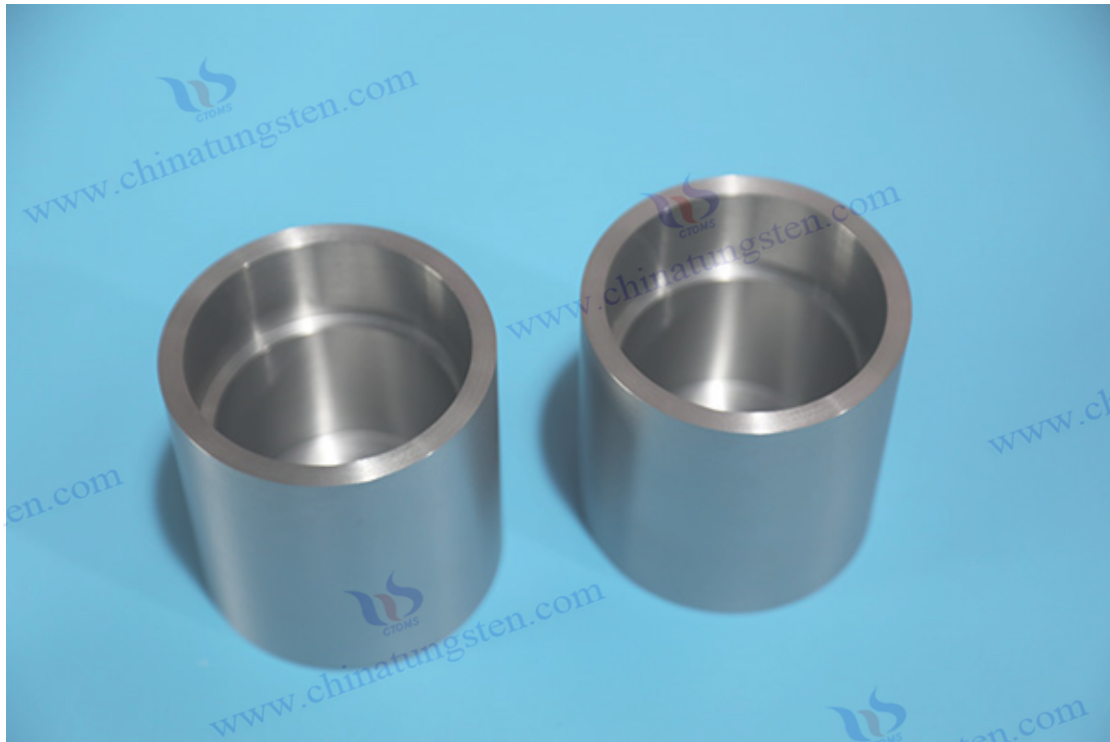
検出方法:

パーティクルカウンター:パーティクルのリアルタイムモニタリング、精度±10 パーティクル/m<sup>3</sup>。

微生物学的サンプリング:毎週の検査、コロニー数<1 CFU/m<sup>3</sup>。

表面清浄度:接触粒子試験、粒子<50 粒子/cm<sup>2</sup>。

Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第 6 章 モリブデンるつぼの品質管理と検査

モリブデンるつぼは、高温、高腐食環境(サファイア結晶成長、希土類製錬、半導体製造など)で安定した性能と信頼性を確保するための重要なリンクです。モリブデンるつぼは、高純度、高密度、優れた機械的特性、および耐食性の要件を満たす必要があります。小さな欠陥が大きな故障につながる可能性があります。この章では、モリブデンるつぼの品質管理と検査技術について、オンライン検査、性能試験、故障解析などを網羅し、世界をリードする企業の実践、業界標準、学術研究を参照して、包括的な技術的詳細と方法論を提供します。

### 6.1 オンライン検出

オンライン検査は、モリブデンるつぼの製造プロセス中に製品の品質をリアルタイムで監視し、寸法精度、表面品質、および微細構造のコンプライアンスを確保します。これらの技術は、非接触または迅速な検査方法により、生産の中断を最小限に抑え、効率を向上させます。

#### 6.1.1 寸法と精度

モリブデンるつぼは、高温環境での熱場の均一性と機械的安定性に直接影響します。オンライン寸法検出により、るつぼの形状、肉厚、真円度が設計要件を満たしていることが保証されます。

検出方法:

#### Copyright and Legal Liability Statement

#### レーザー測距とスキャン:

高精度のレーザー距離計または 3D レーザースキャナーを使用して、るつぼの外径、内径、肉厚、高さをリアルタイムで測定します。

レーザースキャンシステムは、点群データからるつぼの 3D モデルを生成し、真円度、同軸度、表面の平坦度を検出します。

利点:非接触、高速測定、大型るつぼ(直径>300mm)に適しています。

#### 超音波厚さ測定:

超音波厚さ計は、高周波音波(5~10 MHz)を放射してるつぼの肉厚を測定するもので、特に薄肉のるつぼ(<5 mm)に適しています。

CNC 旋盤やスピニングマシンへのオンライン統合により、肉厚データのリアルタイムフィードバックが提供され、処理調整をガイドします。

利点: 高精度で、複雑な形状に適しています。

#### 三次元測定機(CMM):

オンライン CMM は、接触プローブを使用してるつぼの臨界寸法(フランジ径、底面半径など)を測定します。

自動工具交換システムを搭載し、多点測定に対応し、大量生産に適しています。

利点: 高い再現性、高精度るつぼに適しています(公差<0.01mm)。

#### 検出パラメータ:

直径公差:大きなるつぼにはミクロンの公差が必要です。小さなるつぼには、サブミクロンの公差が必要です。

肉厚の均一性:均一な熱場を確保するために、偏差は非常に小さな範囲内で制御する必要があります。

真円度と同軸性:真円度の偏差は非常に低くする必要があり、同軸度は結晶成長装置の厳しい要件を満たす必要があります。

高さ平坦度:高さの許容誤差はミクロンレベルであり、底部の平坦度は熱応力の集中を回避する必要があります。

#### プロセス統合:

オンライン検出システムは、産業用モノのインターネット(IoT)を介して CNC 処理装置に接続され、寸法データはリアルタイムで中央制御システムにアップロードされます。

フィードバック機構:寸法の偏差が検出されると、システムは自動的に処理パラメータ(切削深さ、回転圧力など)を調整します。

統計的プロセス制御(SPC)を通じて寸法傾向を監視し、潜在的な欠陥を予測します。

#### 品質基準:

ASTM B386(モリブデンおよびモリブデン合金規格)および GB/T 3462(中国モリブデン材料規格)に準拠しています。

ISO 9001 品質管理システムでは、オンライン試験装置を定期的に校正し、精度の偏差を

#### Copyright and Legal Liability Statement

<1%にすることを義務付けています。

実用化:

サファイア結晶の成長では、モリブデンるつぼの寸法精度が結晶品質に直接影響します。HC Starck Solutions のオンラインレーザースキャンシステムは、るつぼの直径公差が非常に小さく、チョクラルスキー法の要件を満たすことを保証します。

### 6.1.2 表面欠陥

表面の欠陥(傷、亀裂、酸化物層など)は、高温での亀裂伝播の出発点になったり、溶融汚染を引き起こしたりする可能性があります。オンライン表面検査により、るつぼの表面仕上げと完全性が保証されます。

検出方法:

光学顕微鏡および画像解析:

CCD カメラを搭載した高解像度光学顕微鏡(倍率 50-1000 倍)により、るつぼ表面の画像をリアルタイムで撮影します。

画像処理ソフトウェアは、エッジ検出とグレースケール分析により、傷、くぼみ、マイクロクラックを特定します。

利点: 高感度で、内面検出に適しています。

レーザー散乱検出:

レーザ光(波長 532nm)がるつぼ表面を照射し、散乱光信号で表面欠陥(粗さやクラックなど)を反射します。

光電子増倍管(PMT)を搭載し、散乱光を収集して欠陥分布マップを生成します。

利点: 非接触で、大型るつぼ(>500mm)の高速スキャンに適しています。

渦流探傷:

るつぼの表面は、渦流プローブ(周波数 1~10 MHz)によってスキャンされ、表面近くの亀裂や介在物を検出します。

溶接部のるつぼを溶接して、微小な亀裂や細孔を特定するのに適しています。

利点: 高感度で、金属の内部欠陥に適しています。

検出パラメータ:

表面粗さ:内面は非常に低い粗さ( $Ra < 0.8\mu m$ )である必要があり、外面はわずかに緩い( $Ra < 1.6\mu m$ )必要があります。

ひび割れと引っかき傷:ひび割れの長さはミクロンレベル以下に制御する必要があり、引っかき傷の深さは非常に浅い必要があります。

酸化物層と汚染:表面に酸化物の残留物がなく、粒子の汚染は非常に低い( $< 100$  粒子/ $cm^2$ 、粒子サイズ $> 0.5\mu m$ )必要があります。

プロセス統合:

#### Copyright and Legal Liability Statement



オンライン表面検査システムは、研磨、洗浄、コーティング装置とリンクしており、欠陥データのリアルタイムフィードバックを提供します。

自動選別:不適格なるつぼはロボットアームによってリワークエリアに送られ、不適格なるつぼは次のプロセスに入ります。

データトレーサビリティ:各るつぼの表面検査データをクラウドに保存し、品質トレーサビリティをサポートします。

品質基準:

ISO 4287(表面粗さ規格)および ASTM E407(金属表面試験規格)に準拠しています。

半導体業界では、SEMI 規格(SEMI F21 など)に準拠するために表面の清浄度が必要です。

実用化:

半導体シリコン単結晶の製造では、モリブデンるつぼの表面欠陥がシリコン溶融物を汚染する可能性があります。Chinatungsten Online のオンラインレーザー散乱システムは、高純度の要件を満たすために内面に微小な亀裂がないことを保証します。

## 6.2 パフォーマンステスト

性能試験では、モリブデンるつぼが実際の使用条件下での高温強度、耐食性、長期安定性を評価し、特定のアプリケーション(1700~2050°C の高温環境など)のニーズを満たしていることを確認します。

### 6.2.1 高温強度

高温強度は、高温環境(サファイア結晶の成長、希土類製錬など)で構造的完全性と変形防止能力を維持するためのモリブデンるつぼの主要な性能です。

テスト方法:

高温引張試験:

これは、1400-1800°C の温度範囲で真空または不活性雰囲気(アルゴンまたは水素)炉で行われます。

モリブデンまたはタングステングリップを装備した高温引張機を使用して一定の応力を加えることにより、引張強度、降伏強度、および伸びを測定します。

試験規格:ASTM E21(高温引張試験仕様)。

利点: 実際の高温応力環境をシミュレートし、るつぼの機械的特性を評価します。

高温クリープ試験:

1700-2000°C で一定の応力(50-200MPa)を加え、クリープ率と変形を測定しました。

装置:レーザー変位センサー(精度±0.001mm)を搭載した高温クリープ試験機。

試験規格:ASTM E139(クリープ試験仕様)。

利点: 長期の高温運転中のるつぼの安定性を評価します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

#### 硬さ試験:

室温および高温(1000-1500°C)でのるつぼの硬度は、高温ビッカース硬さ試験機(荷重 1-10 kg)を使用して測定されました。

試験規格:ASTM E92(ビッカース硬さ試験仕様)。

利点:材料強化効果(ドーピングや熱処理など)の迅速な評価。

#### テストパラメータ:

引張強度:高温(1700°C で>100MPa)でも十分な強度を維持する必要がある、ドーピングされたるつぼは強度が高くなります。

クリープ率:長期運転中に大きな変形が起こらないように、非常に低くする必要があります。

硬度:高温硬度は、材料の耐摩耗性を反映して、高レベル(>150 HV)に維持する必要があります。

#### プロセスフィードバック:

試験結果は、原材料の選択(ドーピング要素など)とプロセスの最適化(熱処理温度など)を導きます。

強度が不十分な場合は、焼結温度、鍛造変形、ドーピング率を調整できます。

データは品質マネジメントシステムに保存され、パフォーマンスのトレーサビリティをサポートします。

#### 品質基準:

ISO 6892-2(高温金属引張試験)および ASTM E139(クリープ試験)に準拠しています。

サファイア結晶成長業界では、るつぼが 2050°C で変形しないことが求められ、希土類製錬では 1700°C での長期安定性が必要です。

#### 実用化:

サファイア結晶の成長中、モリブデンるつぼは 2050°C の高温と機械的ストレスに耐える必要があります。China Tungsten Online の高温引張試験は、るつぼが極端な条件下で亀裂がないことを確認します。

### 6.2.2 耐食性

耐食性は、熔融金属(希土類金属など)、酸化物、または高温雰囲気、特に希土類製錬および貴金属精製におけるモリブデンるつぼの耐久性を決定します。

#### テスト方法:

##### 静的腐食試験:

モリブデンるつぼサンプルを 1400~1800°C の温度で溶融媒体(溶融ネオジム、アルミナなど)に浸し、数時間から数日間保温します。

肉厚損失、表面侵食深さ、質量損失を測定します。

試験規格:ASTM G31(腐食試験仕様)。

#### Copyright and Legal Liability Statement

利点:実際の使用環境をシミュレートし、るつぼの耐食性を評価します。

#### 動的腐食試験:

るつぼと溶融物との間の動的接触(攪拌や流動など)は、1500~1700°C の温度の高温炉でシミュレートされます。

サンプルと溶融物との間の相対運動は、回転する浸漬装置を使用して制御され、腐食速度を測定します。

利点:希土類製錬の実際の作業条件に近い。

#### 電気化学的腐食試験:

るつぼの電気化学的挙動(腐食電位、分極抵抗など)を高温の溶融塩または酸性溶液中で測定します。

機器:高温電気化学ワークステーション、温度 800-1200°C。

利点: 腐食メカニズムの定量化、るつぼのコーティングに適しています。

#### テストパラメータ:

壁の厚さの損失:るつぼの寿命を確保するために、非常に低くする必要があります(マイクロメートルレベル/ 100 時間)。

表面侵食:表面は、明らかな孔食や剥離なしに滑らかに保つ必要があります。

質量損失:るつぼの化学的安定性を反映して、非常に小さくする必要があります。

コーティング性能:防錆コーティング(MoSi<sub>2</sub>など)は剥がれてはならず、高い接着強度を備えている必要があります。

#### プロセスフィードバック:

腐食試験の結果は、ドーピング元素(CeO<sub>2</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など)の選択とコーティングプロセスの最適化を導きます。

腐食速度が高すぎる場合は、コーティングの厚さを増やすか、焼結プロセスを調整してるつぼ密度を増やすことができます。

このデータは、さまざまな環境でのるつぼの寿命を予測するための腐食データベースを構築するために使用されます。

#### 品質基準:

ASTM G31(腐食試験)および ISO 11846(高温腐食試験)に準拠しています。

希土類製錬では、るつぼの寿命が 1700°C の溶融ネオジムで>1000 時間であることが必要であり、半導体産業は汚染を必要としません。

#### 実用化:

NdFeB 磁石の製造では、モリブデンるつぼは溶融ネオジムによる腐食に耐える必要があります。Chinatungsten Online の静的腐食試験は、ドーパされたるつぼの耐食性を確保し、その耐用年数を延ばします。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

### 6.3 故障解析

故障解析は、モリブデンるつぼの亀裂、変形、疲労、寿命減衰を研究することにより、故障の原因を特定し、製造プロセスと使用条件を最適化します。

#### 6.3.1 亀裂と変形

亀裂と変形は、高温または熱サイクルでのモリブデンるつぼの一般的な故障モードであり、熱応力、機械的応力、または材料の欠陥によって引き起こされる可能性があります。

分析方法:

巨視的観察:

亀裂の位置、長さ、形態(表面亀裂またはスルー亀裂)は、高解像度カメラまたは実体顕微鏡を使用して記録されます。

変形測定(るつぼの直径の変更、肉厚の薄化など)は、レーザースキャナーを使用して実行されます。

顕微鏡分析:

走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、1000-10,000 倍の倍率で亀裂の形態(粒界破壊または延性破壊)を観察しました。

エネルギー分散型分光法(EDS)は、亀裂領域の化学組成を検出し、脆化が不純物(O、C など)によって引き起こされているかどうかを確認します。

有限要素解析(FEA):

るつぼの熱-機械連成モデルを確立し、高温での応力分布と変形挙動をシミュレートしました。

入力パラメータ:モリブデンの熱膨張係数( $4.8 \times 10^{-6}/K$ )、熱伝導率( $138 W/(m \cdot K)$ )、および引張強度。

利点:亀裂の発生点を予測し、るつぼの設計を最適化します。

失敗の理由:

熱応力:急激な温度上昇と急激な温度下降(例: $>10^{\circ}C/min$ )により、熱応力が集中し、亀裂が生じます。

機械的ストレス:ロードまたはアンロード中の衝撃力がるつぼの強度を超えます。

材料の欠陥:焼結孔、粒界不純物、または溶接孔は、るつぼの靱性を低下させます。

プロセスの問題:肉厚が不均一であったり、不適切な熱処理が応力集中につながる。

改善策:

熱サイクルの最適化:加熱速度と冷却速度( $<5^{\circ}C/分$ )を制御して、熱ストレスを軽減します。

材料品質の向上:高純度のモリブデン粉末( $>99.95\%$ )とドーピング元素( $CeO_2$ など)を使用して、粒子を精製します。

加工性の向上:肉厚(偏差  $0.1mm$ ) $<$ 表面粗さ( $Ra<0.8\mu m$ )の均一性を確保。



実用化:

サファイア結晶の成長中、モリブデンるつぼの亀裂は溶融物の漏れにつながる可能性があります。

### 6.3.2 疲労と寿命

疲労破壊と寿命減衰は、繰り返しの熱サイクルまたは長期の高温運転におけるモリブデンるつぼの主な問題であり、リサイクル能力と経済性に影響を与えます。

分析方法:

サーマルサイクルテスト:

実際の使用条件(1500~1700°C、100~500回の熱サイクルなど)をシミュレートして、疲労亀裂の形成と成長を観察します。

設備:変形を記録するためのレーザー変位センサーを備えた高温サーマルサイクル炉。

試験規格:ISO 1893(耐火材料の熱衝撃試験)。

疲労破壊解析:

SEM を使用して破壊形態を観察し、疲労亀裂(滑らかな縞模様)と一時的な骨折領域(ディンプル)を区別しました。

き裂の伝播経路の電子後方散乱回折(EBSD)解析により、粒子配向が疲労に及ぼす影響が確認されました。

寿命予測モデル:

るつぼの寿命は、Miner の累積損傷理論と熱サイクルおよびクリープデータの組み合わせに基づいて予測されます。

入力パラメータ:熱サイクル数、温度勾配、応力レベル。

利点:るつぼのメンテナンスと交換サイクルをガイドします。

失敗の理由:

熱疲労:熱サイクルが繰り返されると、マイクロクラックが成長し、最終的にマクロクラックが形成されます。

クリープ:長期間の高温応力により変形が遅くなり、るつぼの強度が低下します。

表面の劣化:酸化や腐食により、疲労亀裂を加速させる表面欠陥が発生します。

設計上の欠陥:不均一な肉厚または鋭い幾何学的コーナーにより応力が集中します。

改善策:

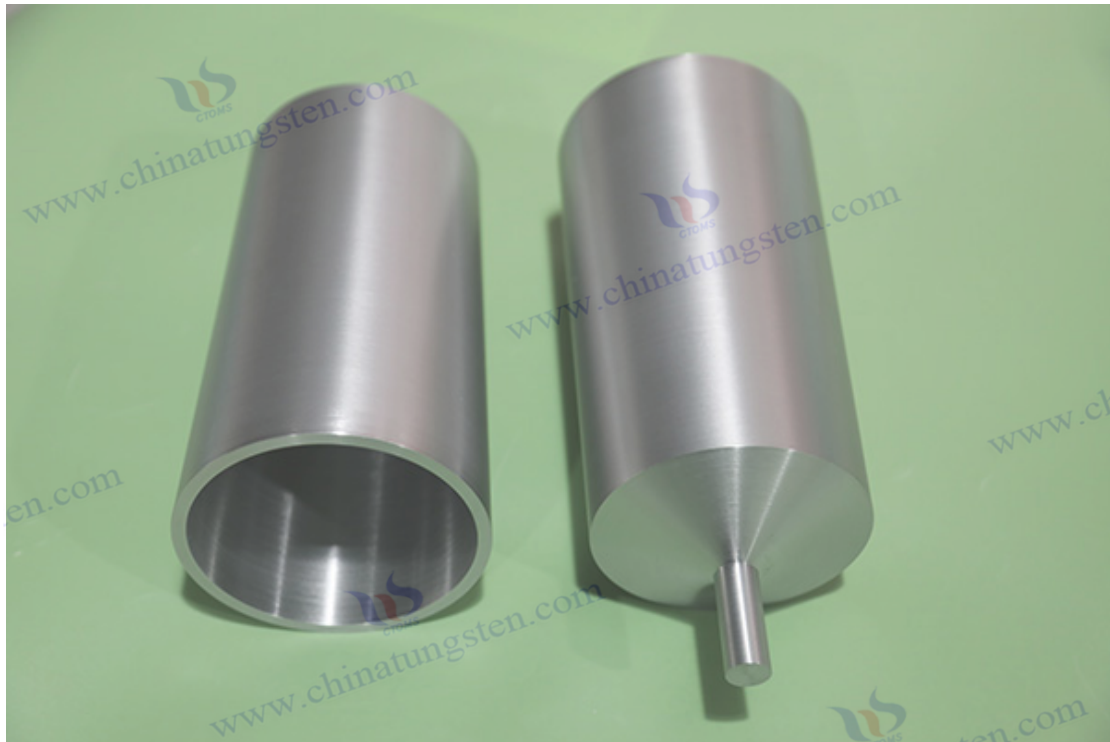
材料特性の向上:酸化物( $\text{La}_2\text{O}_3$ など)をドーピングすると、靱性と耐疲労性が向上します。

設計の最適化:コーナー半径(>2 mm)を大きくして、応力集中を減らします。

表面保護:抗酸化コーティング( $\text{MoSi}_2$ など)を塗布して、疲労寿命を延ばします。

プロセスの改善:粒度(<50 $\mu\text{m}$ )と熱処理パラメータを制御して、クリープ率を減らします。

#### Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第 8 章 モリブデンるつぼの輸送と保管

高価で耐熱性のある工業用部品であるモリブデンるつぼの輸送と保管は、その物理的完全性と化学的安定性を維持するために重要です。不適切な梱包、輸送、保管は、表面の傷、酸化、汚染、変形を引き起こす可能性があり、結晶成長、希土類製錬、半導体製造などのハイエンドアプリケーションでの性能に影響を与える可能性があります。この章では、モリブデンるつぼの輸送および保管仕様について、梱包要件、耐衝撃および防湿対策、保管環境と条件、在庫管理、品質追跡などについて詳しく説明し、グローバルな業界標準とベストプラクティスを参照して包括的な技術ガイダンスを提供します。

### 8.1 パッケージング要件

モリブデンるつぼは、輸送および保管中の機械的損傷、化学的汚染、および環境への影響から保護されると同時に、取り扱いと識別が容易であることを確認する必要があります。

#### 梱包材:

##### 内部パッキング:

るつぼを包むために高純度ポリエチレン(PE)またはポリプロピレン(PP)フィルムを使用して、表面が空気や粒子に接触するのを防ぎ、清潔に保ちます。

高密度フォームまたはバブルフィルムで裏打ちされているため、クッション性を保護し、振動や衝撃の影響を軽減します。

特に長期保存の場合は、酸化や吸湿を防ぐために、真空密封されたバッグを使用して内部の空気を取り除くことをお勧めします。

#### Copyright and Legal Liability Statement

#### 外装:

広葉樹の箱(ISPM 15 国際植物検疫基準に準拠)または積み重ねや輸送圧力に耐えるのに十分な強度のアルミニウム合金の箱を使用してください。

木箱の内部には衝撃吸収材(ポリウレタンフォームやパールコットンなど)が充填されており、るつぼが揺れることなく固定されます。

外装の表面には防水塗料を吹き付けたり、防湿フィルムで覆ったりして湿気の侵入を防ぎます。

#### 補足資料:

セラミックまたはポリテトラフルオロエチレン(PTFE)ガスケットを使用して、るつぼを梱包材から分離し、金属接触による引っかき傷を防ぎます。

乾燥剤(シリカゲルやモレキュラーシーブなど)を装備し、内部パッケージに入れて湿度を制御し、腐食を防ぎます。

ダストフリーのラベルとシーリングテープを使用して、包装プロセス中に追加の汚染が発生しないようにします。

#### パッケージデザイン:

サイズマッチング: 梱包箱のサイズはるつぼの仕様に合わせてカスタマイズされ、内部空間はるつぼの形状にぴったりとフィットして固定され、動きの余地がないようにします。

耐荷重性: 梱包箱の設計は、多層スタッキングをサポートし、長距離輸送および倉庫保管のニーズに適している必要があります。

#### ロゴとラベル:

外装には「割れやすい」「防湿」「取り扱いには注意が必要」などの注意書きが貼られています。フォントは明確で見やすく、ISO 780(パッケージマーキング規格)に準拠しています。るつぼのモデル、サイズ、バッチ番号、製造日、正味重量、サプライヤー情報を含む製品ラベルが付属しており、防水性、耐摩耗性のラベル(PVC や PET など)が使用されています。

パッキングリストと品質証明書を提供し、透明なビニール袋に密封して、パッケージボックスの外側に貼り付けます。

トレーサビリティ: 梱包箱には QR コードが印刷されているか、るつぼの生産データと品質データにリンクされ、デジタル追跡をサポートする RFID タグが付属しています。

#### パッケージングプロセス:

クリーニング: 梱包する前に、高純度エタノールに浸したほこりのない布でるつぼを拭いて、粒子、油汚れ、指紋がないこと、および表面の清浄度が半導体業界の要件を満たしていることを確認します。

包装: 内部包装は、ほこりのない手袋と非金属製のツールを使用して、クリーンルームで行われます。

固定: るつぼはカスタムフォームモールドに入れられ、衝撃吸収材料で満たされ、隙間がないことを確認します。外装箱はステンレス製のボルトまたは高強度テープで密封されています。

#### Copyright and Legal Liability Statement

検査:包装後の目視検査で、ゆりみや損傷がないことを確認します。るつぼの安全性を確保するための輸送条件をシミュレートするために、必要に応じて振動試験を行います。

#### 品質基準:

梱包は、ISO 3394(輸送梱包寸法)および ASTM D4169(輸送梱包性能試験)に準拠している必要があります。

半導体業界では、包装材料に揮発性有機化合物(VOC)が含まれておらず、SEMI E170(クリーン包装規格)に準拠することが求められています。

包装プロセスは、一貫性と信頼性を確保するために、ISO 9001 品質管理システムの下で実施する必要があります。

#### 実用化:

サファイア結晶成長業界では、モリブデンるつぼの真空シール包装により、輸送中の酸化を防ぎ、表面に汚染がないことを保証します。

希土類製錬では、硬い木箱と発泡スチロールライナーが大きなるつぼを保護し、輸送中の変形のリスクを軽減します。

### 8.2 耐衝撃性と耐湿性

防振および防湿対策は、モリブデンるつぼの輸送と保管の中核的な要件であり、機械的損傷や化学的劣化を防ぎ、るつぼの性能に影響を与えないようにすることを目的としています。

#### 耐衝撃対策:

##### 緩衝材:

梱包箱の内側には高密度ポリウレタンフォームまたはパールコットンを使用して、輸送中の振動や衝撃を吸収するのに十分な衝撃吸収能力を提供します。

小さなるつぼの場合、エアクッションフィルムを使用して追加の保護を提供でき、軽量包装に適しています。

大型るつぼには、るつぼの形状に正確に一致するカスタムフォームモールドが必要であり、しっかりとフィットし、動きを防ぎます。

#### パッキングボックスのデザイン:

外側の梱包箱は多層合板またはアルミニウム合金でできており、耐衝撃性が高く、長距離輸送に適しています。

内部には衝撃吸収スプリングやゴムパッドが取り付けられており、振動の伝達を減らし、るつぼを外部からの衝撃から保護します。

梱包箱の底部には滑り止めパッドが付いており、輸送中の摩擦を増やし、滑りを防ぎます。

#### 輸送保護:

輸送車両には、るつぼへの道路振動の影響を軽減するために、エアバックサスペンションまたは油圧衝撃吸収システムが装備されています。

るつぼの梱包箱は、標準的な輸送パレットに固定され、安定性を確保するために高強度の

#### Copyright and Legal Liability Statement



ナイロンまたはスチールストラップで補強されています。

輸送中は、急加速、急ブレーキ、激しい衝突を避けてください。壊れやすい商品の輸送規制に精通している専門の物流会社を利用することをお勧めします。

#### 防湿対策:

##### 密封包装:

内側のパッケージは、真空シールバッグまたは高バリアフィルム(アルミニウム-プラスチック複合フィルムなど)を使用して、湿気の侵入を防ぎ、るつぼの表面を乾燥させます。外装箱の内側には防湿剤を塗布したり、防湿フィルムを貼ったりして防水性能を高めています。

##### 乾燥:

シリカゲルまたはモレキュラーシーブ乾燥剤を内側のパッケージに入れて、残留水分を吸収し、相対湿度を極端に低く保ちます。

乾燥剤は、特に長期保管中や湿度の高い場所で定期的にチェックして交換する必要があります。

##### 交通環境:

輸送車両には、雨や高湿度の環境を避けるための防湿設備(密閉された貨物倉や除湿装置など)が装備されています。

特に地域間または海上輸送中は、温度管理された輸送(温度 20〜25°C、湿度<40%)をお勧めします。

##### 検査と監視:

梱包後、湿度インジケータカード(精度±5%)を使用して、内部パッケージの湿度を確認し、湿気が浸透していないことを確認します。

輸送時には温湿度レコーダーを設置し、環境状況をリアルタイムに監視し、異常発生時には警報を鳴らします。

##### 品質基準:

防振対策は、輸送中にるつぼが損傷を受けないように、ASTMD4169 の振動および衝撃試験に合格する必要があります。

ISO2233(パッケージ防湿試験)に準拠した防湿性能を発揮し、高湿度環境下でも包装箱を乾燥させた状態を保ちます。

輸送プロセスは、安全性を確保するために、IATA(国際航空運送協会)または IMDG(国際海上危険物)基準に準拠する必要があります。

##### 実用化:

半導体業界では、モリブデンるつぼの耐衝撃性パッケージにより、輸送中に微小な亀裂が発生せず、高い精度要件が維持されます。

貴金属の精製では、防湿包装によりるつぼ表面の酸化を防ぎ、使用前に清浄度を確保しま

#### Copyright and Legal Liability Statement



す。

### 8.3 保管環境と条件

モリブデンるつぼは、酸化、汚染、または性能の低下を防ぐために、温度、湿度、清浄度、化学的安定性を厳密に制御する必要があります。

#### 温度と湿度:

##### 温度制御:

保管環境は、熱ストレスや結露を引き起こす可能性のある温度変動を避けるために、一定の温度(20〜25°C)を維持する必要があります。

空調または温度制御機器を使用して、非常に小さな範囲内で温度偏差を制御します。

##### 湿度制御:

相対湿度は、モリブデンるつぼの表面が水分を吸収または酸化するのを防ぐために、<40%、好ましくは<20%に保たれます。

工業用除湿機または乾燥キャビネットを装備し、湿度監視精度は±2%です。

湿度の高い地域では、内部に乾燥剤が入った密閉された収納ボックスを使用することをお勧めします。

##### モニター:

温湿度レコーダーを設置して、環境データをリアルタイムに記録し、異常発生時にアラームを鳴らします。

保管場所を定期的にチェックして、水漏れや結露がないことを確認してください。

#### 清潔:

##### 環境要件:

保管エリアは、粉塵がるつぼの表面を汚染するのを防ぐために、粒子濃度が非常に低く、ISO 7 以上の清浄度レベルに達する必要があります。

床面にはエポキシ樹脂をコーティングしているため、適度な表面抵抗を持ち、パーティクルの静電気吸着を抑えています。

##### 保護措置:

るつぼは、密閉された梱包箱またはほこりのないキャビネットに保管し、ダストカバーまたは保護カバーを装備する必要があります。

保管場所に入るときは、ほこりのない服、マスク、手袋を着用し、ISO14644 クリーンルームの運用仕様に準拠する必要があります。

##### クリーニングとメンテナンス:

保管場所は定期的に清掃し、ほこりのない掃除機または d を使用して amp 床や棚から粒子を取り除く布。

ガス汚染を防ぐために、保管場所での揮発性化学物質の使用は避けてください。

#### Copyright and Legal Liability Statement

#### 化学的安定性:

##### 腐食性ガスを避ける:

保管環境には酸性ガス(HCl、SO<sub>2</sub>など)や酸化性ガス(O<sub>3</sub>など)が入っておらず、酸素含有量を極端に低く制御する必要があります。

空気清浄機または活性炭フィルターを使用して、潜在的な汚染物質を除去します。

#### 材料の分離:

るつぼは、金属製の棚や工具から隔離されています。接触腐食を避けるために、セラミックまたはプラスチックのトレイを使用することをお勧めします。

クロスコンタミネーションを防ぐため、るつぼを他の化学活性物質(酸やアルカリなど)と一緒に保管することは禁止されています。

#### ストレージレイアウト:

##### 棚のデザイン:

ほこりのないステンレス鋼またはプラスチック製の棚は、表面が平らで耐食性があります。

棚板は適度な高さ(<2m)で、積み下ろしが簡単で、転倒防止装置が装備されています。

#### スタッキング仕様:

梱包箱は、重い圧力による変形を避けるために単層に積み重ねる必要があります、積み重ね高さは梱包箱の耐荷重能力を超えないようにする必要があります。

各ボックスの間には、換気と検査を容易にするのに十分なスペース(>10 cm)が必要です。

#### ID 管理:

保管エリアはバッチとモデルごとにセクションに分かれており、るつぼの仕様と保管日がマークされています。

バーコードまたは RFID タグを使用して、るつぼ情報をすばやく識別します。

#### 品質基準:

保管環境は、ISO 14644(クリーンルーム規格)および ASTM E2352(高温材料保管仕様)に準拠する必要があります。

半導体業界では、保管エリアでの粒子濃度や化学汚染物質<1ppb の非常に低い濃度が要求されます。

#### 実用化:

シリコン単結晶製造では、モリブデンるつぼのクリーンな保管環境により、表面の汚染を防ぎ、高純度の要件を満たします。

航空宇宙用高温合金の溶解では、恒温・低湿度保存によりるつぼの寿命が延び、酸化リスクが軽減されます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

#### 8.4 在庫管理と品質管理

効果的な在庫管理と品質追跡により、モリブデンるつぼの保管状況が制御可能であり、品質が追跡可能であり、生産ニーズと顧客の要件を満たすことができます。

##### 在庫管理:

##### カテゴリ別のストレージ:

るつぼは、モデル、サイズ、材料(純粋なモリブデン、ドーブされたモリブデンなど)、目的(結晶成長、希土類製錬など)に応じて、さまざまな場所に保管されます。

電子在庫管理システムを使用して、各るつぼのバッチ番号、保管時間、保管場所を記録します。

##### 先入れ先出し (FIFO):

先入れ先出しの原則に従い、以前に保管されたるつぼを優先して、長期保管によるパフォーマンスの低下を防ぎます。

定期的な在庫チェック(3〜6 か月ごと)を実行して、在庫ステータスを更新し、期限切れまたは破損したるつぼを削除します。

##### 数量管理:

生産計画と需要予測に基づいて合理的な在庫レベルを設定し、バックログや不足を回避します。

バーコードまたは RFID スキャンを通じて在庫データを迅速に更新する自動在庫システムを装備。

##### 品質追跡:

##### データレコード:

各るつぼには、生産プロセスパラメータ(焼結温度、ドーピング比など)、試験結果(純度、密度など)、およびパッケージング情報を記録する品質ファイルが付属しています。

クラウドコンピューティングプラットフォームを使用して高品質のデータを保存し、リモートアクセスとマルチパーティ共有をサポートします。

##### 定期点検:

サンプルは 6〜12 か月ごとに保管されたるつぼで、表面の状態(傷、酸化)、パッケージの完全性、湿度レベルを確認します。

光学顕微鏡(倍率 50〜200 倍)で表面欠陥を検出し、XPS で化学組成を分析してコンタミネーションがないことを確認します。

##### トレーサビリティ:

各るつぼには、生産、輸送、保管のプロセス全体データにリンクされた一意の識別コード(QR コードまたは RFID)が割り当てられています。

#### Copyright and Legal Liability Statement

品質問題が発生した場合、特定のバッチやプロセスリンクまでさかのぼって追跡し、原因を迅速に特定できます。

#### フィードバックメカニズム:

顧客からのフィードバックを収集し、実際のアプリケーションでのるつぼの性能(寿命や耐食性など)を記録します。

フィードバックデータを分析し、保管条件とパッケージデザインを最適化し、製品の品質を向上させます。

#### デジタルマネジメント:

##### 在庫管理システム:

ERP(エンタープライズ・リソース・プランニング)または WMS(倉庫管理システム)と統合して、在庫状況をリアルタイムで監視し、入庫、出庫、在庫レポートを自動的に生成します。

モバイル操作に対応しているため、現場のマネージャーが迅速にデータのクエリや更新を行うのに便利です。

##### モノのインターネット(IoT):

ストレージエリアには、温度および湿度センサーと RFID リーダーが装備されており、環境データをリアルタイムでクラウドにアップロードします。

異常(過度の湿度や温度変動など)が発生した場合、システムは自動的に警報を発し、管理担当者に対策を講じるように促します。

##### データ分析:

ビッグデータ分析を使用して、るつぼの保管寿命を予測し、在庫回転率を最適化します。長期保管がるつぼの性能に与える影響を分析し、改善のためのガイダンスを提供するための質の高いデータベースを確立します。

##### 品質基準:

在庫管理は、ISO9001(品質マネジメントシステム)および ISO28000(サプライチェーンセキュリティマネジメント)に準拠する必要があります。

品質追跡は、ASTM B386(モリブデン材料規格)および SEMI E170(クリーン包装規格)を満たす必要があります。

トレーサビリティは ISO 8000(データ品質基準)に準拠しており、データの完全性と正確性を確保しています。

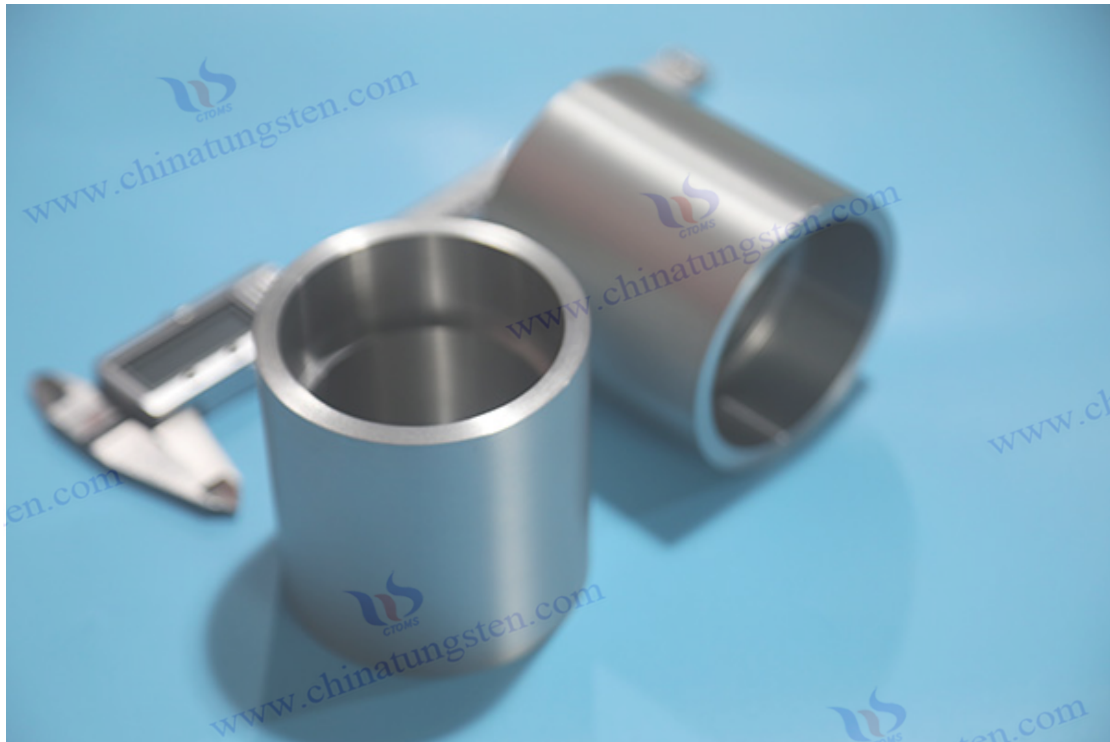
##### 実用化:

レアアース製錬業界では、デジタル在庫管理により、モリブデンるつぼの迅速な供給が保証され、生産の中断が減少します。

半導体業界では、品質追跡システムにより、るつぼが保管から使用まで汚染物質がなく、高純度の要件を満たすことができます。

#### Copyright and Legal Liability Statement





CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第9章 モリブデンるつぼの持続可能性とリサイクル

モリブデンるつぼは、結晶成長、希土類製錬、半導体製造などのハイエンド産業に不可欠ですが、その製造と使用には高いエネルギー消費、資源消費、および潜在的な環境影響が伴います。持続可能な開発が世界的に重視される中、モリブデンるつぼの製造、回収、リサイクルは業界の注目の的となっています。この章では、モリブデンるつぼの持続可能性とリサイクルについて詳細に説明し、エネルギー節約と排出削減、廃棄物リサイクル技術、リサイクルの経済的および環境的利点、グリーン製造の傾向と実践をカバーし、グローバルな業界標準、学術研究、およびベストプラクティスを参照して包括的な技術的および戦略的ガイダンスを提供します。

### 9.1 省エネと排出削減

モリブデンるつぼは、エネルギー消費の多いプロセス(焙煎、焼結、鍛造など)を伴うため、エネルギー効率と排出制御に対する要求が高くなります。省エネと排出削減は、持続可能な生産を達成するための鍵です。

#### 省エネ対策:

##### プロセスの最適化:

高効率の焙煎装置(マルチチャンバー炉やロータリーキルンなど)を使用して、正確な温度制御と熱回収システムを通じてエネルギー利用を改善します。

ヒートパイプや放射線遮蔽材を装備した高温真空焼結炉を使用し、熱損失を低減します。鍛造および紡績プロセスを最適化し、繰り返しの加熱および処理ステップを減らし、生産

#### Copyright and Legal Liability Statement

サイクルを短縮します。

#### 機器のアップグレード:

可変周波数モーターとインテリジェント制御システムを導入して、機器の電力を動的に調整し、スタンバイエネルギー消費を削減します。

抵抗加熱の代わりに誘導加熱を使用することで、加熱効率を向上させ、消費電力を削減します。

生産エネルギー消費をリアルタイムで監視し、エネルギーの無駄を特定して排除するエネルギー管理システムを装備しています。

#### 再生可能エネルギー:

太陽光、風力、地熱エネルギーを生産施設に統合し、化石燃料への依存を減らします。

グリーン電力供給者を優先し、エネルギー源が低炭素基準を満たしていることを確認する。

#### 排出削減戦略:

**排ガス処理:** 焙煎工程で発生する排煙処理は、湿式脱硫処理を行い、硫酸カルシウム副産物に転換します。

焼結および熱処理からの揮発性有機化合物(VOC)は、活性炭吸着または触媒燃焼技術を使用して除去されます。

高効率の集塵機(バグフィルターや静電集塵機など)を装備し、粉塵粒子を捕捉し、大気汚染を防ぎます。

#### 廃水管理:

化学精製や表面処理により発生する酸性廃水は、中和・沈殿・ろ過により処理され、モリブデン酸アンモニウムなどの有用物質を回収します。

クローズドループの水システムを使用して、水の消費量と廃水の排出を削減します。

#### カーボンフットプリント制御:

原材料の抽出から製造までのモリブデンのライフサイクルアセスメント(LCA)を通じて分析され、主要な排出削減ポイントが特定されます。

サプライチェーンを最適化し、低炭素の輸送方法(鉄道や電気トラックなど)を選択して、物流排出量を削減します。

カーボンオフセットや森林再生などのカーボンニュートラルプログラムを実施し、生産における炭素排出量を相殺します。

#### 監視とレポート作成:

エネルギー消費監視システムを設置して、各プロセスのエネルギー消費を記録し、省エネルギーレポートを作成します。

排出基準への準拠を確保するため、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、粒子状物質の濃度をリアルタイムで検出する排出監視装置を装備しています。

#### Copyright and Legal Liability Statement

環境報告書を定期的に提出し、ISO14001(環境マネジメントシステム)および地域の環境規制を遵守します。

#### 品質基準:

省エネ対策は、エネルギー効率の継続的な改善を確保するために、ISO50001(エネルギーマネジメントシステム)に準拠する必要があります。

排出削減量は、EU REACH 規制および中国 GB 28662(非鉄金属業界の排出基準)に準拠する必要があります。

カーボンフットプリント評価とは、ISO 14067(製品のカーボンフットプリント規格)を指します。

#### 実用化:

サファイア結晶成長業界では、高効率焼結炉の熱回収システムにより、エネルギー消費が大幅に削減され、生産の持続可能性が向上しています。

レアアース製錬では、廃ガス処理技術により、SO<sub>2</sub>排出量を削減し、工場周辺の環境品質を向上させています。

## 9.2 廃棄物リサイクル技術

モリブデンるつぼの製造・使用時に発生する廃棄物(スクラップ、廃るつぼ、粉体など)は貴重な資源です。高度なリサイクル技術を使用して、資源をリサイクルし、コストと環境への影響を削減できます。

#### 廃棄物の分類:

##### 生産廃棄物:

これには、モリブデン粉末、焼結残渣、鍛造スクラップ、加工チップが含まれ、これらは製造工程で非認定製品または廃棄物に由来します。

特徴:高純度、低不純物含有量、直接回収に適しています。

##### 使用済み廃棄物:

廃坩堝、表面コーティングフレーク、使用済みるつぼに由来する溶融残渣が含まれます。特徴:溶融汚染物質(アルミナ、希土類金属など)が含まれている可能性があり、前処理が必要です。

#### カテゴリ管理:

廃棄物は、その発生源、組成、汚染の程度に応じて、密封容器と透明なラベルを使用して保管してください。

廃棄物と生産環境との相互汚染を避けるために、専用のリサイクルエリアを装備しています。

#### リサイクル技術:

##### 物理的なリサイクル:

#### Copyright and Legal Liability Statement

機械的分離:クラッシャーと振動スクリーンを使用して、使用済みのつぼ内のモリブデンマトリックスと表面コーティング(MoSi<sub>2</sub>など)を分離し、高純度のモリブデン片を回収します。

磁気分離と浮選:廃棄物から鉄やケイ素などの不純物を取り除き、モリブデンの回収率を向上させます。

スクリーニングと粉砕:回収されたモリブデン片をミクロンレベルで粒子サイズが制御された粉末に粉砕し、再焼結に適しています。

#### ケミカルリサイクル:

廃棄物中のモリブデン化合物は、不溶性不純物(SiO<sub>2</sub>など)を除去するためにろ過されるモリブデン酸アンモニウム溶液を生成する。

アンモニア溶解:酸化モリブデン(MoO<sub>3</sub>)は、アンモニア水と反応して高純度のモリブデン酸アンモニウムを生成し、これを結晶化して焼し、モリブデン粉末を回収します。

廃液から電気分解によりモリブデンを抽出し、低濃度のモリブデン溶液の回収に適しています。

#### 冶金の回復:

揮発性不純物を除去し、高純度のモリブデンインゴットを製造するための真空または水素雰囲気中のモリブデン材料。

プラズマ精製:プラズマアークを使用してスクラップを溶かすと、モリブデンがさらに精製され、非常に純度の高いモリブデン金属が生成されます。

地域の製錬:局所的な高温と多重精製により、半導体グレードのモリブデン材料の製造に適しています。

#### リサイクルプロセスの最適化:

前処理:使用済み廃棄物の高温洗浄(1000-1200°C、真空または水素雰囲気)により、溶融残留物やコーティングを除去します。

自動化:自動選別装置(X線選別機など)を導入し、廃棄物の選別効率と純度を向上させます。

クローズドループシステム:リサイクルプロセスは生産プロセスと統合され、回収されたモリブデン粉末は新しいつぼの製造に直接使用され、資源の浪費を削減します。

#### 品質管理:

リサイクルモリブデン粉末は、純度(>99.95%)、粒子サイズ(ミクロンレベル)、不純物含有量(C、O、N<0.01%)についてテストする必要があります。

ICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析法)を使用。

リサイクル材料は、ASTM B386 規格を満たしていることを確認するために、性能試験(密度や硬度など)に合格する必要があります。

#### 品質基準:

リサイクル技術は、ISO14040(ライフサイクルアセスメント)および ISO14044(環境マネジメント)に準拠する必要があります。

#### Copyright and Legal Liability Statement



廃棄物処理は、EU WEEE 指令(廃電気電子機器)および中国の固形廃棄物による環境汚染の防止と管理に関する法律に準拠する必要があります。

資源の無駄を削減するため、リサイクル率の目標は高いレベルに達します。

#### 実用化:

半導体業界では、廃モリブデンるつぼのケミカルリサイクル技術により、シリコン単結晶製造のニーズを満たすために高純度のモリブデン粉末を製造しています。

貴金属精製では、冶金リサイクル技術により、廃るつぼをモリブデンインゴットに変換し、製造コストを削減します。

### 9.3 リサイクルの経済的および環境的利点

モリブデンるつぼ廃棄物のリサイクルは、資源消費と生産コストを削減するだけでなく、環境的および社会的に大きな利益をもたらす、循環型経済の発展を促進します。

#### 経済的利益:

##### コスト削減:

モリブデン廃棄物のリサイクルは、モリブデンから新しいモリブデンを抽出するよりもはるかに低く、原材料の購入コストを節約できます。

クローズドループリサイクルシステムは、廃棄物の処理と処理のコストを削減し、サプライチェーンの効率を最適化します。

##### リソース効率:

リサイクルは、モリブデン鉱石採掘の需要を減らし、レアメタル資源の耐用年数を延ばします。

リサイクルされたモリブデン粉末は、直接生産に使用できるため、製造サイクルが短縮され、生産能力が向上します。

##### 市場競争力:

サステナブルな商品を提供することで、環境に配慮したお客様を引きつけ、ブランドイメージを強化することができます。

グリーン調達基準を遵守し、ハイエンド市場(半導体や航空宇宙など)を開拓します。

#### 環境上の利点:

##### リソース保護:

モリブデン採掘を減らし、土地の破壊、尾鉱の蓄積、生態系への影響を減らします。

リサイクルは、レアメタルへの依存を減らし、再生不可能な資源を保護します。

##### 汚染削減:

リサイクルプロセスは、一次モリブデン生産よりもエネルギー消費が少なく、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、その他の汚染物質の排出を削減します。

廃棄物の適正処理は、土壌や水質の汚染を防ぎ、環境品質を向上させます。

#### Copyright and Legal Liability Statement



#### 省エネ:

リサイクルされたモリブデンは、一次モリブデン精製よりもはるかに低いため、生産の二酸化炭素排出量が削減されます。

プラズマ精製などの効率的な回収技術により、エネルギー消費量をさらに削減します。

#### 社会的利益:

##### キャリアの機会:

回収・リサイクル業界は、雇用を創出し、廃棄物の収集、分別、処理をカバーしています。

グリーンテクノロジーの研究開発を推進し、高度なスキルを持つ人材を引き付けます。

##### コミュニティへの影響:

地域社会への鉱業の干渉を減らし、住民の生活の質を向上させます。

グリーンプロダクションは、企業の社会的責任(CSR)のイメージを高め、コミュニティの支持を得ます。

##### サーキュラーエコノミーモデル:

##### クローズドループサプライチェーン:

生産からリサイクル、リユースまでのクローズドループシステムを確立し、資源の価値を最大化する。

サプライヤーや顧客と連携し、廃棄物のリサイクルネットワークを構築し、安定供給を確保する。

##### ポリシーのサポート:

政府の補助金や税制上の優遇措置を利用して、企業がリサイクル技術やグリーン製造に投資するよう奨励する。

循環型経済のパイロットプロジェクトに参加し、ベストプラクティスを共有します。

##### デジタルマネジメント:

ブロックチェーン技術を使用してモリブデンのライフサイクルを追跡し、リサイクルプロセスが透明で追跡可能であることを確認します。

データ分析を実装して、リサイクル効率とリソース配分を最適化します。

##### 品質基準:

リサイクルは、ISO 14021(環境ラベルと宣言)および ISO 14064(温室効果ガス会計)に準拠する必要があります。

経済効果評価は、UNEP(国連環境計画)の循環型経済ガイドラインを参照しています。

環境影響は、ISO14040 規格に則った LCA(Life Cycle Assessment)により定量化する必要があります。

##### 実用化:

レアアース製錬業界では、廃モリブデンのライフサイクルにより、製造コストを削減し、

#### Copyright and Legal Liability Statement

尾鉍の排出量を削減しています。

航空宇宙用高温合金製造では、モリブデンるつぼのリサイクルがグリーンサプライチェーンをサポートし、業界の持続可能性の目標を達成しています。

#### 9.4 グリーン製造のトレンドと実践

グリーン製造は、モリブデンるつぼ産業が持続可能な開発を達成するための将来の方向性であり、技術革新、インテリジェント生産、エコロジカルデザインをカバーし、低炭素で環境に優しい業界への業界の変革を促進します。

##### 技術革新:

##### 低エネルギー消費プロセス:

高純度のモリブデン粉末を製造し、還元と粉碎のエネルギー消費を削減するためのプラズマ噴霧技術を開発します。

従来の切断の代わりにレーザーアシスト処理を使用して、エネルギー消費と廃棄物の発生を削減します。

##### クリーンな生産:

無溶剤の表面処理技術(プラズマ溶射など)により、薬品の使用量や廃棄物の排出を削減します。

酸性洗浄液を代替し、環境リスクを低減するための水性洗浄剤を開発します。

##### グリーンマテリアル:

るつぼの耐久性を向上させ、耐用年数を延ばすためのモリブデンベースの複合材料(Mo-Re 合金など)を研究開発します。

生分解性プラスチックなどのリサイクル可能な包装材料を使用して、包装廃棄物を削減します。

##### インテリジェントな生産:

##### インダストリー4.0:

モノのインターネット(IoT)とセンサーを導入して、生産中のエネルギー消費、排出量、廃棄物発生をリアルタイムで監視します。

人工知能(IDEALIZED AI)を使用して、プロセスパラメータを最適化し、リソースの無駄を削減します。

##### デジタルツイン:

モリブデンるつぼ製造プロセスの仮想モデルを確立し、省エネと排出削減の効果をシミュレートし、プロセスの改善を導きます。

機器のメンテナンスニーズを予測して、ダウンタイムとエネルギーの浪費を削減します。

##### オートメーション:

ロボットや自動組立ラインを導入することで、生産効率を向上させ、手作業の無駄を省きます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

インテリジェントな選別装置を使用して、廃棄物のリサイクルプロセスを最適化し、リサイクル率を向上させます。

#### エコデザイン:

##### 製品デザイン:

モジュール式モリブデンるつぼの設計は、分解とリサイクルが簡単で、廃棄物を削減します。

るつぼの形状を最適化して、性能を維持しながら材料の使用量を削減します。

#### ライフサイクル管理:

るつぼの生産からリサイクルまでの環境への影響は LCA を通じて評価され、低炭素プロセスが好まれています。

リサイクル可能なるつぼを設計して、複数のリサイクルと再製造をサポートします。

#### グリーン認証:

ISO 14001 認証を申請して、製造プロセスが環境管理基準に準拠していることを証明します。

EPD(環境製品宣言)を取得して、るつぼの環境性能を顧客に示します。

#### 業界プラクティス:

##### コラボレーションと共有:

上流および下流の企業と協力して、モリブデン廃棄物リサイクルネットワークを確立し、リサイクル施設とデータを共有します。

国際モリブデン協会などの業界連合に参加して、グリーン製造のベストプラクティスを促進します。

#### ポリシードライバー:

世界的なカーボンニュートラル目標(EU の 2050 年カーボンニュートラル計画など)に対応して、企業の炭素削減ロードマップを策定します。

政府のグリーン製造補助金を活用し、省エネ機器とリサイクル技術に投資してください。

#### 消費者教育:

グリーン製品の利点を促進することにより、持続可能なモリブデンるつぼの受け入れ。リサイクルの指示を提供して、使用済みのるつぼをサプライヤーに返却するよう顧客に促します。

#### 品質基準:

グリーン製造は、ISO14001(環境マネジメントシステム)および ISO50001(エネルギーマネジメントシステム)に準拠する必要があります。

技術革新とは、材料が環境に優しいことを確認するために、IEC 62474(材料宣言規格)を指します。

エコデザインは ISO14006(エコデザインガイドライン)に従う必要があります。

#### Copyright and Legal Liability Statement

#### 実用化:

半導体業界では、インテリジェントな生産とエコデザインにより、モリブデンるつぼ製造の二酸化炭素排出量を削減し、グリーンサプライチェーンの要件を満たしています。

サファイア結晶成長では、低エネルギー消費プロセスと廃棄物リサイクル技術により、生産コストを削減し、環境上の利点を改善します。



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第 10 章 モリブデンるつぼの技術的課題と将来の開発

モリブデンるつぼは、高融点(2623°C)、優れた耐高温性、耐食性により、サファイア結晶成長、希土類製錬、半導体製造、航空宇宙などのハイエンド分野でかけがえのない役割を果たしています。しかし、アプリケーションシナリオの複雑さと性能要件の改善に伴い、モリブデンるつぼの製造と使用は、抗酸化性能、複雑な形状の製造、コスト管理など、複数の技術的課題に直面しています。同時に、新素材、新技術、インテリジェント生産、グリーン製造の急速な発展により、モリブデンるつぼの未来に幅広い展望が開かれました。この章では、モリブデンるつぼの技術的課題と将来の開発の方向性について、技術的な課題、新素材と新技術、インテリジェントでグリーンな製造、および将来のトレンドについて詳しく説明します。これは、グローバルな学術研究、業界標準、および最先端の実践を参照し、包括的な技術分析と戦略的見通しを提供します。

### 10.1 技術的な課題

モリブデンるつぼは、高温、腐食、複雑なプロセス環境によってもたらされる課題に対処する必要があります。次の分析は、抗酸化性能、複雑な形状の製造、コスト管理の3つの側面から行われます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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



### 10.1.1 抗酸化特性

モリブデンは高温(>600°C)で酸素と反応しやすく、揮発性の酸化モリブデン( $\text{MoO}_3$ )を形成するため、るつぼ表面の劣化、肉厚の損失、性能の低下につながります。この問題は、非真空または非不活性雰囲気環境で特に顕著です。

#### チャレンジの説明:

酸化メカニズム:モリブデンは高温の酸化環境で  $\text{MoO}_3$  を形成し、揮発して細孔を残すため、表面の粗さと強度の低下が生じます。サファイア結晶の成長では、微量の酸素がるつぼの表面を剥がし、熔融物を汚染する可能性があります。

雰囲気制御の難しさ:真空(< $10^{-3}$  Pa)や高純度の不活性雰囲気(アルゴン、酸素含有量<10 ppm)でも、特に大型炉や長期運転では、微量酸素の侵入を完全に回避することは困難です。

コーティングの制限:現在の酸化防止コーティング( $\text{MoSi}_2$ や  $\text{ZrO}_2$ など)は、非常に高温(>1800°C)で剥がれたり割れたりして、保護効果が低下する可能性があります。コーティングと基板との間の接着強度と熱膨張係数のマッチングをさらに最適化する必要があります。

アプリケーションシナリオ:希土類製錬または貴金属精製では、るつぼが複雑な雰囲気(微量の酸化ガスを含む雰囲気など)にさらされる可能性があり、より高い抗酸化性能が必要です。

#### 技術的な問題:

超高温(>2000°C)に耐える耐酸化性コーティングを開発し、コーティングとモリブデン基板との良好な接着性を維持します。

モリブデン材料の固有の耐酸化性を向上させ、ドーピングまたは合金化により酸化感受性を低下させます。

効率的な雰囲気制御システムを設計し、酸素含有量とガス流量を正確に制御して、ダイナミックな生産環境に適応します。

抗酸化性能とコストのバランスを取り、ソリューションが大規模生産に適していることを確認します。

#### 対処戦略:

表面改質:プラズマ溶射または化学蒸着(CVD)を使用して、耐酸化性と熱安定性を向上させるために、多層複合コーティング( $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ など)を調製します。

ドーピング技術:希土類酸化物( $\text{La}_2\text{O}_3$ や  $\text{CeO}_2$ など)をドーピングすると、モリブデン粒子を微細化し、粒界の安定性を高め、酸化速度を遅らせることができます。

雰囲気の最適化:質量分析計と酸素センサーを統合してガス組成をリアルタイムで調整し、酸素含有量を極端に低く保つインテリジェントな大気制御システムを開発します。

テスト検証:実際の使用条件(1700-2050°C、酸素含有雰囲気)をシミュレートし、コーティングと材料の抗酸化寿命を評価するための高温酸化テストプラットフォームを確立します。

#### 実用化:

サファイア結晶の成長において、複合コーティングされたモリブデンのつぼは、微量酸素の侵食に効果的に抵抗し、その耐用年数を延ばすことができます。

高温合金製錬では、モリブデンをドーピングするつぼが酸化損失を減らし、溶融汚染のリスクを低減します。

#### 10.1.2 複雑な形状の製造

現代の業界では、薄肉、大口径、特殊形状の構造など、モリブデンのつぼの幾何学的形状と寸法精度に対する要求がますます高まっています。複雑な形状のつぼの製造は、複数の技術的な障害に直面しています。

#### チャレンジの説明:

材料特性:モリブデンの高い硬度と低い延性(室温での高い脆性)は、特に亀裂や変形が発生しやすい薄肉(<5mm)または複雑な形状(円錐形、台形)のつぼを製造する場合、加工を困難にします。

成形技術:従来の紡績、鍛造、溶接プロセスは、高精度で複雑な形状の要件を満たすことが難しく、肉厚と表面仕上げの均一性を確保することは困難です。

寸法精度:大型のつぼ(直径>500mm)にはミクロンレベルの公差が必要ですが、これは既存の加工装置や金型設計では確実に達成するのが困難です。

アプリケーション要件:半導体業界では、熱場の均一性を最適化するために超薄肉のつぼ(<3 mm)が必要であり、航空宇宙業界では、特定の溶融プロセスに適応するための特殊な形状のつぼが必要です。

#### 技術的な問題:

モリブデン材料の被削性を向上させ、高温加工時の亀裂の傾向を減らします。

複雑な形状や薄肉構造物の製作ニーズに応える高精度な成形技術を開発します。

金型設計と加工パスを最適化して、均一な肉厚と表面品質を確保します。

製造精度と生産効率を両立させ、量産ニーズにお応えします。

#### 対処戦略:

アディティブ・マニュファクチャリング:レーザー粉末床溶融結合(LPBF)や電子ビーム溶融(EBM)などの3Dプリンティング技術を探求して、複雑なつぼ形状を直接形成し、その後の処理を減らします。

#### Copyright and Legal Liability Statement

ホット静水圧プレス(HIP):HIP 技術は、るつぼの密度と均一性を改善し、成形欠陥を減らすために使用され、薄肉構造に適しています。

精密紡績:肉厚の偏差と表面粗さを制御するためのリアルタイム監視システムを備えた CNC 紡績装置を開発します。

金型の最適化: 多段階のプロGRESSIVE 金型を設計し、有限要素解析 (FEA) を組み合わせて成形プロセスをシミュレーションし、応力分布と材料の流れを最適化します。

#### 実用化:

シリコン単結晶チョクラルスキー法では、3D プリントされたモリブデンるつぼが複雑な熱場設計を達成し、結晶品質を向上させます。

航空宇宙用高温合金の溶解では、精密紡糸技術を使用して、カスタマイズされたニーズを満たすために特殊形状のるつぼを製造しています。

#### 10.1.3 コスト管理

モリブデンるつぼは、製造コストを高く保ち、一部の分野での広範な用途を制限しています。特に競争の激しい市場では、コスト管理が重要な課題となります。

#### チャレンジの説明:

原材料コスト:高純度モリブデン(>99.95%)は高価であり、ドーピング元素( $\text{CeO}_2$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ など)と抗酸化コーティングはさらにコストを増加させます。

製造コスト:エネルギー消費の多いプロセス(真空焼結、プラズマ溶射など)と複雑な処理(精密紡績など)は、高い生産コストにつながります。

リサイクルコスト:廃るつぼのリサイクルには、化学処理と冶金精製が含まれますが、これはエネルギー消費の多い複雑なプロセスです。

市場競争:低コストの代替材料(グラファイト、セラミックスなど)は、特定の用途で価格優位性があり、モリブデンるつぼの市場シェアを圧迫しています。

#### 技術的な問題:

高純度モリブデンやドーピング材料の調達コストを、性能を維持しながら削減します。生産プロセスを最適化し、エネルギー消費と廃棄物を削減し、リソース利用を改善します。効率的なリサイクル技術を開発し、廃棄物処理コストを削減し、リサイクル率を向上させます。

ミドルエンドおよびローエンド市場に適したモリブデンるつぼ製品。

#### 対処戦略:

原材料の最適化:低コストのモリブデン源(リサイクルされたモリブデン廃棄物など)または代替ドーピング元素(希土類酸化物の代わりに  $\text{ZrO}_2$  など)を検討して、原材料コストを削減します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

プロセス改善:効率的な焼結技術(マイクロ波焼結など)を使用して、加熱時間を短縮し、エネルギー消費を削減します。処理経路を最適化し、廃棄物の発生を減らします。

大規模生産:自動化生産ラインを構築し、生産効率の向上と単価の分散を図ります。

リサイクルと統合:廃るつばを直接高純度のモリブデン粉末に変換するクローズドループリサイクルシステムを確立し、リサイクルコストを削減します。

#### 実用化:

希土類製錬では、自動化された生産ラインと廃棄物のリサイクルにより、モリブデンるつばの生産コストを削減し、市場競争力を向上させます。

貴金属の精製では、プロセスの最適化によりエネルギー消費が削減され、中小企業のコストニーズが満たされます。

### 10.2 新素材と新技術

新しい材料と技術の導入により、モリブデンるつばの性能を向上させ、用途を拡大することが可能になりました。以下について、モリブデン系複合材料、ナノ構造、代替材料の3つの側面から議論します。

#### 10.2.1 モリブデン系複合材料

モリブデンベースの複合材料は、強化相または機能相を追加することにより、るつばの機械的特性、耐食性、および耐酸化性を向上させます。

##### マテリアルデザイン:

モリブデン-希土類複合材料: $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CeO}_2$ または  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、精製粒子( $<50\mu\text{m}$ )、高温強度と耐クリープ性をドープし、サファイア結晶成長( $2050^\circ\text{C}$ )に適しています。

モリブデン-セラミック複合材料: $\text{SiC}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ または  $\text{ZrO}_2$ 粒子を添加すると、硬度と耐摩耗性が向上し、腐食性溶融物(希土類金属など)のるつばの寿命が延びます。

モリブデン金属複合材料:タングステン(Mo-W)またはレニウム(Mo-Re)と合金化して靱性と耐熱衝撃性を向上させ、航空宇宙の高温溶融に適しています。

##### 製造技術:

粉末冶金:複合るつばは、均一な相分布を確保するために、高温焼結とホットプレスによって調製されます。

プラズマ溶射:表面の耐酸化性と耐食性を向上させるための複合コーティング( $\text{MoSi}_2/\text{ZrO}_2$ など)の調製。

メカニカルアロイ:高エネルギーボールミリングを使用して、強化相をドープし、材料の微細構造を最適化します。

#### Copyright and Legal Liability Statement



#### パフォーマンスの利点:

高温強度が向上し、純粋なモリブデンよりも耐クリープ性が向上しています。  
耐酸化性が向上し、コーティング寿命が延びます。  
耐食性が向上し、さまざまな熔融環境に適しています。

#### 実用化:

半導体業界では、Mo-Re 複合るつぼが熱サイクルの安定性を向上させ、シリコン単結晶製造のニーズを満たしています。  
希土類製錬では、Mo-SiC 複合るつぼは熔融ネオジムの侵食に抵抗し、耐用年数を延ばすことができます。

#### 10.2.2 ナノ構造

ナノ構造モリブデン材料は、粒径と界面特性を制御することにより、るつぼの機械的特性と高温安定性を大幅に向上させます。

##### ナノ結晶モリブデン:

調製方法: ナノスケールのモリブデン粉末(粒子サイズ<100nm)をプラズマ原子化または化学蒸着(CVD)により製造し、ホットプレスによりるつぼに焼結します。

性能の向上: ナノ結晶構造(粒子<100nm)は、粒界密度を高め、強度と靱性を向上させ、高温クリープを低減します。

課題: ナノ結晶材料は超高温(>2000°C)で結晶粒成長を経験する可能性があり、ドーピングによって粒界を安定させる必要があります。

##### ナノコーティング:

技術: ナノスケールの酸化防止コーティング( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、厚さ 10-100nm など)は、原子層堆積法(ALD)またはマグネトロンスパッタリングを使用して調製されます。

利点: ナノコーティングは緻密で均一であり、熱膨張係数はモリブデン基板の熱膨張係数と一致し、耐酸化性と耐食性が大幅に向上します。

用途: 酸素含有雰囲気下でのるつぼの寿命を延ばし、熔融汚染を減らすため。

##### ナノコンポジット:

設計: ナノ粒子( $\text{ZrO}_2$ 、SiC など)を第 2 相として導入し、Mo マトリックスの機械的特性と熱安定性を高めます。

製造: ナノ粒子の均一な分散を達成するために、機械的合金化と熱間静水圧プレス(HIP)によって調製されます。

性能: 亀裂成長抵抗を改善し、るつぼの疲労寿命を延ばします。

#### Copyright and Legal Liability Statement



#### 実用化:

サファイア結晶の成長では、ナノ結晶モリブデンるつぼが熱応力亀裂を減らし、結晶品質を向上させます。

航空宇宙分野では、ナノコーティングされたるつぼは高温酸化に耐性があり、極端な環境のニーズを満たします。

#### 10.2.3 代替材料

モリブデンるつぼは優れた性能を発揮しますが、一部の用途では、代替材料がより優れたコストパフォーマンスまたは特定の性能上の利点を提供する場合があります。

##### タングステン(W):

特徴:融点が高く(3422°C)、モリブデンよりも耐食性が高く、超高温環境(>2200°C)に適しています。

制限:高密度(19.25 g/cm<sup>3</sup>)、加工が難しく、モリブデンよりも高価です。

用途:航空宇宙用高温合金の溶融、モリブデンるつぼの一部を置き換える。

##### セラミック材料:

種類:アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化ジルコニウム(ZrO<sub>2</sub>)、窒化ホウ素(BN)。

特徴:高い化学的安定性、強力な耐食性、低コストですが、高温強度(<2000°C)は限られています。

用途:ローエンドからミディアムエンドの希土類製錬または貴金属精製、一部のモリブデンるつぼの代替品。

##### 石墨:

特徴:低コスト、加工が容易、熱伝導率が高いが、酸化しやすく、真空または不活性雰囲気を使用する必要があります。

用途:低コストのシリコン製錬、モリブデンるつぼの部分的な交換。

改善:グラファイトは、耐酸化性と耐食性を向上させるために、SiC または BN 層でコーティングされています。

##### 複合材料:

デザイン:タングステン-セラミック複合材またはグラファイト-モリブデン複合材、両方の利点を兼ね備えています。

利点: 特定のアプリケーションに合わせて、高温性能とコストのバランスを取ります。

アプリケーション:高温合金製造および結晶成長。

#### 実用化:

貴金属の精製において、ジルコニアるつぼは、中小企業のニーズを満たすための低コストの代替品として機能します。

航空宇宙では、タングステンるつぼは、モリブデンるつぼの温度制限を補うために超高温溶融に使用されます。

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

### 10.3 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は、モリブデンるつぼ産業が技術的な課題と持続可能な開発に対処するための重要な方向性です。以下について、インテリジェントモニタリング、省エネと環境保護、廃棄物リサイクルの3つの側面から説明します。

#### 10.3.1 インテリジェント監視

モリブデンるつぼは、センサー、モノのインターネット(IoT)、人工知能(AI)による製造と使用。

##### 生産監視:

センサーネットワーク:焼結炉、紡績機、コーティング装置に温度、圧力、振動センサーを配置して、プロセスパラメータをリアルタイムで収集します。

データ分析:AI アルゴリズムを使用して、センサーデータを分析し、機器の故障を予測し、プロセスパラメータ(焼結温度や回転速度など)を最適化します。

デジタルツイン:るつぼ製造プロセスの仮想モデルを構築して、熱場、応力分布、材料の流れをシミュレーションし、プロセスの改善を導きます。

##### 使用状況の監視:

高温監視:結晶成長炉または溶融炉に赤外線温度計と熱電対を設置して、るつぼの温度分布をリアルタイムで監視し、非常に小さな範囲内で偏差を制御します。

雰囲気制御:質量分析計と酸素センサーを使用して炉内のガス組成を監視し、アルゴンまたは水素の流量を自動的に調整して、酸素含有量を極端に低く保ちます。

寿命予測:機械学習を通じてるつぼの熱サイクルデータを分析して、亀裂の発生と寿命の減衰を予測し、メンテナンスサイクルを最適化します。

##### 品質トレーサビリティ:

ブロックチェーン技術:るつぼの生産から使用までのライフサイクルデータ全体を記録し、品質のトレーサビリティを確保します。

QR コード/ RFID:各るつぼには一意の ID が装備されており、故障分析を容易にするために生産、テスト、および使用記録にリンクされています。

##### 実用化:

半導体業界では、インテリジェントな監視システムが、シリコン単結晶製造中にモリブデンるつぼの熱場を均一にし、欠陥を減らします。

レアアース製錬では、デジタルツイン技術により、るつぼの設計が最適化され、耐用年数が延びます。

### 10.3.2 省エネと環境保護

省エネ技術と環境保護対策によるモリブデンるつぼの生産。

#### 省エネ技術:

効率的な加熱:従来の抵抗加熱の代わりにマイクロ波焼結または誘導加熱を使用して、エネルギー利用を改善します。

熱回収:ヒートパイプまたは熱交換器は、予熱またはプラント加熱のための廃熱を回収するために焼結炉に設置されます。

インテリジェント制御:可変周波数モーターとエネルギー管理システムを展開して、機器の電力を動的に調整し、待機エネルギー消費を削減します。

#### 環境保護対策:

焙煎によって発生する  $\text{SO}_2$  は、湿式脱硫によって副産物に変換され、触媒燃焼により揮発性有機化合物(VOC)が除去されます。

中和とろ過後にリサイクルされ、水資源の消費量を削減します。

低炭素エネルギー:太陽光発電または風力発電を統合して、生産の二酸化炭素排出量を削減し、グリーン電力供給者を優先します。

#### ライフサイクル管理:

LCA 分析:原材料の抽出からリサイクルまで、るつぼの環境への影響を評価し、低炭素プロセスを最適化します。

グリーン認証:環境への取り組みを実証するために、ISO 14001(環境マネジメントシステム)および ISO 50001(エネルギーマネジメントシステム)の認証を申請します。

カーボンニュートラル:2050 年の世界的カーボンニュートラル目標に対応して、カーボンオフセットまたは植林を通じて生産におけるカーボンニュートラルを達成します。

#### 実用化:

サファイア結晶の成長では、熱回収システムにより、焼結炉のエネルギー消費が削減され、生産の持続可能性が向上します。

航空宇宙用高温合金の製造では、排ガス処理技術により  $\text{SO}_2$ (酸化硫黄)の排出を削減し、環境品質を向上させることができます。

### 10.3.3 廃棄物のリサイクル

効率的な廃棄物リサイクル技術は、グリーンマニュファクチャリングの中核であり、資源リサイクルとコスト削減をサポートします。

#### リサイクルプロセス:

分類:生産廃棄物(スクラップ、粉末)と使用後廃棄物(廃るつぼ、コーティング残渣)は別々に保管して、相互汚染を避けます。

物理的回収:破碎、スクリーニング、磁気分離を使用してモリブデンマトリックスと不純物を分離し、高純度のモリブデン片を回収します。

化学的回収:モリブデン酸アンモニウムは、酸浸出とアンモニア溶解によって廃棄物から

抽出され、焼成されて高純度のモリブデン粉末が生成されます。

冶金学的回収:真空溶解またはプラズマ精製を使用して、廃モリブデンを精製し、高純度のモリブデンインゴットを製造します。

#### 技術革新:

自動選別:X線選別機とロボットを導入し、廃棄物の選別効率と純度を向上させます。

クローズドループシステム:リサイクルされたモリブデン粉末は、新しいるつぼの生産に直接使用され、資源の浪費を削減します。

低エネルギーリサイクル:廃液処理におけるエネルギー消費と汚染を削減するための電気化学リサイクル技術を開発します。

#### 品質管理:

リサイクルされたモリブデン粉末は、ASTM B386 規格に準拠した純度と不純物含有量についてテストする必要があります。

ICP-MSを使用することで、リサイクル材料がハイエンドアプリケーションに適していることが保証されます。

リサイクル材料とバージンモリブデンの同等性。

#### 実用化:

半導体業界では、廃るつぼをリサイクルして高純度のモリブデン粉末を製造し、シリコン単結晶製造のニーズを満たすようにしています。

レアアース製錬では、クローズドループリサイクルシステムにより、廃棄物処理コストを削減し、資源効率を向上させます。

### 10.4 将来のトレンド

モリブデンるつぼは、高性能設計、クロスフィールドアプリケーション、極限環境への適応性を中心に展開し、業界の技術革新と市場拡大を推進します。

#### 10.4.1 高性能設計

高性能モリブデンるつぼは、材料の革新、構造最適化、インテリジェントな設計により、より要求の厳しいアプリケーション要件を満たします。

#### 材料のアップグレード:

超高純度モリブデン(>99.999%)と新しい複合材料(Mo-W-Re など)を開発して、高温強度と耐食性を向上させます。

高温での微小亀裂を自動的に修復し、耐用年数を延ばすための自己修復コーティング( $ZrO_2$ を含むナノ複合コーティングなど)を導入します。

#### 構造の最適化:

薄肉(<2 mm)および大径(>600 mm)のるつぼを設計して、熱場の均一性を最適化し、材料の消費を削減します。

簡単に分解してリサイクルできるモジュール式るつぼを開発し、循環型経済をサポートし

#### Copyright and Legal Liability Statement



ます。

#### インテリジェント・デザイン:

るつぼ壁にセンサー(温度センサーや応力センサーなど)を埋め込むことで、運転状況をリアルタイムで監視し、故障リスクを予測します。

デジタルツイン技術を使用して、るつぼの形状を最適化し、熱伝導率と機械的特性のバランスを取ります。

#### 実用化:

次世代の半導体製造において、超高純度モリブデンるつぼは、より高度なウェーハ製造プロセスをサポートします。

高温合金製造では、自己修復コーティングされたるつぼが寿命を延ばし、メンテナンスコストを削減します。

#### 10.4.2 クロスドメインアプリケーション

モリブデンるつぼは、従来の分野から新興産業へと拡大し、多様化するニーズに応じていきます。

#### 新エネルギー:

ペロブスカイト太陽電池の製造では、モリブデンるつぼを高温蒸発または溶融プロセスで使用し、効率的なセル生産をサポートします。

核融合炉では、モリブデンるつぼを使用して高温のプラズマ閉じ込め材料を溶かします。

#### バイオ医薬品:

ハイエンド医療機器の製造では、モリブデンるつぼを使用して、チタン合金などの生体適合性金属を精製します。

医薬品合成において、モリブデンるつぼは高温化学反応をサポートし、高純度を確保します。

#### 3D プリント:

金属 3D プリンティングでは、モリブデンるつぼを使用して高融点合金粉末を溶解し、航空宇宙産業や自動車産業のニーズを満たすことができます。

連続印刷や大規模生産に対応した特殊モリブデンるつぼを開発します。

#### 実用化:

核融合研究において、モリブデンるつぼは高温材料試験をサポートし、クリーンエネルギーの開発に貢献しています。

3D プリンティング業界では、モリブデンるつぼが合金粉末の品質を向上させ、精密製造のニーズを満たすことができます。

#### Copyright and Legal Liability Statement

#### 10.4.3 極限環境

モリブデンるつぼは、超高温、強い腐食、複雑な雰囲気など、より過酷な作業環境に適応します。

##### 超高温:

航空宇宙の超高温合金の溶融ニーズを満たすために、 $>2500^{\circ}\text{C}$  の温度耐性を備えたモリブデンベースの複合るつぼ。

多層ナノコーティング ( $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZrO}_2$  など) を使用して、耐酸化性と熱安定性を向上させます。

##### 強い腐食:

希土類金属や溶融塩による腐食に強いるつぼを設計し、新エネルギー電池や化学工業で使

用します。  
モリブデン-セラミック複合材料の導入により、化学的安定性が向上し、耐用年数が延び

##### 複雑な雰囲気:

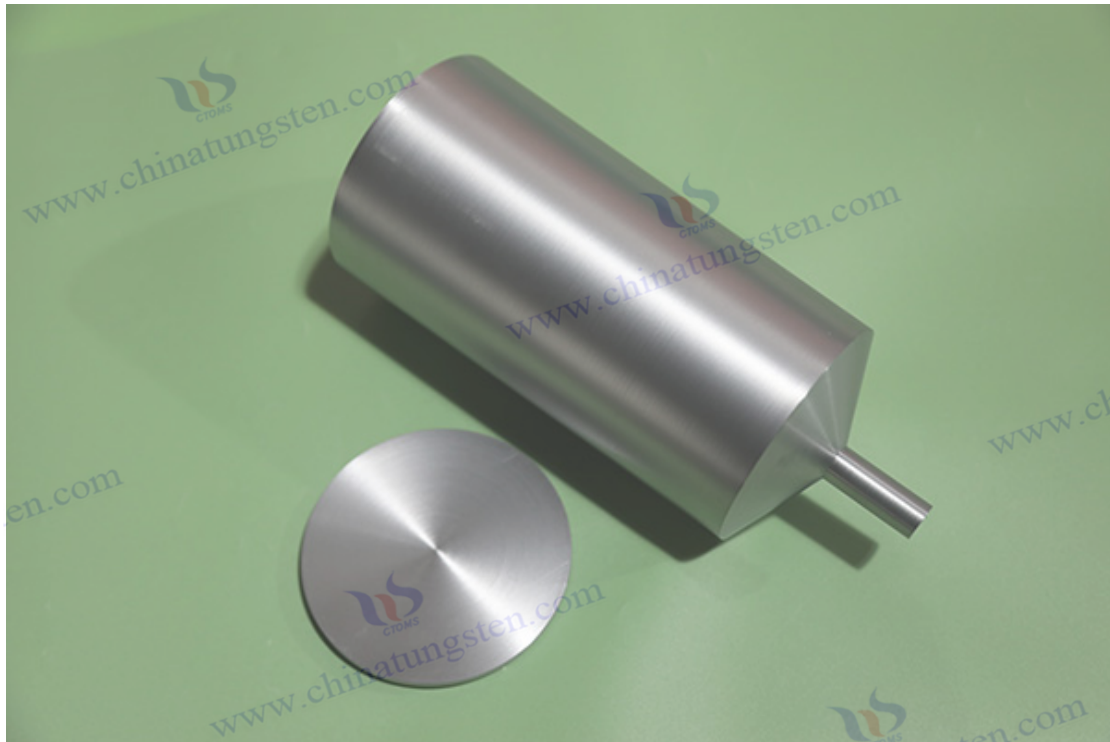
酸素含有、硫黄含有、またはハロゲン含有雰囲気に適したるつぼを開発し、特殊な製錬ニ

ーズに対応します。  
インテリジェントな雰囲気制御システムを使用して、ガス組成を動的に調整し、るつぼの

##### 実用化:

航空宇宙分野では、超高温耐性モリブデンるつぼが新しい推進材料の研究開発をサポート

しています。  
化学業界では、耐腐食性るつぼが溶融塩反応の効率を向上させ、生産リスクを軽減します。



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 第 11 章モリブデンるつぼの規格と仕様

モリブデンるつぼは、材料の一貫性、製造精度、使用の安全性を確保するために、厳格な基準と仕様に依存しています。この章では、モリブデンるつぼに関連する国内規格(GB)、国際規格(ISO)、米国規格(ANSI)、およびその他の国際規格および業界規格について詳しく説明します。また、規格の実装と認証の要件を分析し、生産、テスト、品質認証、輸出コンプライアンスをカバーし、世界的に権威ある規格と業界慣行を参照し、包括的な技術ガイダンスを提供します。

### 11.1 国家規格(GB)

中国の国家規格(GB / T)は、モリブデンるつぼの材料、試験、および機器の詳細な仕様を提供し、国内の生産と用途で広く使用されています。

#### 11.1.1 GB / T モリブデン材料規格

GB/T 規格は、モリブデンおよびモリブデン合金の化学組成、機械的特性、処理特性、およびアプリケーション要件を指定し、モリブデンるつぼの製造の基礎です。

主な基準:

GB / T 3462-2017 モリブデンバーおよびロッド:

コンテンツ:モリブデンバーとロッドの化学組成( $\text{Mo} \geq 99.95\%$ など)、寸法公差、表面品質、および機械的特性を指定します。

適合性:るつぼの製造に使用される原材料で、高い純度と一貫性を確保します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

要件:モリブデンバーの表面には亀裂、酸化物スケール、または介在物がなく、公差はミクロンレベルで制御され、紡績または鍛造に適している必要があります。

GB/T 3876-2017 モリブデンおよびモリブデン合金プレート、ストリップ、ホイル:

内容:モリブデン板の厚さ、幅、表面粗さ、および機械的特性(引張強度や伸びなど)を標準化します。

適用性:溶接または紡績るつばに使用され、特に薄肉るつばに適しています。

要件:プレート Ra の表面粗さ<1.6 $\mu$ m、厚さの偏差は非常に小さく、高精度の要件を満たしています。

GB/T 4182-2017 モリブデン粉末:

コンテンツ:モリブデン粉末の粒子サイズ、純度、かさ密度、および流動特性を指定します。

適用性:粉末冶金によるるつばブランクの調製に使用され、高密度の焼結るつばを確保します。

要件:モリブデン粉末の純度>99.95%、非常に低い酸素含有量、均一な粒子サイズ。

主な要件:

化学組成:モリブデンるつば材料は高純度でなければならず、高温での性能低下を防ぐために不純物(Fe、Ni、C、O など)の含有量を厳密に制御する必要があります。

機械的特性:高温引張強度と延性は、結晶成長または製錬環境の要件を満たす必要があります。

表面品質:るつばの内面と外面は、溶融物の汚染を避けるために、滑らかで欠陥(傷や細孔など)がないことが必要です。

実用化:

サファイア結晶の成長では、GB/T 3462 はモリブデンロッドの高純度を保証し、2050°C の高温要件を満たしています。

希土類製錬では、GB/T 3876 に準拠したモリブデンプレートを使用してるつばを溶接し、溶接の品質を確保します。

### 11.1.2 テストと評価

GB/T 規格は、製品が設計およびアプリケーションの要件を満たしていることを確認するために、モリブデンるつばの性能試験と品質評価の詳細な方法を提供します。

テスト方法:

化学組成分析:誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)または蛍光 X 線分光法(XRF)を使用して、モリブデンの純度と不純物含有量を非常に高い精度で検出します。

機械的特性テスト:

引張試験(GB/T 228.1):室温および高温(1000-1500°C)での引張強度、降伏強度、および伸びを測定します。

硬さ試験(GB / T 231.1):ピッカース硬さ試験機を使用して、粒子精錬効果を反映したるつぼ材料の硬さを評価します。

微細構造解析:走査型電子顕微鏡(SEM)と電子後方散乱回折(EBSD)を使用して、粒径と欠陥(細孔、介在物など)を調べます。

表面品質検査:光学顕微鏡またはレーザー散乱装置を使用して、表面粗さ(Ra)と欠陥(傷や亀裂など)を検査します。

評価基準:

寸法精度:るつぼの直径、高さ、肉厚の公差は設計要件を満たす必要があり、偏差はミクロンレベルで制御する必要があります。

性能の一貫性:るつぼのバッチの機械的特性と化学組成は、バッチの違いを最小限に抑えて、非常に一貫性がなければなりません。

高温安定性:るつぼの耐クリープ性と耐食性は、1700〜2050°C でテストされ、故障することなく長期間使用できることを確認します。

品質管理:

統計的プロセス制御(SPC)を実装して、生産プロセスの主要なパラメータ(焼結温度や紡糸圧力など)を監視します。

るつぼの各バッチには、化学組成、機械的特性、および表面品質データを記録したテストレポートを添付する必要があります。

不良品は、市場に参入しないように切り分けて分析する必要があります。

実用化:

半導体シリコン単結晶製造では、GB/T 試験方法により、るつぼの表面に欠陥がなく、高純度の要件を満たすことが保証されます。

航空宇宙用高温合金の溶融では、高温引張試験によりるつぼの耐クリープ性が検証されます。

### 11.1.3 機器の仕様

GB/T 規格は、モリブデンるつぼの製造および試験装置に明確な要件を設定し、製造プロセスの信頼性と一貫性を確保します。

製造装置:

焼結炉:真空焼結炉は、高温(>2000°C)および低圧(<10°C)および低圧(10°C)の機能を備え、正確な温度制御システム(±5°C)を装備する必要があります。

紡績機:CNC 紡績機は、ミクロンレベルの精密加工をサポートし、壁の厚さの均一性を制御するためのリアルタイム監視システムを装備する必要があります。

溶接装置:TIG 溶接または電子ビーム溶接装置は、溶接部に細孔がなく、高い接着強度を備えていることを確認するために必要です。



試験装置:

寸法検査:レーザ距離計または三次元測定機(CMM)を使用して、るつぼの直径、高さ、肉厚を非常に高い精度で測定します。

表面検査:高分解能光学顕微鏡とレーザ散乱装置を装備し、表面粗さや微小な亀裂を検出します。

非破壊検査:超音波探傷器または渦流探傷器を使用して、るつぼの内部欠陥(介在物、細孔など)を確認します。

機器のメンテナンス:

この機器は、GB/T 10067(電気機器仕様)の要件を満たすために定期的に校正され、精度の偏差は非常に小さくなっています。

環境制御システム(クリーンルーム、ISO7 等級など)を完備し、機器運転時の汚染を防止します。

機器の操作ログを記録し、障害の原因を分析し、メンテナンスサイクルを最適化します。

実用化:

希土類製錬るつぼの製造では、CNC 紡績機は均一な肉厚を確保し、GB / T 基準を満たしています。

結晶成長装置では、超音波試験によりるつぼに内部欠陥がないことを確認し、信頼性を向上させます。

## 11.2 国際規格(ISO)

ISO 規格は、モリブデンるつぼの性能試験、環境管理、品質管理について世界的に統一された仕様を提供し、国際貿易やハイエンドアプリケーションで広く使用されています。

### 11.2.1 ISO6892 引張試験

ISO 6892 シリーズの規格は、金属材料の引張試験方法を指定しており、モリブデンるつぼの機械的特性の評価に適用できます。

標準コンテンツ:

ISO 6892-1:室温引張試験は、試験片の準備、試験速度、およびデータ記録方法を指定します。

ISO 6892-2:高温引張試験(1000-1500°C)、高温環境でのモリブデンるつぼの性能試験に適しています。

ISO 6892-3:特定の条件下でのモリブデンの靱性を評価するための低温引張試験。

テスト要件:

サンプル調製:モリブデンるつぼ材料は、表面欠陥のない標準サンプル(シリンダーやプレートなど)に処理されます。

試験条件:高温試験は、酸化を防ぐために真空または不活性雰囲気を実施する必要があり、温度制御精度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$  です。

測定パラメータ:引張強度、降伏強度、伸び、および高いデータ再現性による面積の減少。

#### Copyright and Legal Liability Statement

適用性:

高温融解(2050°C など)におけるモリブデンるつぼの機械的安定性を検証するために使用されます。

ドーピングされたモリブデンるつぼ(Mo-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など)の機械的特性が純粋なモリブデンよりも優れていることを確認してください。

実用化:

サファイア結晶の成長では、ISO 6892-2 試験により、るつぼが高温で変形しないことが保証されます。

航空宇宙用高温合金の溶融では、引張試験によりるつぼの耐クリープ性が検証されます。

### 11.2.2 ISO 14001 環境マネジメント

ISO 14001 は、モリブデンるつぼの生産に関する環境管理システムのフレームワークを提供し、環境への影響を減らし、持続可能な開発を促進することを目的としています。

標準コンテンツ:

環境方針、目的、計画を定義し、生産における環境への影響(エネルギー消費、廃ガス、廃水など)を特定します。

環境パフォーマンス指標を設定し、マネジメントシステムを定期的に見直し、改善することが求められます。

地域および国際的な環境規制の遵守と遵守を強調します。

実装要件:

エネルギー管理:焼結および鍛造プロセスを最適化し、エネルギー消費を削減し、再生可能エネルギー(太陽エネルギーなど)を使用します。

廃棄物処理:モリブデン廃棄物のリサイクル、焙煎廃ガス(SO<sub>2</sub>など)および化学廃液の処理により、汚染排出をゼロにします。

環境モニタリング:排気ガスおよび廃水モニタリング機器を設置して、排出データをリアルタイムで記録し、排出基準に準拠します。

スタッフのトレーニング:スタッフの環境意識を向上させ、業務が ISO 14001 の要求事項に準拠していることを確認します。

適用性:

モリブデンるつぼメーカーのグリーンイメージを強化し、ハイエンドの顧客(半導体業界など)の環境保護要件を満たします。

輸出市場をサポートし、EU REACH および RoHS 規制に準拠します。

実用化:

希土類製錬では、ISO 14001 が廃ガス処理をガイドして SO<sub>2</sub>排出量を削減します。

半導体業界では、環境管理システムにより、製造プロセスが無公害であり、クリーンルームの要件を満たすことが保証されています。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

### 11.2.3 ISO 3452 非破壊検査

ISO 3452 は、モリブデンるつぼの表面の微小亀裂や欠陥を検出するための浸透探傷試験(PT)法を規定しています。

標準コンテンツ:

浸透剤、現像剤、洗浄剤の選択、および試験手順と環境条件を指定します。

感度レベル(1-4)を含む、さまざまな精度要件を持つるつぼに適しています。

検査員は専門的なトレーニングを受け、ISO 9712(非破壊検査要員の認証)に準拠する必要があります。

テストプロセス:

表面処理:るつぼの表面は、油分、スケール、粗さ Ra が  $0.8\mu\text{m}$  以下のように洗浄されます。

浸透剤の塗布:マイクロクラックをカバーするために、5〜30 分の浸透時間で高感度の浸透剤を塗布します。

イメージングと観察:現像液を使用して欠陥を示し、紫外線または白色光と組み合わせて亀裂の位置と形態を確認します。

結果評価:るつぼは、欠陥のサイズと分布に基づいて認定されます。亀裂の長さが極端に小さい場合は、修理が必要です。

適用性:

溶接るつぼの溶接品質を検出し、高温での亀裂伝播を防ぐために使用されます。

スピニングるつぼの表面に微小な亀裂がないことを確認し、半導体業界の清浄度要件を満たします。

実用化:

シリコン単結晶製造では、ISO 3452 試験により、るつぼの表面に欠陥がないことを確認し、シリコン溶融物の汚染を防ぎます。

航空宇宙業界では、浸透探傷試験は大型るつぼの溶接部の完全性を検証します。

### 11.3 アメリカンスタンダード(American Standard)

アメリカの規格(ASTM、ASME)は、モリブデンるつぼの材料、試験、および機器の高精度仕様を提供し、国際市場で広く使用されています。

#### 11.3.1 ASTM B386 モリブデン合金

ASTM B386 は、モリブデンおよびモリブデン合金の国際的な権威ある規格であり、るつぼ製造の材料要件をカバーしています。

標準コンテンツ:

モリブデンおよびモリブデン合金(Mo、Mo-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mo-W)の化学組成、機械的特性、および加工特性を指定します。

紡績、溶接、るつぼの鍛造に適したプレート、バー、ホイル、鍛造品の仕様が含まれてい

ます。

モリブデンの純度は>99.95%であることが求められ、不純物(Fe、Ni、C など)の含有量は極めて低いです。

主要要件:

化学組成:モリブデン材料は、高温安定性を確保するために、スペクトル分析を通じて純度を検証する必要があります。

機械的特性:高温(1700-2050°C)の要件を満たすために、指定された引張強度、降伏強度、および伸び。

表面品質:材料表面には亀裂、介在物、酸化物層がなく、高精度加工に適しています。

寸法公差:プレートとバーの厚さと直径の公差はミクロンレベルで制御されます。

適用性:

サファイア結晶成長および半導体産業の厳しい要件を満たす高性能モリブデンるつぼの製造に使用されます。

ドーピングされたモリブデンるつぼ(Mo-CeO<sub>2</sub>など)の材料選択と性能最適化をガイドします。

実用化:

サファイア結晶の成長では、ASTM B386 はモリブデンプレートの高純度と機械的特性を保証します。

希土類製錬では、るつぼの鍛造に標準仕様のモリブデンロッドを使用し、耐食性を確保しています。

### 11.3.2 ASTM E384 硬さ試験

ASTM E384 は、モリブデンるつぼ材料の硬度和微細構造を評価するためのピッカース硬度和ヌープ硬度の試験方法を指定しています。

標準コンテンツ:

硬さ試験の荷重(0.1-10kg)、圧子の種類(ひし形ピラミッド)、測定方法を指定します。

室温と高温(1000°C)の試験条件が含まれており、モリブデンるつぼの性能評価に適しています。

試験面は平坦で、粗さ Ra<0.5μm で、非常に高い測定再現性が求められます。

テストプロセス:

サンプル調製:モリブデンるつぼ材料を鏡面まで研磨し、洗浄して油分と粒子を取り除きます。

硬さ測定:ピッカース硬さ試験機を使用して一定の荷重を加え、くぼみの対角線の長さを測定し、硬さの値を計算します。

結果分析:さまざまな領域の硬度値を比較して、粒子の微細化効果と材料の均質性を評価します。

適用性:

#### Copyright and Legal Liability Statement



ドーピングや熱処理がモリブデンるつぼの硬度に及ぼす影響を検証し、耐摩耗性を反映するために使用されます。  
るつぼの製造プロセスの最適化をガイドします(焼結温度や鍛造変形など)。

#### 実用化:

半導体業界では、ASTM E384 試験により、モリブデンるつぼの高硬度が長期使用要件を満たすことが保証されています。

高温合金の溶融では、硬度試験によりるつぼの変形防止性能が検証されます。

### 11.3.3 ASME 高温容器

ASME 規格は、高温容器(るつぼなど)の設計、製造、および試験の仕様を提供し、圧力または高温環境下でのモリブデンるつぼでの使用に適しています。

#### 標準コンテンツ:

ASME BPVC セクション VIII: 圧力容器の設計と製造、材料の選択、応力解析、および安全係数を指定します。

ASME B31.3: るつぼが配置されている炉システムに適用されるプロセス配管仕様。

ASME PTC 19.3: 極端な条件下でのるつぼの安定性を評価するための高温性能試験。

#### 主要要件:

材料の選択: モリブデンるつぼは、ASTM B386、高温耐性、耐食性に準拠する必要があります。

設計検証: 有限要素解析(FEA)を使用して、高温(>2000°C)および熱サイクル下でのるつぼの応力分布をシミュレートしました。

安全性試験: るつぼに亀裂や変形がないことを確認するために、圧力試験と熱衝撃試験が行われます。

#### 適用性:

航空宇宙および原子力産業で使用するモリブデンるつぼは、安全性と信頼性を確保します。

大型るつぼ(直径 500mm)の設計>、複雑な熱場要件を満たすためのガイダンスを提供します。

#### 実用化:

航空宇宙の高温合金溶融では、ASME 規格がるつぼの安全な操作を保証します。

核融合研究では、標準的なるつぼ設計が高温材料試験をサポートします。

### 11.4 その他の国際規格および業界標準

国内規格、ISO、および米国規格に加えて、他の国際規格および業界規格は、特定の市場や用途に適したモリブデンるつぼの補足仕様を提供します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

## CTIA GROUP LTD

### Molybdenum Crucible Introduction

#### 1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

#### 2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

#### 3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

#### 4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

#### 5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

#### Copyright and Legal Liability Statement

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

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

#### 11.4.1 JIS G 0571

日本工業規格(JIS G 0571)では、ステンレス鋼や耐熱合金の腐食試験方法が定められており、モリブデンるつぼの耐食性評価に一部適用可能です。

標準コンテンツ:

浸漬試験と電気化学試験方法を指定して、腐食環境における材料の性能を評価します。これには、酸性溶液(HNO<sub>3</sub>など)、熔融金属(ネオジムなど)、高温雰囲気試験などがあります。

適用性:

希土類製錬、特に熔融希土類金属環境でのモリブデンるつぼの耐食性をテストするために使用されます。

MoSi<sub>2</sub> などの防錆コーティングの性能検証。

実装要件:

テスト環境は、実際の使用条件(1700°C、熔融ネオジムなど)をシミュレートする必要があります。

壁の厚さの損失、表面侵食の深さ、および質量の損失を測定して、るつぼの寿命を評価します。

実用化:

NdFeB 磁石の製造では、JIS G 0571 試験により、モリブデンるつぼの耐食性が保証されます。

貴金属精製では、この規格は酸性環境下でのるつぼの安定性を検証します。

#### 11.4.2 DIN EN 10228

ドイツ規格 DIN EN 10228 は、金属製品の非破壊検査を規制し、モリブデンるつぼの内部および表面品質管理に適用できます。

標準コンテンツ:

超音波探傷試験(UT)、磁粉探傷試験(MT)、渦流探傷(ET)法が含まれます。

亀裂の長さや細孔サイズなどの欠陥の許容基準を指定します。

テスト要件:

超音波探傷:高周波プローブ(5-10 MHz)を使用して、るつぼ内の介在物や細孔を非常に高い感度でチェックします。

渦流探傷:表面および表面下の亀裂を検出し、るつぼの溶接に適しています。

磁性粒子試験:表面の微小亀裂を検出するには、磁化された条件下で実施する必要があります。

適用性:

大型モリブデンるつぼ(直径 300mm)の品質管理>、内部欠陥がないことを確認します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

航空宇宙および原子力産業の高い信頼性要件を満たしています。

実用化:

航空宇宙用高温合金の溶解において、DIN EN 10228 は、るつぼに内部欠陥がないことを保証します。

半導体業界では、渦流探傷試験によりるつぼの表面品質を検証し、溶融物の汚染を防ぎます。

#### 11.4.3 GOST 17431

ロシア規格 GOST 17431 は、耐熱合金の特性と試験方法を指定しており、高温環境でのモリブデンるつぼの応用に適しています。

標準コンテンツ:

耐熱合金の化学組成、機械的特性、および高温安定性を指定します。

高温引張試験、クリープ試験、疲労試験方法が含まれます。

テスト要件:

高温引張:1400-1800°C で引張強度と伸びをテストします。

クリープ試験:高温(1700°C)および一定の応力下でのるつぼの変形速度を測定します。

疲労試験:熱サイクル条件をシミュレートして、るつぼの疲労寿命を評価します。

適用性:

ロシア市場向けのモリブデンるつぼは、航空宇宙およびエネルギー産業のニーズを満たしています。

ドーピングされたモリブデンるつぼの性能最適化をガイドします。

実用化:

核融合研究では、GOST 17431 試験により、モリブデンるつぼの耐クリープ性が確認されます。

高温合金の溶融では、この規格はるつぼの疲労寿命を検証します。

#### 11.5 標準の実装と認証

規格の実装と認証は、モリブデンるつぼの品質と市場競争力を確保するための鍵であり、生産、試験、品質認証、輸出コンプライアンスをカバーしています。

##### 11.5.1 生産とテスト

標準的な実装では、製品の一貫性と信頼性を確保するために、仕様を生産およびテストプロセスに統合する必要があります。

プロダクションインプリメンテーション:

プロセス制御:GB / T 3462 および ASTM B386 に従って高純度モリブデン材料を選択し、焼結温度(>2000°C)と紡糸圧力を厳密に制御します。

#### Copyright and Legal Liability Statement

機器の校正:製造装置(焼結炉、紡績機など)は、GB/T 10067 または ISO 10012(測定管理システム)に従って定期的に校正する必要があります。

環境管理:クリーンルーム(ISO7)で製造を行い、パーティクルコンタミネーションを防ぎ、SEMI E170 に準拠しています。

テスト実装:

性能試験:引張試験と硬さ試験は、るつぼの機械的特性を検証するために、ISO 6892 および ASTM E384 に従って実施されます。

非破壊検査:ISO 3452 および DIN EN 10228 を使用した浸透探傷および超音波検査により、表面および内部の欠陥がないことが確認されます。

データ記録:るつぼの各バッチには、化学組成、寸法精度、および性能データを記録するテストレポートが付属しており、品質のトレーサビリティをサポートします。

品質管理:

ISO 9001 品質管理システムを実装して、生産およびテストプロセスの標準化を確保します。

統計的工程管理(SPC)を使用して、主要なパラメータを監視し、不適合率を低減します。

実用化:

半導体業界では、標準化された生産と試験により、モリブデンるつぼの高純度と一貫性が保証されています。

航空宇宙業界では、非破壊検査によりるつぼの信頼性が確保され、厳しい要件を満たしています。

### 11.5.2 品質認証

品質認証は、モリブデンるつぼが基準を満たし、市場の信頼を高めることを証明するための重要なステップです。

認証タイプ:

ISO 9001:会社の生産およびサービス能力を証明する品質管理認証。

ISO 14001:環境管理認証、グリーン生産への取り組みを実証。

AS 9100:航空宇宙用途で使用するモリブデンるつぼの航空宇宙品質管理認証。

Nadcap:非破壊検査と熱処理をカバーする特殊プロセス認証。

認証プロセス:

ドキュメントの準備:認証要件に準拠した品質マニュアル、手順書、および標準作業手順書(SOP)を準備します。

内部監査:内部監査を実施して、不適合を特定して修正します。

第三者監査:オンサイト監査は、認証機関(SGS や TÜV など)によって実施され、規格の実施を検証します。

継続的な改善:品質マネジメントシステムを定期的に見直し、更新して、継続的なコンプライアンスを確保します。

#### Copyright and Legal Liability Statement



実用化:

サファイア結晶の成長において、ISO 9001 認証はるつぼの品質に対する顧客の信頼を高めます。

航空宇宙業界では、AS9100 認証により、るつぼが厳しい業界標準を満たしていることが保証されています。

### 11.5.3 輸出コンプライアンス

モリブデンるつぼの輸出は、製品が国際市場にスムーズに参入することを確実にするために、対象市場の基準と規制に準拠する必要があります。

コンプライアンス要件:

EU 市場:REACH(化学物質の登録、評価、認可)および RoHS(有害物質の制限)指令に準拠し、材料に有害物質が含まれていないことを確認します。

米国市場:ASTM B386 および ASME 規格に準拠し、品質証明書とテストレポートを提供します。

日本市場:JIS G 0571 に準拠し、るつぼの耐食性を確保しています。

ロシア市場:GOST 17431 に準拠し、高温性能データを提供します。

認定とドキュメント:

ISO 8000(データ品質)に準拠した品質証明書を提供し、化学組成、性能データ、および試験結果を含めます。

CE マーキング(EU)または UL 認証(US)を申請して、製品の安全性とコンプライアンスを証明します。

輸出マニフェスト、コマーシャルインボイス、原産地証明書を作成し、国際貿易の要件を満たします。

リスクマネジメント:

国際規格の更新を監視し、生産およびテストプロセスをタイムリーに調整します。

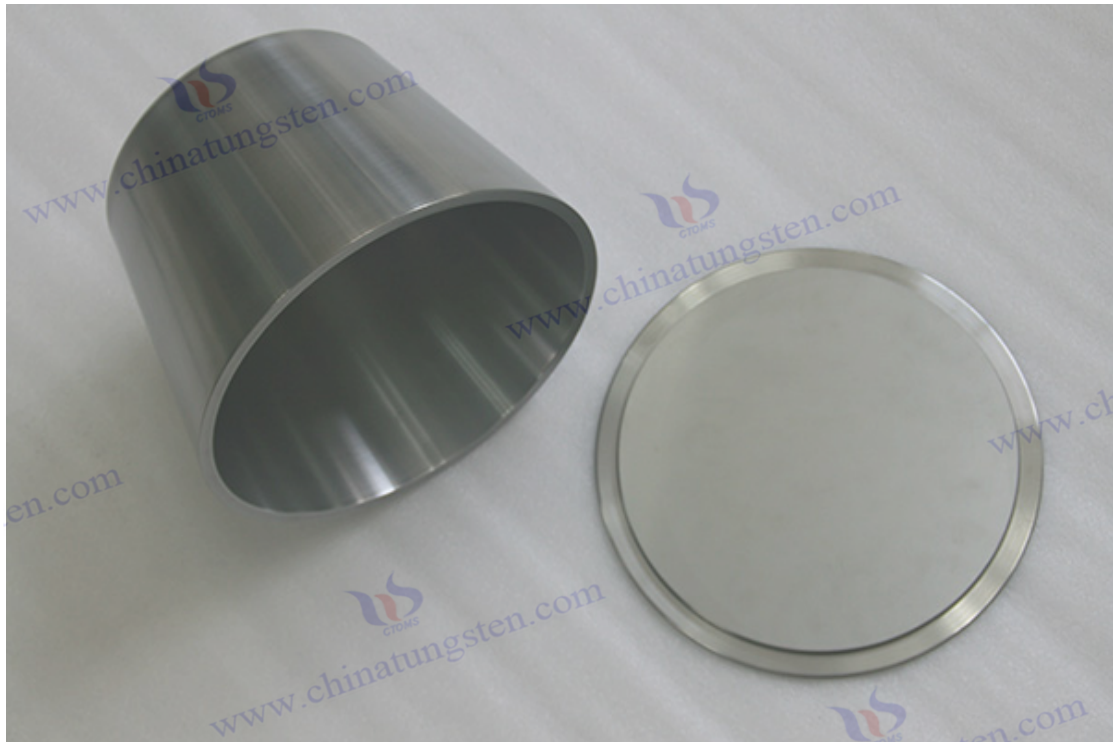
現地の代理店や認証機関と協力して、製品がターゲット市場の要件を満たしていることを確認します。

税関および規制の問題を処理するための輸出コンプライアンスチームを設立します。

実用化:

ヨーロッパに輸出される半導体業界では、REACH コンプライアンスにより、モリブデンるつぼに有害物質が含まれておらず、スムーズに市場に参入できることが保証されています。

米国に輸出される航空宇宙市場では、ASTM B386 認証により製品競争力が向上しています。



CTIA GROUP LTD モリブデンるつぼ

## 虫垂

### A. 用語集

**酸化防止コーティング:** モリブデンるつぼの表面に塗布される保護層で、高温での酸化を防ぎ、るつぼの寿命を延ばします。

**クローズドループリサイクル:** 廃モリブデンるつぼをリサイクルし、それらを新しいるつぼ材料に変換して資源の浪費を削減するリサイクルプロセス。

**チョクラルスキー法:** 結晶引っ張り技術によって単結晶(シリコンやサファイアなど)を成長させる方法であり、溶融物を保持するために高純度のモリブデンるつぼを使用する必要があります。

**プラズマ溶射:** 高温プラズマを用いて、モリブデンるつぼの表面に耐酸化性または耐食性の材料を溶射する表面改質技術。

**高温クリープ:** 高温(>1500°C)および応力下でのモリブデンるつぼのゆっくりとした変形は、性能の低下につながる可能性があります。

**クリーンルーム:** 粒子状物質と汚染を制御する制御された環境で、ISO 14644 規格に従ってモリブデンるつぼの包装と保管に使用されます。

**グレインリファインメント:** ドーピングや熱処理によりモリブデン材料の粒径を小さくし、強度と靱性を向上させます。

**機械的特性:** 引張強度、硬度、伸びなどの応力下での材料の特性は、モリブデンるつぼの高温安定性に影響を与えます。

**ナノ構造:** ナノスケール(<100 nm)で粒子またはコーティングサイズを持つモリブデン材料は、優れた機械的特性と耐酸化性を備えています。

### Copyright and Legal Liability Statement

**ホット静水圧プレス(HIP):** モリブデンるつぼを高温高压下で成形して、密度と均一性を向上させ、内部欠陥を減らす技術。

**熱場均一性:** 高温炉内のるつぼの温度分布の一貫性は、結晶成長の品質に影響を与えます。

**焼結:** モリブデン粉末を高温加熱によってるつぼブランクに固化するプロセスで、通常は真空または水素雰囲気で行われます。

**非破壊検査(NDT):** 超音波検査や浸透探傷検査など、るつぼの構造を破壊することなく欠陥を検出する方法。

**サーキュラーエコノミー:** リサイクルと再利用を通じて資源の価値を最大化する経済モデルで、モリブデンるつぼ廃棄物の管理に適用されます。

**スピニング:** モリブデン板を回転させ、圧力をかけてるつぼに加工する技術で、薄肉で複雑な形状のるつぼに適しています。

**焼結炉:** モリブデン粉末を低圧(<10°C.Pa)で加熱し、高密度るつぼを作る装置。

**ドーピング:** モリブデンに微量元素を添加して、機械的特性や耐酸化性を向上させます。

**Quality Traceability(品質トレーサビリティ):** 製造、検査、使用データを記録し、故障解析をサポートすることにより、モリブデンるつぼの品質を追跡する方法。

## B. 参考文献

- [1] 中国タングステン オンライン。モリブデンるつぼの性能と応用。2020 年 news.chinatungsten.com 日。
- [2] ウィキペディア。モリブデンの熱力学的特性。2020 年 zh.wikipedia.org 日。
- [3] 中国タングステン工業会。モリブデンるつぼの微細構造解析。2021 年 ctia.com.cn 日。
- [4] ASM インターナショナル。高融点金属および合金。2019 年 asm.org 日。
- [5] サーモフィッシャーサイエンティフィック。モリブデンの物理的および化学的性質。2022 年 thermofisher.com 日。
- [6] Chinatungsten オンライン。ドーピングされたモリブデンるつぼの技術的利点。2021 年 www.molybdenum.com.cn 日。
- [7] 中国タングステン工業会。モリブデンるつぼの検査と故障解析。2023 年 ctia.com.cn 日。
- [8] ウィキペディア。材料故障解析。2021 年 zh.wikipedia.org 日。
- [9] Chinatungsten オンライン。モリブデンるつぼの品質管理技術。2022 年 news.chinatungsten.com 日。
- [10] ASM インターナショナル。高融点金属の故障解析。2021 年 asm.org 日。
- [11] サーモフィッシャーサイエンティフィック。モリブデンの非破壊検査。2023 年 thermofisher.com 日。
- [12] Journal of Materials Science(ジャーナル・オブ・マテリアルズ・サイエンス)。モリブデンるつぼの故障メカニズム、2023 年。